

УДК 574.587

doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.158-171

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ
ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР О. САМОЙЛОВСКИЙ
(ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНЫ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))**

Л.А. °Фролова, Г.Р. °Нигаматзянова

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

Статья посвящена изучению структурно-функциональной характеристики зоопланктонных сообществ двух термокарстовых озер острова Самойловский (дельта реки Лены, Якутия). В составе зоопланктона исследованных озер отмечено 76 таксонов гидробионтов. Приведены таксономические списки весенне-летнего зоопланктона. Определен структурообразующий комплекс видов. Выявлено, что видовое разнообразие и численность зоопланктона в озерах обуславливали коловратки, биомассу же определяли крупные веслоногие ракообразные. Наибольший вклад в количественные показатели зоопланктона вносили холодолюбивые северные виды. Проанализирована сезонная динамика количественных показателей зоопланктона. Дана оценка современного состояния озер на основе системы сапробности и индексов видового разнообразия.

Ключевые слова: зоопланктон, гидробиология, видовое разнообразие, термокарстовые озера, дельта реки Лены

Введение

Дельта р. Лены – один из ключевых регионов Арктики, крупнейшая арктическая дельта с площадью около 29630 км², оказывающий значительное влияние не только на режим моря Лаптевых, но и на весь Северный Ледовитый океан посредством стока пресной речной воды. В дельте р. Лены насчитывается около 30 тыс. озер, большая часть из которых с небольшой площадью водной поверхности (менее 0.25 км²), чаще термокарстового или старичного происхождения [1]. Фауна озер, являясь важным звеном пищевых цепей в водоемах, играет важную роль в функционировании тундровых экосистем дельты Лены, а также влияет на формирование планктонных комплексов прибрежных районов моря Лаптевых [2].

Из-за удалённости и труднодоступности региона сведения о гидробиологическом населении озер дельты р. Лены отрывочны и фрагментарны, хотя история их изучения насчитывает более двухсот лет. Исходные данные о зоопланктоне водных объектов региона датируются началом XX в. и были собраны в рамках российской полярной экспедиции (1901–1903 гг.). Первые печатные сведения о зоопланктоне в устье р. Лены приводятся в работе В.М. Рылова [3]. Данные по составу зоопланктонных сообществ протоков дельты Лены можно

найти в работах П.Л. Пирожникова [4], В.В. Урбана [5], Р.А. Серкиной [6]. Сведения о составе зоопланктонных сообществ термокарстовых озер и полигональных водоемов дельты р. Лены до недавнего времени практически отсутствовали как в российской, так и в зарубежной литературе. Лишь в последние годы, в первую очередь в связи с интересом к изучению водных экосистем в условиях меняющегося климата, появились отдельные, немногочисленные работы с результатами изучения зоопланктонных сообществ разнотипных озер дельты р. Лены [7–10].

Целью настоящего исследования было всестороннее изучение зоопланктонных сообществ двух термокарстовых озер, расположенных на о. Самойловский в южной части дельты р. Лены, в ходе которого были выполнены: анализ таксономического состава зоопланктона, оценка численности и биомассы зоопланктона в период начала и пика вегетационных сезонов, анализ динамики количественных показателей зоопланктонного сообщества, приведена характеристика структуры сообщества и оценка экологического состояния водоемов на основе изучения зоопланктона.

1. Материалы и методы

Остров Самойловский – наиболее изученный остров дельты р. Лены благодаря тому, что на нем базируется российско-германская научно-исследовательская станция и расположен кордон Государственного заповедника «Усть-Ленский». Климатические и физико-географические условия региона специфичны и во многом определяют особенности существования гидробионтов, населяющих разнотипные водные объекты. Климат южной части дельты Лены вместе с о. Самойловским характеризуется низкой среднегодовой температурой воздуха ($-14.7\text{ }^{\circ}\text{C}$) и низким годовым количеством осадков (190 мм). Зимний сезон длится 9 месяцев, с конца сентября до конца марта ($T_{\text{ср}} = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{мин}} = -48\text{ }^{\circ}\text{C}$). Летний период длится 12 недель и отличается относительно высокими температурами ($T_{\text{ср}} = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{макс}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) и постоянным освещением (так называемый полярный день) [11]. Толщина активного (сезонно-талого) слоя 30–50 см [1].

Остров Самойловский площадью около 1200 га расположен в южной части дельты р. Лены ($72^{\circ}22'38''$ с.ш., $126^{\circ}29'17''$ в.д.), примерно в 120 км к югу от побережья моря Лаптевых [12]. Ландшафт о. Самойловский представлен в основном речными террасами позднего голоцена высотой 8.5–12 м с полигональной тундрой [13]. Северо-западная часть острова сложена песками и алевролитами и ежегодно подтопляется в период половодья. Восточная часть острова представляет собой полигональную тундру с термокарстовыми озерами, которые в южной части острова также ежегодно попадают в зону подтопления [1].

По генезису все водоемы острова можно подразделить на полигональные, термокарстовые и водоемы со смешанным происхождением [14]. Озера, возникшие в результате термокарстовых процессов и оттаивания подстилающих многолетнемерзлых пород, имеют глубины до 5 м [15]. Термокарстовые озера являются характерными для северных многолетнемерзлых экосистем и играют важную роль в тепловом обмене между атмосферой и подземными породами [16].

Сбор фактического материала для настоящей статьи производился в рамках ежегодной российско-германской экспедиции «Дельта Лены» в летний период

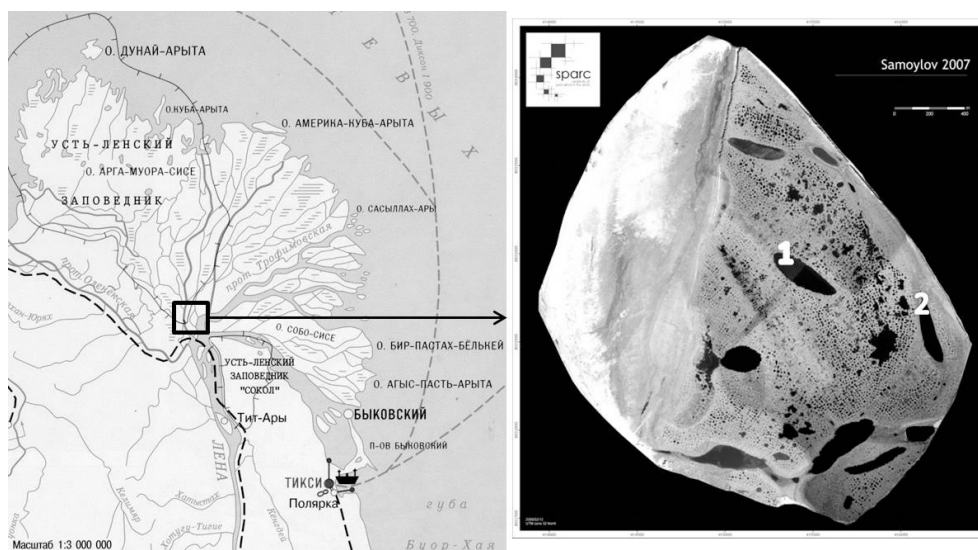


Рис. 1. Карта дельты реки Лены (квадратом отмечен район проведения исследований) и карта о. Самойловский с озерами Моло (№ 1) и Восточное (№ 2)

2013 г. и в весенне-летний период 2014 г. Нами были исследованы зоопланктонные сообщества двух озер о. Самойловский, расположенных в центральной и восточной части острова – оз. Моло ($72^{\circ}22'40.16''$ с.ш., $126^{\circ}29'56.82''$ в.д., 19 м н.у.м.) и оз. Восточное ($72^{\circ}22'30.18''$ с.ш., $126^{\circ}31'12.09''$ в.д., 1 м н.у.м.) (рис. 1). По происхождению оба озера термокарстовые, сформированы на надпойменной террасе острова [1], имеют сходные размеры по площади водной поверхности: площадь оз. Моло 0.042 км^2 и оз. Восточное 0.022 км^2 . Пробы зоопланктона отбирались малой конической сетью Апштейна (диаметр 25 см, размер ячеек 100 мк) в летние месяцы с интервалом раз в три дня в 2013 г. и раз в неделю в 2014 г. Отбор проб на каждом водоеме проводился как в прибрежной, так и в пелагической частях озер. В открытой части водоемов пробы отбирались вертикальным протягиванием сети Апштейна, облавливая столб воды от дна до поверхности в наиболее глубокой части озера. В прибрежной части водоема отбор производился процеживанием 100 л воды через планктонную сеть. В весеннее время, когда озера покрыты льдом, образцы отбирались из лунок, прорубленных в центральной части водоема, вертикальным протягиванием сети Апштейна меньшего диаметра (20 см). Параллельно с отбором образцов зоопланктона производились измерения основных физических и гидрохимических показателей воды (температура, электропроводность, содержание растворенного в воде кислорода, pH) с использованием мультипараметрового анализатора Multi 340i (WTW, Германия).

Всего на гидробиологический анализ было отобрано 66 образцов зоопланктона, по 33 пробы из каждого озера. Пробы фиксировались 4%-ным раствором формалина, а затем подвергались камеральной обработке согласно стандартным гидробиологическим методикам [17, 18]. Расчет биомасс зоопланктона производился с использованием таблиц реконструированных весов [19]. Сезонная динамика количественных показателей зоопланктона выполнена по материалам 2014 г. Для оценки видового разнообразия зоопланктонных сообществ рассчитывали

индекс Шеннона [20] и Симпсона [21]. Для сравнения зоопланктонных сообществ озер применялся коэффициент общности видового состава Сьёренсена [22].

2. Результаты и их обсуждение

Исследованные озера имеют термокарстовое происхождение и сходные гидрологические и гидрохимические показатели. Кислородный режим исследованных водоемов можно охарактеризовать как благоприятный для гидробионтов. Содержание в воде растворенного кислорода в период исследований колебалось от 7.7 до 12.9 мг/л в оз. Моло и от 6.7 до 12.6 мг/л в оз. Восточное, составив в среднем 10.7 и 10.5 мг/л соответственно. Относительное содержание кислорода в среднем в озере Моло составило 88.4% и 85.2% в оз. Восточное (табл. 1). По данному показателю рассматриваемые озера можно отнести к I классу (классу очень чистых вод с высоким содержанием растворенного кислорода), что положительным образом сказывается на развитии водных организмов [23]. Активная реакция водной среды в озерах оценивается как нейтральная (рН 6.7–7.8), составив в среднем 7.0 для оз. Моло и 7.2 для оз. Восточное.

Табл. 1

Основные морфометрические и гидрохимические показатели исследованных озер

Показатель	оз. Моло				оз. Восточное			
	Min	Среднее	Max	Медиана	Min	Среднее	Max	Медиана
Глубина водоема, м	0.3	5.7	5.9	3	0.4	4.8	5	4.8
Глубина отбора проб, м	0.7	5	6	5	3.6	4	5	4.9
$T_{\text{воды}}, ^\circ\text{C}$	0.1	7	14.1	9.1	0.1	6.9	14.9	7
Содержание растворенного в воде кислорода, мг/л	7.7	10.7	11.8	10.4	6.7	10.5	12.6	10.5
Относительное содержание кислорода в воде, %	73	88.4	92.5	90.3	56	85.2	97.5	88.6
Водородный показатель	4.4	7	7.8	6.8	6.7	7.2	7.6	7.1
Электропроводность, мкСм/см	70	108.3	163	79	34	113	207	68.5
Минерализация, г/дм ³	0.01	0.07	0.06	0.06	0.02	0.07	0.13	0.04

Степень минерализации вод низкая, водоемы относятся к категории ультрапресных вод. Удельная электропроводность воды колебалась во время исследований, что связано в первую очередь с поступлением талой воды, а также с поступлением речной воды в водоемы в период весеннего половодья. Так, значения данного показателя изменялись от 70 до 163 мкСм/см для оз. Моло, составив в среднем 108.3 мкСм/см, от 34 до 207 мкСм/см для оз. Восточное, составив в среднем 112.8 мкСм/см (табл. 1). В период исследований температура воды изменялась в оз. Моло от 0 °С до 14.1 °С, в оз. Восточное от 0 °С до 14.9 °С (табл. 1).

Табл. 2

Таксономический состав зоопланктона озер Моло и Восточное в 2013 и 2014 гг.

Таксон	оз. Моло		оз. Восточное	
	2013	2014	2013	2014
Rotifera				
<i>Rotaria sp.</i> (Scopuli, 1777)	–	–	+	–
<i>Dissotrocha aculeata</i> (Ehrenberg 1832)	–	–	–	–
<i>Collotheca mutabilis</i> (Hudson 1885)	–	–	+	+
<i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)	–	–	+	+
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	–	–	–	+
<i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)	–	–	+	+
<i>Lecane unguolata</i> (Gosse 1887)	–	–	+	–
<i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg 1832)	–	–	–	–
<i>Lecane crenata</i> (Harring 1913)	–	–	+	–
<i>Lecane scutata</i> (Harring & Myers, 1926)	–	–	+	–
<i>Lecane (Monostyla) sp.</i>	–	–	–	–
<i>Epiphanes sp.</i> (Ehrenberg, 1832)	–	–	–	+
<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)	–	–	+	–
<i>Euchlanis lyra</i> (Hudson 1886)	–	–	+	–
<i>Euchlanis deflexa</i> (Gosse 1851)	–	–	+	–
<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)	–	–	+	–
<i>Notholca caudata</i> (Carlin 1943)	–	–	+	+
<i>Notholca squamula</i> (Muller 1786)	–	–	–	+
<i>Notholca labis</i> (Gosse, 1887)	–	–	+	–
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	–	–	+	+
<i>Keratella quadrata</i> (Carlin, 1943)	–	–	+	+
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	–	–	+	+
<i>Trichothria truncata</i> (Whitelegge, 1889)	–	–	–	–
<i>Trichothria pocillum</i> (Muller, 1776)	–	–	–	–
<i>Trichothria sp.</i>	–	–	–	–
<i>Colurella obtusa</i> (Gosse, 1886)	–	–	+	–
<i>Lepadella patella</i> (Muller, 1773)	–	–	+	–
<i>Mytilina mucronata</i> (Muller 1773)	–	–	+	–
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	–	–	–	–
<i>Asplanchna sp.</i> (Gosse, 1850)	–	–	–	–
<i>Cephalodella megalcephala</i> (Glascott 1893)	–	–	+	–
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)	–	–	–	–
<i>Cephalodella catelina</i> (Muller, 1786)	–	–	–	–
<i>Trichocerca longiseta</i> (Schrank, 1802)	–	–	+	–
<i>Trichocerca stylata</i> (Gosse, 1851)	–	–	+	–
<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893)	–	–	–	–
<i>Gastropus stylifer</i> (Imhof, 1891)	–	–	–	+
<i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)	–	–	+	+
<i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)	–	–	–	+
<i>Polyarthra minor</i> (Voigt 1904)	–	–	–	+
<i>Ploesoma truncatum</i> (Levander, 1894)	–	–	+	–
<i>Dicranophorus grandis</i> (Ehrenberg, 1832)	–	–	+	–
Cladocera				
<i>Holopedium gibberum</i> (Balcer 1984)	–	–	+	+
<i>Bosmina longirostris</i> (Muller, 1785)	–	–	–	+
<i>Bosmina (Eubosmina) longispina</i> (Leydig, 1860)	–	–	+	+
<i>Euryercus lamellatus</i> (Mueller, 1776)	–	–	+	–
<i>Chydorus sphaericus</i> (Muler, 1785)	–	–	+	+

<i>Chydorus gibbus</i> (Sars 1890)	–	–	+	–
<i>Acroperus harpae</i> (Baird 1835)	–	–	+	–
<i>Alona affinis</i> (Leydig 1860)	–	–	–	–
<i>Alona guttata</i> Sars, 1862	–	–	+	–
<i>Alona sp.</i> (Baird, 1843)	–	–	+	–
<i>Alonella nana</i> (Baird 1843)	–	–	+	–
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	–	–	+	–
<i>Daphnia longiremis</i> (Sars 1861)	–	–	–	–
<i>Acantholeberis curvirostris</i> (Müller, 1776)	–	–	–	+
<i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820)	–	–	+	–
Copepoda				
<i>Heterocope borealis</i> (Fischer 1851)	–	–	+	+
<i>Leptodiptomus angustilobus</i> (Sars GO, 1898)	–	–	+	+
<i>Mixodiptomus theeli</i> (Lilljeborg in Guerne & Richard, 1889)	–	–	–	+
<i>Eudiptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	–	–	+	+
Diaptomidae	–	+	–	–
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer 1853)	–	–	+	+
<i>Cyclops strenuus</i> (Fischer, 1851)	–	–	–	+
<i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)	–	–	–	–
<i>Cyclops abyssorum</i> (Sars, 1863)	–	–	+	+
<i>Cyclops sp.</i>	–	–	+	+
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)	–	–	+	–
<i>Diacyclops crassicaudis</i> (Sars 1863)	–	–	–	+
<i>Diacyclops languidoides</i> (Lilljeborg, 1901)	–	–	+	–
<i>Acanthocyclops capillatus</i> (Sars 1863)	–	–	–	–
<i>Acanthocyclops venustus</i> (Norman & Scott T., 1906)	–	–	–	+
<i>Acanthocyclops sp.</i>	–	–	–	–
<i>Canthocamptus glacialis</i> (Lilljeborg, 1902)	–	–	–	+
<i>Paracamptus schmeili</i> (Mrazek, 1893)	–	–	–	–
<i>Bryocamptus vej dovskyi</i> (Mrázek, 1893)	–	–	+	–
Всего таксонов	40	31	45	30

Примечание: “+” – вид обнаружен, “–” – вид не обнаружен.

В зоопланктоне исследованных озер отмечено 67 видов и 76 таксонов (табл. 2). Большую часть видового списка составляли коловратки (Rotifera) (55.9%), на ветвистоусых (Cladocera) и веслоногих (Copepoda) раков приходилось по 23.5% и 20.6% соответственно. В целом таксономический состав исследованных озер был сходным, в оз. Моло отмечено 54 таксона зоопланктонных организмов, в оз. Восточное – 58 таксонов. Видовое разнообразие зоопланктонного сообщества определяли коловратки: в оз. Моло они составили 66.7% от общего числа видов в 2013 г. и 58.1% в 2014 г.; в оз. Восточное 56.5% в 2013 г. и 46.7% в 2014 г. Доля Cladocera от общего числа видов в 2013 г. в среднем составила 17.9% в оз. Моло и 23.9% в оз. Восточное. В 2014 г. таксономическое разнообразие ветвистоусых ракообразных было несколько ниже, а доля веслоногих ракообразных, напротив, возросла, составив в оз. Моло 32.2%, в оз. Восточное 36.6% (табл. 3).

Сравнение состава фаун оз. Восточное и оз. Моло показало умеренное сходство: коэффициент Съёренсена составил 0.67; в планктоне оз. Моло были найдены 20 видов и форм низших раков и 35 коловраток (табл. 1), в планктоне оз. Восточное – 26 представителей ракообразных и 29 видов и форм коловраток.

Табл. 3

Доля групп зоопланктона (%) в видовом разнообразии сообществ озер Моло и Восточное в 2013 и 2014 г.

Группа зоопланктона	оз. Моло		оз. Восточное	
	2013 г.	2014 г.	2013 г.	2014 г.
Rotifera	66.7	58.1	56.5	46.7
Cladocera	17.9	9.7	23.9	16.7
Copepoda	15.4	32.2	19.6	36.6

Табл. 4

Численность и биомасса основных групп зоопланктона в озерах Моло и Восточное

Название озера	Год	Rotifera	Cladocera	Copepoda	Общая численность зоопланктона
		<i>N / B</i>	<i>N / B</i>	<i>N / B</i>	<i>N / B</i>
Восточное	2013	5.4 ± 1.5 / 1.8 ± 0.3	0.3 ± 0.1 / 111.1 ± 60.3	2.8 ± 0.8 / 169.2 ± 51.8	8.4 ± 2.2 / 282.1 ± 100.8
	2014	32.8 ± 7.7 / 13.5 ± 3.5	0.3 ± 0.2 / 21.4 ± 10.0	11.4 ± 3.4 / 384.9 ± 123.3	44.5 ± 10.6 / 419.8 ± 132.3
Моло	2013	20 ± 3.1 / 9 ± 1.7	0.4 ± 0.1 / 4.4 ± 1.7	3.2 ± 0.6 / 139.2 ± 34.6	23.6 ± 3.6 / 152.3 ± 34.9
	2014	15.4 ± 3.8 / 6.3 ± 1.7	0.04 ± 0.03 / 1.1 ± 0.7	4.3 ± 1.3 / 111.4 ± 28.6	19.8 ± 4.7 / 121.7 ± 28.7

Примечание: *N* – численность, тыс. экз./м³, *B* – биомасса, мг/м³.

Если анализировать изменения в составе зоопланктона в сезонном аспекте, то можно отметить, что пробы весеннего зоопланктона существенно беднее образцов зоопланктона, отобранных во время летних исследований. В составе весеннего зоопланктона оз. Моло насчитывалось 14 видов и 3 таксона, в то время как в летние месяцы (июль – август) обнаружено 25 видов и форм, из них 14 видов и форм Rotifera, 3 вида Cladocera и 8 видов и форм Copepoda. Сезонные изменения зоопланктона оз. Восточное выражались в увеличении числа таксонов Copepoda: их доля в летнем зоопланктоне возрастала по сравнению с в весенними пробами.

Показатели количественного развития основных групп зоопланктона в озерах дельты р. Лены представлены в табл. 4. В оз. Восточное при относительно большей численности зоопланктона биомасса была менее 1 г/м³, что связано с преобладанием в планктонных сообществах мелких видов коловраток. В оз. Моло коловратки также доминировали в зоопланктоне. Численность данной группы за время исследований варьировала от 3.3 до 92.2 тыс. экз./м³, составив в среднем 43.4 тыс. экз./м³ в оз. Восточное и 17.7 тыс. экз./м³ в оз. Моло. Наибольший вклад в численность зоопланктона вносили такие коловратки, как *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851).

Численность массовой колониальной коловратки *C. unicornis* составила 66.6 тыс. экз./м³ (оз. Восточное, 2014 г.). Для другого представителя комплекса структурообразующих видов изученных водоемов – *K. longispina*, типичного для зоопланктона северных озер, численность достигала 84.2 тыс. экз./м³ (оз. Восточное, 2014 г.). Ее минимальное значение – 0.3 тыс. экз./м³ (оз. Восточное, 2013 г.).

Численность видов Cladocera была значительно ниже по сравнению с Rotifera, составив в среднем 0.3 тыс. экз./м³ для оз. Восточное и 0.2 тыс. экз./м³ для оз. Моло. Из кладоцера чаще других в образцах встречались представители рода *Bosmina*, а именно *Bosmina (Eubosmina) longispina* (Leydig, 1860) и *Bosmina longirostris* (Muller, 1785). Численность их достигала в среднем значений 0.2 и 0.1 тыс. экз./м³ соответственно. Характерно наличие в зоопланктоне оз. Восточное холодолюбивого вида *Holopedium gibberum* (Balcer 1984) [24], имеющего палеарктическое распространение и индикаторную значимость, указывающую на высокое качество воды.

Численность группы веслоногих ракообразных составила в среднем 7.1 тыс. экз./м³ в оз. Восточное и 3.8 тыс. экз./м³ в оз. Моло. Наибольший вклад в численность этой группы зоопланктона вносили *Leptodiptomus angustilobus* (Sars, 1898), характерный для водоемов с высокой прозрачностью воды [25], и крупный *Heteroscope borealis* (Fischer 1851), в массе развивающийся в мелких безрыбных водоемах [26].

Биомассу зоопланктона исследуемых водоемов определяли в первую очередь представители крупных веслоногих ракообразных. Так, биомасса Copepoda составляла для оз. Восточное в среднем 277.1 мг/м³, для оз. Моло – 125.9 мг/м³. Наибольший вклад в биомассу вносили виды *L. angustilobus* и *H. borealis*. В целом средние значения численности и биомассы зоопланктона в период исследований составили 50.8 тыс. экз./м³ и 351.1 мг/м³ для оз. Восточное и 21.7 тыс. экз./м³ и 135.9 мг/м³ для оз. Моло.

Исследование динамики зоопланктона в сезонном аспекте позволило нам выявить два пика в развитии количественных показателей зоопланктона для оз. Восточное (рис. 2, 3). Первый пик приходился на первую половину июля, а второй отмечался в начале августа. Динамика количественных показателей зоопланктона оз. Моло была более сглаженной, явный пик отмечался лишь по численности в конце июня начале июля (рис. 2). Увеличение количественных показателей зоопланктона было связано с развитием таких видов, как *C. unicornis*, *K. longispina*, *L. angustilobus*, *H. borealis*, а также науплиальных и копеподитных стадий веслоногих ракообразных.

По зоогеографической характеристике в озерах преобладали виды широко распространённые (> 50% таксонов). Но ключевые, структурообразующие виды зоопланктона, которые влияли на количественные показатели, являлись холодолюбивыми видами с палеоарктическим распространением (*C. unicornis*, *K. longispina*, *H. borealis*, *L. angustilobus*).

На основе количественных показателей зоопланктона нами были рассчитаны индексы видового разнообразия Шеннона, значения которых варьировали от 0.6 до 3.4 (рис. 4). Для оз. Восточное и Моло в 2013 г. значения индекса составили в среднем 2.6 и 1.9 бит/экз. соответственно. В 2014 г. значения индекса снизились, составив 1.6 бит/экз. для оз. Восточное и 1.7 бит/экз. для оз. Моло. В целом по индексу видового разнообразия Шеннона воды исследованных озёр оцениваются как умеренно-загрязненные. Индекс доминирования Симпсона 2013–2014 г. варьировался в пределах 0.30–0.44, указывая на достаточно выровненную структуру зоопланктона исследованных озёр и отсутствие явного доминирования нескольких видов.

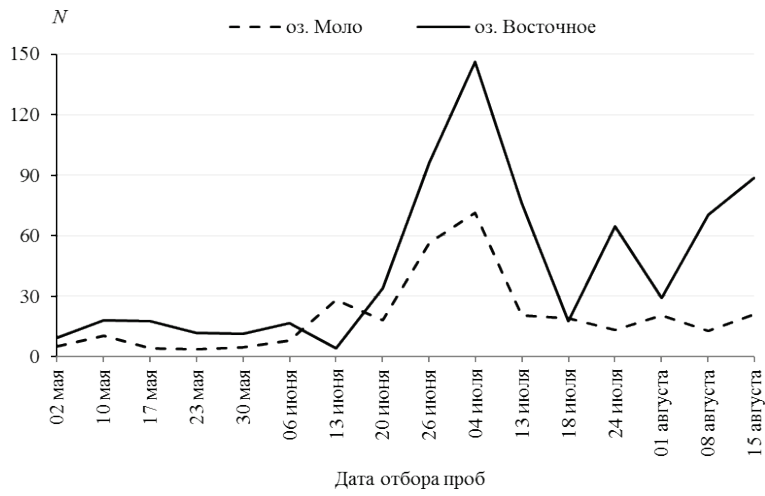


Рис. 2. Динамика численности зоопланктона (N , тыс. экз./м³) озер Моло и Восточное (2014 г.)

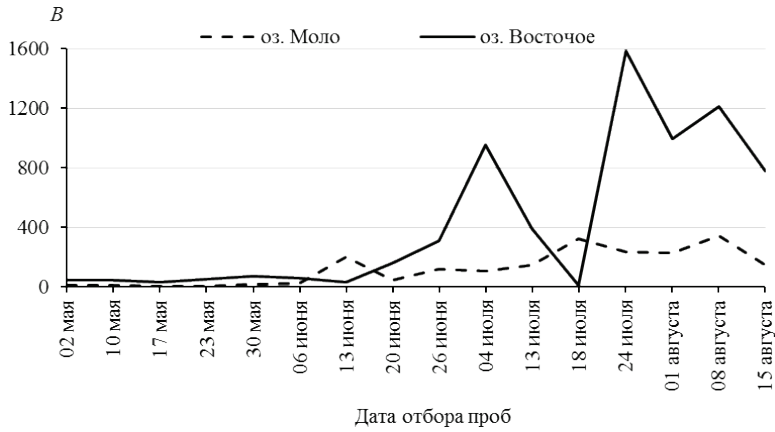


Рис. 3. Динамика биомассы зоопланктона (B , мг/м³) озер Моло и Восточное (2014 г.)

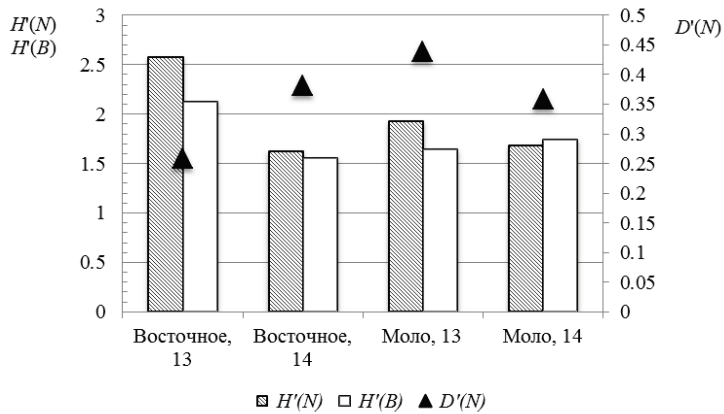


Рис. 4. Средние за период исследований индексы видового разнообразия ($H'(N)$, бит/экз., $H'(B)$, бит/г) и доминирования ($D'(N)$) зоопланктона в озерах Моло и Восточное

Заключение

В результате проведенного исследования были выявлены особенности зоопланктона двух термокарстовых озер о. Самойловский. Видовое разнообразие и численность зоопланктона обуславливали представители типа Rotifera как в весеннее, так и в летнее время. По биомассе доминировали крупные веслоногие ракообразные. Основной структурообразующий комплекс видов зоопланктона включал в себя следующие виды: *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Heterocope borealis* (Fischer 1851), *Leptodiptomus angustilobus* (Sars, 1898), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888). Таким образом, количественные показатели (численность и биомасса) зоопланктона определяли холодолюбивые, типичные для водоемов северных широт таксоны. Ожидаемо выше были показатели зоопланктона в летнее время.

В целом отмеченные нами специфические особенности зоопланктона исследованных термокарстовых озер о. Самойловский, а именно: уровень количественных показателей, доминирование в видовом разнообразии и по численности представителей группы Rotifera, обеспечение биомассы за счет крупных таксонов Copepoda – подтверждаются результатами других исследований зоопланктонных сообществ арктических водоемов [27, 28].

Благодарности. Авторы выражают сердечную благодарность исследователям Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, г. Санкт-Петербург, сотрудникам научно-исследовательской станции «Остров Самойловский» (СО РАН, г. Новосибирск) и Усть-Ленского заповедника за помощь в организации и проведении полевых исследований.

Полевые исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-05-00406, 18-05-60291), а также за счет программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета. Камеральная обработка и анализ материала были выполнены в рамках гранта РНФ 16-17-10118.

Литература

1. *Большаинов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г.* Происхождение и развитие дельты реки Лены. – СПб.: ААНИИ, 2013. – 268 с.
2. *Abramova E, Tuschling K.* A 12-year study of the seasonal and interannual dynamics of mesozooplankton in the Laptev Sea: Significance of salinity regime and life cycle patterns // *Global Planet. Change.* – 2005. – V. 48, No 1–3. – P. 141–164. – doi: 10.1016/j.gloplacha.2004.12.010.
3. *Рылов В.М.* Материалы к фауне пресноводных свободноживущих веслоногих ракообразных северной Сибири – Л.: Изд-во АН СССР, 1928. – 33 с. (Труды Комиссии по изучению Якутской АССР, Т. 11)
4. *Пирожников П.Л., Шульга Е.Л.* Основные черты зоопланктона низовья р. Лены // *Тр. Всес. гидробиол. о-ва.* – 1957. – Т. 8. – С. 219–230.
5. *Урбан В.В.* Гидробиологические исследования в дельте Лены // *Изв. ВНИОРХ.* – Л., 1979. – Т. 29. – С. 75–95.
6. *Серкина Р.А.* Планктон и бентос р. Лены и ее приморских участков // *Тр. Якут. отд. ния Сиб. НИИ рыбн. хоз-ва.* – Якутск, 1969. – Вып. 3. – С. 188–196.

7. *Abramova E., Vishnyakova I., Torsten S.* Hydrobiological investigations in the Lena Delta // Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2006. – 2007. – V. 566. – P. 6–8.
8. *Abramova E., Vishnyakova I.* New data about zooplankton species composition and distribution in the lakes of the Lena Delta // Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2008. – 2012. – V. 642. – P. 30–35.
9. *Nigamatzyanova G., Frolova L.* Zooplankton communities of the Lena River delta (Siberia, Russia) // 16th Int. Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. – 2016. – Book 5, V. 2. – P. 643–650. – doi: 10.5593/SGEM2016/B52/S20.083.
10. *Nigamatzyanova G., Frolova L., Abramova E.* Zooplankton spatial distribution in thermokarst lake of the Lena river delta (Republic of Sakha (Yakutia)) // Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci. – 2016. – V. 7, No 5. – P. 1288–1297.
11. *Огородников Н.Н., Федорова И.В.* Расчет глубины протаивания многолетнемерзлых пород на примере о. Самойловский (дельта реки Лены) // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – С. 29–33.
12. *Абрамова Е.Н., Жулай И.А.* Появление новых видов зоопланктона в водоемах дельты р. Лены // Тр. Зоол. ин-а РАН. – 2016. – Т. 320, № 4. – С. 473–487. – doi: 10.31610/trudyzin/2016.320.4.473.
13. *Boike J., Kattenstroth B., Abramova K., Bornemann N., Chetverova A., Fedorova I., Fröb K., Grigoriev M., Grüber M., Kutzbach L., Langer M., Minke M., Muster S., Piel K., Pfeiffer E.-M., Stoof G., Westermann S., Wischnewski K., Wille C., Hubberten H.-W.* Baseline characteristics of climate, permafrost, and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011) // Biogeosciences. – 2013. – V. 10, No 3. – P. 2105–2128. – doi: 10.5194/bg-10-2105-2013.
14. *Четверова А., Федорова И., Попова Т., Бойке Ю.* Гидрологические и геохимические особенности современного состояния озер о. Самойловский в дельте р. Лены // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 1. – С. 97–110.
15. *Abnizova A., Siemens J., Langer M., Boike J.* Small ponds with major impact: The relevance of ponds and lakes in permafrost landscapes to carbon dioxide emissions // Global Biogeochem. Cycles. – 2012. – V. 26, No 2. – Art. GB2041, P. 1–9. – doi: 10.1029/2011GB004237.
16. *Boike J., Georgi C., Kirilin G., Muster S., Abramova E.N., Fedorova I., Chetverova A., Grigoriev M., Bornemann N., Langer M.* Thermal processes of thermokarst lakes in the continuous permafrost zone of northern Siberia – observation and modelling (Lena River Delta, Siberia) // Biogeosciences. – 2015. – V. 12, No 20. – P. 5941–5965.
17. *Жадин В.И.* Методы гидробиологического исследования. – М.: Высш. шк., 1960. – 191 с.
18. *Константинов А.С.* Общая гидробиология. – М.: Высш. шк., 1986. – 472 с.
19. *Балушкина Е.В.* Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. – Л.: Наука, 1979. – С. 169–172.
20. *Shannon C.E., Weaver W.* The mathematical theory of communication. – Urbana: Univ. Illinois Press, 1963. – 117 p.
21. *Gini C.* Measurement of inequality and incomes // Econ. J. – 1921. – V. 31, No 12. – P. 124–126. – doi: 10.2307/2223319.
22. *Sørensen T.A.* A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons // Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. krifter. – 1948. – Bd. 5, H. 4. – P. 1–34.
23. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 446 с.

24. *Коровчинский Н.М.* Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. – 410 с.
25. *Боруцкий Е.В.* Определитель Calanoida пресных вод СССР. – Л.: Наука, 1991. – 504 с.
26. *Фефилова Е.Б.* Веслоногие раки (Copepoda). – М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2015. – 324 с.
27. *Abramova E.N.* Investigation of zooplankton from tundra water basins in the Lena Delta // Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2001. – 2002. – V. 426. – P. 42–43.
28. *Abramova E.N.* Species composition, ecology, population structure and seasonal dynamic of zooplankton from tundra water basins in the Lena Delta // Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2002. – 2003. – V. 466. – P. 96–100.

Поступила в редакцию
07.06.17

Фролова Лариса Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и общей биологии

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: larissa.frolova@kpfu.ru

Нигаматзянова Гульнара Ришатовна, аспирант Института фундаментальной медицины и биологии, младший научный сотрудник НИЛ «Палеоклиматологии, палеоэкологии и палеомагнетизма»

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
E-mail: Gulnaraniqa@mail.ru

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2019, vol. 161, no. 1, pp. 158–171

doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.158-171

**Structural and Functional Characteristics of Zooplankton Communities
in Thermokarst Lakes of Samoylov Island (Lena River Delta, Republic of Sakha (Yakutia))**

*L.A. °Frolova * , G.R. Nigamatzyanova ***

Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia
E-mail: *larissa.frolova@kpfu.ru, **Gulnaraniqa@mail.ru

Received June 7, 2017

Abstract

The structural and functional characteristics of zooplankton communities of two thermokarst lakes on Samoylov Island (Lena River delta, Yakutia) have been studied. A total of 76 taxa of hydrobionts have been found in the zooplankton community of the studied lakes. The taxonomic lists of the spring-summer zooplankton compositions have been provided. The complex of species determining the community structure has been defined. Rotifers determined the species diversity and zooplankton abundance in the lakes. The biomass values were defined by large copepods. Cold-water-dwelling northern species made the greatest contribution to the quantitative indicators of zooplankton. The seasonal dynamics of quantitative indicators of zooplankton has been analyzed. The current state of the lakes has been assessed using the saprobity index and species diversity.

Keywords: zooplankton, hydrobiology, species diversity, thermokarst lakes, Lena River delta

Acknowledgments. We are grateful to the staff members of the Arctic and Antarctic Research Institute (St. Petersburg), Scientific Research Station “Samoylov Island” (Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk), and Lena Delta Nature Reserve for their invaluable help during the field work.

The field work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00406, 18-05-60291) and performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University. Laboratory processing and analysis of the material were funded by the Russian Science Foundation (project no. 16-17-10118).

Figure Captions

Fig. 1. Maps of the Lena River delta (the region of study is shown by the square) and Samoylov Island with Lake Molo (no. 1) and Vostochnoe (no. 2).

Fig. 2. Dynamics of zooplankton abundance (N , thous. ind./m³) in Lake Molo and Vostochnoe (2014).

Fig. 3. Dynamics of zooplankton biomass (B , mg/m³) in Lake Molo and Vostochnoe (2014).

Fig. 4. Mean values of the zooplankton species diversity ($H'(N)$, bit/ind., $H'(B)$, bit/year) and dominance ($D'(N)$) indices in Lake Molo and Vostochnoe.

References

1. Bol'shiyanov D.Yu., Makarov A.S., Schneider V., Stoff G. *Proiskhozhdenie i razvitie del'ty reki Leny* [Origination and Evolution of the Lena River Delta]. St. Petersburg, AANII, 2013. 268 p. (In Russian)
2. Abramova E., Tuschling K. A 12-year study of the seasonal and interannual dynamics of mesozooplankton in the Laptev Sea: Significance of salinity regime and life cycle patterns. *Global Planet. Change*, 2005, vol. 48, nos. 1–3, pp. 141–164. doi: 10.1016/j.gloplacha.2004.12.010.
3. Rylov V.M. *Materialy k faune presnovodnykh svobodnozhivushchikh veslonogikh rakoobraznykh severnoi Sibiri* [Materials on the Fauna of Free-Living Freshwater Copepods (Copepoda, Calanoida) of the Northern Siberia]. Leningrad, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1928. 33 p. (In Russian)
4. Pirozhnikov P.L., Shul'ga E.L. Main characteristics of zooplankton in the lower reaches of the Lena River. *Tr. Vses. Gidrobiol. O-va.*, 1957, vol. 8, pp. 219–230. (In Russian)
5. Urban V.V. Hydrobiological studies in the Lena River delta. *Izv. VNIORKh.*, 1979, vol. 29, pp. 75–95. (In Russian)
6. Serkina R.A. Plankton and benthos of the Lena River and its seaside areas. *Tr. Yakutsk. Otd. Sib. NII Rybn. Khoz.*, 1969, no. 3, pp. 188–196. (In Russian)
7. Abramova E., Vishnyakova I., Torsten S. Hydrobiological investigations in the Lena Delta. *Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2006, 2007*, vol. 566, pp. 6–8. (In Russian)
8. Abramova E., Vishnyakova I. New data about zooplankton species composition and distribution in the lakes of the Lena Delta. *Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2008, 2012*, vol. 642, pp. 30–35. (In Russian)
9. Nigamatzyanova G., Frolova L. Zooplankton communities of the Lena River delta (Siberia, Russia). *Proc. 16th Int. Multidiscip. Sci. GeoConference SGEM 2016*, 2016, book 5, vol. 2, pp. 643–650. doi: 10.5593/SGEM2016/B52/S20.083.
10. Nigamatzyanova G., Frolova L., Abramova E. Zooplankton spatial distribution in thermokarst lake of the Lena river delta (Republic of Sakha (Yakutia)). *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.*, 2016, vol. 7, no. 5, pp. 1288–1297. (In Russian)
11. Ogorodnikov N.N., Fedorova I.V. Calculating the melting depth of permafrost based on Samoylov Island (Lena River delta). In: *Vodnaya sreda i prirodno-territorial'nye komplekсы: issledovanie, ispol'zovanie, okhrana* [Aquatic Environment and Natural-Territorial Complexes: Research, Exploitation, and Conservation]. Petrozavodsk, KarNts Ross. Akad. Nauk, 2011, pp. 29–33. (In Russian)
12. Abramova E.N., Zhulai I.A. Appearance of new zooplankton species in water bodies of the Lena River delta. *Tr. Zool. Inst. Ross. Akad. Nauk*, 2016, vol. 320, no. 4, pp. 473–487. doi: 10.31610/trudyzin/2016.320.4.473.
13. Boike J., Kattenstroth B., Abramova E., Bornemann N., Chetverova A., Fedorova I., Fröb K., Grigoriev M., Grüber M., Kutzbach L., Langer M., Minke M., Muster S., Piel K., Pfeiffer E.-M.,

- Stoof G., Westermann S., Wischnewsk K., Wille C., Hubberten H.W. Baseline characteristics of climate, permafrost, and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011). *Biogeosciences*, 2013, vol. 10, no. 3, pp. 2105–2128. doi: 10.5194/bg-10-2105-2013.
14. Chetverova A., Fedorova I., Potapova T., Boike Yu. Hydrological and geochemical characteristics of the current state of lakes on Samoylov Island in the Lena River delta. *Probl. Arkt. Antarkt.*, 2013, no. 1, pp. 97–110. (In Russian)
 15. Abnizova A., Siemens J., Langer M., Boike J. Small ponds with major impact: The relevance of ponds and lakes in permafrost landscapes to carbon dioxide emissions. *Global Biogeochem. Cycles*, 2012, vol. 26, no. 2, art. GB2041, pp. 1–9. doi: 10.1029/2011GB004237.
 16. Boike J., Georgi C., Kirilin G., Muster S., Abramova E.N., Fedorova I., Chetverova A., Grigoriev M., Bornemann N., Langer M. Thermal processes of thermokarst lakes in the continuous permafrost zone of northern Siberia – observation and modelling (Lena River Delta, Siberia). *Biogeosciences*, 2015, vol. 12, no. 20, pp. 5941–5965.
 17. Zhadin V.I. *Metody gidrobiologicheskogo issledovaniya* [Methods of Hydrobiological Research]. Moscow, Vyssh. Shk., 1960. 191 p. (In Russian)
 18. Konstantinov A.S. *Obshchaya gidrobiologiya* [General Hydrobiology]. Moscow, Vyssh. Shk., 1986. 472 p. (In Russian)
 19. Balushkina E.V. The relationship between the body weight and length in planktonic animals. In: *Obshchie osnovy izucheniya vodnykh ekosistem* [General Principles of Study of Aquatic Ecosystems]. Leningrad, Nauka, 1979, pp. 169–172. (In Russian)
 20. Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Univ. Illinois Press, 1963. 117 p.
 21. Gini C. Measurement of inequality and incomes. *Econ. J.*, 1921, vol. 31, no. 12, pp. 124–126. doi: 10.2307/2223319.
 22. Sørensen T.A. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biol. skrifter.*, 1948, Bd. 5, H. 4, pp. 1–34.
 23. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Principles of Hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970. 446 p. (In Russian)
 24. Korovchinskii N.M. *Vetvistousye rakoobraznye otriyada Ctenopoda mirovoi fauny (morfologiya, sistematika, ekologiya, zoogeografiya)* [Copepods of the Order Ctenopoda in the Global Fauna (Morphology, Taxonomy, Ecology, Zoogeography)]. Moscow, T-vo Nauchn. Izd. KMK, 2004. 410 p. (In Russian)
 25. Borutskii E. *Opredelitel' Calanoida presnykh vod SSSR* [Key for Identification of Calanoida in Soviet Fresh Waters]. Leningrad, Nauka, 1991. 504 p. (In Russian)
 26. Fefilova E.B. *Veslonogie raki (Copepoda)* [Copepods (Copepoda)]. Moscow, T-vo. Nauchn. Izd. KMK, 2015. 324 p. (In Russian)
 27. Abramova E.N. Investigation of zooplankton from tundra water basins in the Lena Delta. *Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2001, 2002*, vol. 426, pp. 42–43. (In Russian)
 28. Abramova E.N. Species composition, ecology, population structure and seasonal dynamic of zooplankton from tundra water basins in the Lena Delta. *Ber. Polar Meerforsch. Russian-German Cooperation SYSTEM LAPTEV SEA: The Expedition LENA 2002, 2003*, vol. 466, pp. 96–100.

Для цитирования: Фролова Л.А., Нигаматзянова Г.Р. Структурно-функциональная характеристика зоопланктонных сообществ термокарстовых озер о. Самойловский (дельта реки Лены, Республика Саха (Якутия)) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2019. – Т. 161, кн. 1. – С. 158–171. – doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.158-171.

For citation: Frolova L.A., Nigamatzyanova G.R. Structural and functional characteristics of zooplankton communities in thermokarst lakes of Samoylov Island (Lena River delta, Republic of Sakha (Yakutia)). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2019, vol. 161, no. 1, pp. 158–171. doi: 10.26907/2542-064X.2019.1.158-171. (In Russian)