

ЧИСЛЕННОСТЬ РОДСТВЕННЫХ ВИДОВ *KELLICOTTIA BOSTONIENSIS* (ROUSSELET, 1908) И *K. LONGISPINA* (KEL LICOTT, 1879) (ROTIFERA: BRACHIONIDAE) В СООБЩЕСТВАХ ЗООПЛАНКТОНА ПУСТЫНСКОЙ ОЗЁРНО-РЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (НИЖЕГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2021 Шурганова Г.В.^{а,*}, Золотарева Т.В.^{а,**}, Кудрин И.А.^{а,***}, Жихарев В.С.^{а,****}, Гаврилко Д.Е.^{а,*****}, Ильин М.Ю.^{б,с,*****}

^а Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Нижний Новгород, 603950; Россия

^б ООО «НПО Собский рыболовный завод», п. Харп, Ямало-Ненецкий автономный округ, 629420; Россия

^с Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург, 620144; Россия
e-mail: *galina.ngu@mail.ru, **tanyakuklina.nn@yandex.ru, ***kudriniv@mail.ru, ****slava.zhiharev@ro.ru, *****dima_gavrilko@mail.ru, *****maxim_ilin@list.ru

Поступила в редакцию 18.04.2020. После доработки 05.02.2021. Принята к публикации 17.02.2021.

В работе представлены особенности пространственного размещения сообществ зоопланктона на акватории Пустынской озёрно-речной системы. В выделенных сообществах проанализировано обилие двух родственных видов рода *Kellicottia*, чужеродного *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и аборигенного *K. longispina* (Kellicott, 1879), в 2013–2017 гг. Наибольшая численность коловратки отмечена в зоопланктоценозах мезотрофных водных объектов (р. Серёжа и оз. Свято). Установлено, что после периода массового развития *K. bostoniensis* в 2013–2014 гг., которое может быть обусловлено начальным этапом натурализации чужеродного вида, его численность резко снижалась. В 2013–2014 гг. количество аборигенного вида *K. longispina* (Kellicott, 1879) было значительно ниже, чем чужеродного. В 2017 г. *K. longispina* доминировала в Протоке и оз. Свято. Показано, что наибольшая плотность обоих видов характерна для металимниона мезотрофного оз. Свято. Выявлена статистически значимая положительная корреляция численности *K. bostoniensis* с температурой, прозрачностью и рН воды, а также численностью хищных видов зоопланктона. Численность аборигенного вида *K. longispina* отрицательно коррелировала лишь со значением рН воды.

Ключевые слова: сообщества, чужеродные виды, *Kellicottia bostoniensis*, *Kellicottia longispina*, динамика, водоёмы, водотоки, Нижегородская область.

DOI: 10.35885/1996-1499-2021-14-1-116-133

Введение

Известно, что вселение новых видов во внутренние воды может привести к изменению их экологического состояния и трансформации сообществ гидробионтов [Garcia-Berthou et al., 2005; Vomfim et al., 2016, Leuven et al., 2017]. При этом научные исследования должны быть направлены не только на выявление векторов и инвазионных коридоров чужеродных видов, но и на определение факторов среды, обеспечивающих их успешную натурализацию [Leuven et al., 2017; Walraven et al., 2017].

Изучение процесса вселения коловраток представляет особый интерес, поскольку в отличие от крупных организмов, как правило,

преднамеренно транспортируемых людьми, зоопланктонные виды зачастую сложно идентифицировать, трудно установить момент их появления в сообществе [Leuven et al., 2017]. В настоящее время не ослабевает интерес исследователей к изучению распространения и влияния североамериканской коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) на планктонные сообщества в целом, а также их отдельные компоненты [De Paggi, 2002; Zhdanova et al., 2016; Shurganova et al., 2017; Крайнев и др., 2018; Шурганова и др., 2019; Oliveira et al., 2019]. Чужеродный вид широко распространён во многих водных объектах Северной Европы [Josefsson, Andersson, 2001; Streble, Krauter, 2006; Lehtovaara et al., 2014], обнаружен так-

же в Беларуси [Vezhnavevets, Litvinova, 2015]. Коловратка идентифицирована в более чем 80 водных объектах России [Иванова, Телеш, 2004; Жданова, Добрынин, 2011; Лобуничева и др., 2011; Макарецва, Родионова, 2011; Алёшина и др., 2014; Лазарева, Жданова, 2014; Bayanov, 2014; Фомина, Сярки, 2015; Подшивалина, 2016; Zhdanova et al., 2016; Крайнев и др., 2018], в том числе в Нижегородской области *K. bostoniensis* обнаружена в 47 разнотипных водоёмах и водотоках [Bayanov, 2014; Shurganova et al., 2017; Шурганова и др., 2018; 2019]. Установлено, что *K. bostoniensis* – вид с высокой экологической пластичностью, способный развиваться в широком диапазоне условий [Zhdanova et al., 2016; Shurganova et al., 2017; Шурганова и др., 2019].

Однако лишь многолетний мониторинг инвазионного процесса может ответить на ряд вопросов, таких как выявление закономерностей натурализации, взаимодействия с родственными аборигенными видами, действие факторов среды, оказывающих влияние на количество и распределение вида-вселенца. Все эти вопросы в полной мере актуальны для *K. bostoniensis*, по отношению к которой окончательно не определены предпочтительный трофический статус водных объектов, особенности вертикального распределения в водоёмах [Жданова, Добрынин, 2011; Крайнев и др., 2018].

Цель работы – выделение сообществ зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы (Нижегородская обл.), сравнение в них численности и значения родственных видов *K. bostoniensis* и *K. longispina*, выявление факторов среды, определяющих обилие этих двух видов.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили гидробиологические пробы, взятые в водных объектах Пустынской озёрно-речной системы: в р. Серёжа, озёрах Великое, Глубокое, Паровое, Долгое, Свято, а также в Протоке (водоток между оз. Великое и Свято). Все водные объекты расположены в пределах государственного природного заказника «Пустынский» и на прилегающих территориях. Государственный природный заказник регионального значения «Пустынский» находится на территории правобережья Чебоксарского водохранилища в южной части Нижегородской обл. в бассейне р. Серёжа (правого притока р. Ока второго порядка). Водные объекты заказника соединены друг с другом и образуют единую систему. Они возникли в результате карстовых процессов в русле р. Серёжа и на прилегающей территории [Асташин и др., 2016].

Длина р. Серёжа – 196 км, ширина 10–30 м, средняя глубина 2 м (табл. 1) [Харитоны-

Таблица 1. Характеристика водных объектов Пустынской озёрно-речной системы

Водный объект	Координаты	S/L, км ² /км	Н, м		SD, м	pH	ЕС, мкСм/см	ТС
			Max	Mean				
Р. Серёжа	55°39'26" с. ш. 43°36'10" в. д.	196.0	4.0	2.0	0.5–2.2	7.46–8.80	161.7–221.0	М
Оз. Великое	55°39'34" с. ш. 43°35'14" в. д.	0.9	11.0	3.5	0.5–1.1	7.65–8.89	88.3–148.0	Э
Протока	55°40'10" с. ш. 43°34'45" в. д.	1.7	3.5	1.8	0.9–2.0	6.46–8.51	38.7–150.9	Э
Оз. Свято	55°40'27" с. ш. 43°35'17" в. д.	0.3	14.5	5.7	0.9–1.8	6.93–7.59	33.2–52.5	М
Оз. Глубокое	55°40'7" с. ш. 43°33'53" в. д.	0.6	10.9	5.0	0.8–1.0	8.45–8.73	160.0–220.0	Э
Оз. Паровое	55°40'7" с. ш. 43°32'47" в. д.	0.4	5.2	2.1	0.8–1.0	7.87–8.45	161.7–211.0	Э
Оз. Долгое	55°39'35" с. ш. 43°31'33" в. д.	0.5	4.0	2.0	0.7–0.9	8.17–8.84	211.0–269.0	Э

Примечание: S/L – площадь водоёма/длина реки; Н – глубина; SD – прозрачность; ЕС – удельная электропроводность; ТС – трофический статус (М – мезотрофный; Э – эвтрофный).

чев, 1978]. Площадь водосбора реки характеризуется наличием карстовых воронок, озёр провального типа, соединяющихся протоками, и мелкими речками. Пойма реки покрыта лесом, кустарниками, местами заболочена. Недалеко от с. Пустынь в пойме р. Серёжа находятся крупные провалы, занятые Пустыньскими озёрами. Трофический статус реки характеризуется как мезотрофный [Воденеева и др., 2015].

Озёра Великое, Свято, Глубокое, Паровое и Долгое – типичные карстовые озёра Нижегородского Поволжья. Трофический статус водоёмов изменяется от мезотрофного до эвтрофного [Челышева, Охапкин, 2019] (табл. 1). Воды оз. Великое характеризуются летней гомотермией, а оз. Свято – летней стратификацией [Лаврова, Кузнецова, 2000].

Материал собирали в 2013–2017 гг. на постоянных станциях в июле, в 2017 г. на озёрах Великое и Свято отбор проб проводили по горизонтам. Проводили тотальный лов зоопланктона от дна до поверхности сетью Джеди (нейлоновое сито с ячейей 70 мкм) в медиали реки и пелагиали озёр. Для отбора гидробиологического материала по глубинам использовали батометр Руттнера. В оз. Свято с 1 до 10 м, через каждые 2 м; в оз. Великом на глубинах 0.5, 1.0, 1.5, 3.0, 4.5 м. С каждого горизонта отбирали 20 л воды и процеживали через сеть Апштейна с ячейей 70 мкм. Материал фиксировали 4%-м формалином и хранили в гидробиологических склянках. Параллельно диском Секки измеряли прозрачность воды, с помощью мультипараметрического зонда YSI Pro 1030 (YSI Incorporated, USA) – электропроводность, температуру, рН. Материал обработан общепринятыми методами [Методические рекомендации..., 1982]. Определение вида *K. bostoniensis* проводилось с использованием работ ряда исследователей [De Paggi, 2002; Жданова, Добрынин, 2011; Лазарева, Жданова, 2014]. Выделение доминирующих видов зоопланктона проводили на основании расчёта индекса доминирования Паляя – Ковнацки [Баканов, 1987].

Анализ численности чужеродного вида *K. bostoniensis* и аборигенного *K. longispina* проводился в сообществах зоопланктона, выделенных на акваториях Пустынской озёр-

но-речной системы. Для выделения зоопланктонных сообществ и установления их пространственного размещения был использован метод многомерного векторного анализа [Черепенников и др., 2004; Шурганова, 2007]. Выбор оптимального числа кластеров при кластеризации проб зоопланктона проводили на основании анализа силуэтов и анализа коэффициентов корреляции Мантеля [Borcard et al., 2011; Legendre, Legendre, 2012; Якимов и др., 2016].

Для выявления экологических предпочтений *K. bostoniensis* и *K. longispina* по отношению к факторам среды (температура, прозрачность, рН воды, а также численности хищных видов зоопланктона) использовали регрессионный анализ [Шитиков, Розенберг, 2013]. В анализе учитывали все пробы зоопланктона, отобранные в летние сезоны 2014–2017 гг. Показатели численности вида-вселенца и некоторых факторов среды в процессе анализа были логарифмированы с целью нормализации их распределения и минимизации искажений модели, вносимых значительным разбросом исходных значений. Все расчёты проводили в программной среде R [R Core Team..., 2015].

Результаты

На основе многомерного векторного анализа методом средней связи с последующим определением оптимального количества кластеров было выделено четыре кластера, соответствующих сообществам (рис. 1а). Отдельные кластеры представляли зоопланктоценозы, занимающие следующие акватории: р. Серёжа выше озёрной системы (I Ср); оз. Великое (II В); оз. Свято (III С) (рис. 1б). Единый кластер образовали сообщества, расположенные на акватории Протоки, соединяющей оз. Великое и оз. Свято (IV П), и русловых озёр (оз. Глубокое, Паровое, Долгое) и р. Серёжа ниже озёрной системы (V РоСр). В течение 2013–2017 гг. зоопланктоценозы р. Серёжа (I Ср), оз. Великого (II В), Протоки (IV П), оз. Свято (III С) различались по составу и численности доминирующих видов, при этом они обладали относительно постоянными границами на акватории озёрно-речной системы,

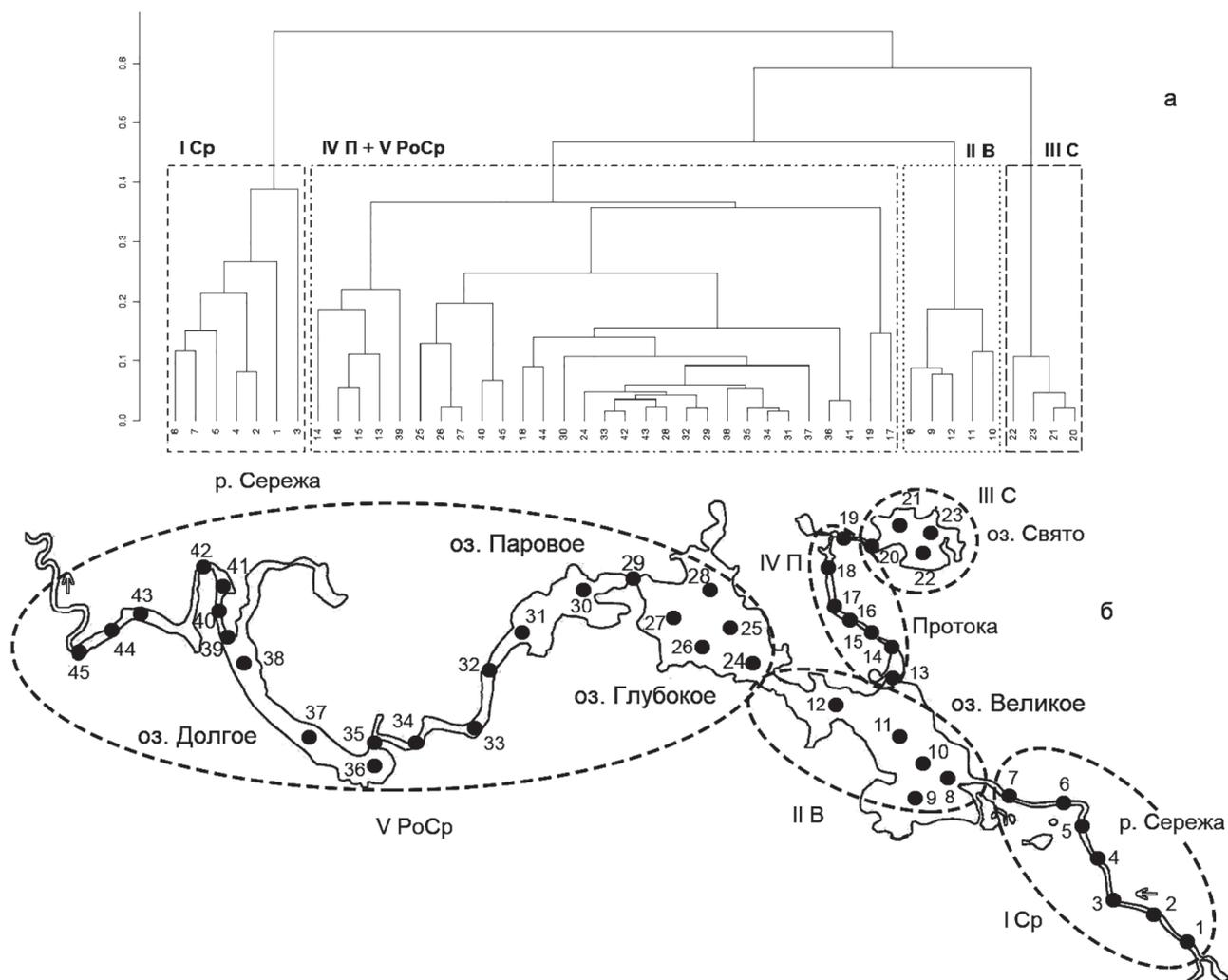


Рис. 1. Дендрограмма иерархической кластеризации проб зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы методом средней связи с разбиением на 4 кластера с использованием косинуса угла между векторами (а) и схема расположения выделенных сообществ зоопланктона на акватории Пустынской озёрно-речной системы (б): I Cr – сообщество зоопланктона р. Серёжа выше озёрной системы, II B – сообщество зоопланктона оз. Великое, III C – сообщество зоопланктона оз. Свято, IV П – сообщество зоопланктона Протоки, соединяющей озёра Великое и Свято, V PoCr – сообщество зоопланктона русловых озёр и р. Серёжа ниже озёрной системы.

но имели изменяющиеся в межгодовом аспекте структурные показатели (табл. 2).

Так, в сообществе зоопланктона р. Серёжа, в июле 2013 г. доминировала чужеродная коловратка *K. bostoniensis*, науплиальные стадии веслоногих ракообразных. В июле 2014 г. – коловратки *K. quadrata*, *K. cochlearis*, *H. mira*. В 2015–2017 гг. – науплиальные стадии веслоногих ракообразных, коловратки *K. cochlearis* и *C. coenobasis*, ветвистоусый рачок *B. longirostris*. Общая численность и биомасса зоопланктона изменялись в широких пределах: 14.9–531.2 тыс. экз./м³ и 0.03–0.84 г/м³. Соотношение основных таксономических групп в период исследований изменя-

лось, однако, преобладающей по численности группой были коловратки (Rotifera), по биомассе – коловратки (Rotifera) и ветвистоусые ракообразные (Cladocera) (табл. 2).

Доминирующими видами сообщества оз. Великого были коловратки *K. cochlearis* и *C. coenobasis* (2013 г.), науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных (2014–2017 гг.), коловратки *T. cylindrica*, *K. cochlearis*, *B. diversicornis* (2014–2017 гг.), *D. cucullata*. (2015, 2017 гг.), *A. priodonta* (2016 г.). Общая численность и биомасса зоопланктона составляли 22.9–458.6 тыс. экз./м³ и 0.5–3.3 г/м³, соответственно. По численности преобладали коловратки, по биомассе в раз-

Таблица 2. Показатели видовой структуры сообществ зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы

СО	Дата наблюдения	N, тыс. экз./м ³	B, г/м ³	Виды-доминанты
I Ср	07.2013	<u>196.1±39.1</u> 70:5:25	<u>0.24±0.4</u> 40:22:38	<i>K. bostoniensis</i> ; Nauplii Cyclopoida
	07.2014	<u>531.2±21.6</u> 77:10:13	<u>0.84±0.03</u> 55:21:24	<i>Keratella quadrata</i> Müller, 1786; <i>K. cochlearis</i> Gosse, 1851; <i>Hexarthra mira</i> Hudson, 1871
	07.2015	<u>42.2±5.7</u> 16:26:58	<u>0.68±0.04</u> 2:82:16	Nauplii Cyclopoida
	07.2016	<u>161.1±38.2</u> 54:11:35	<u>0.64±0.1</u> 47:15:38	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>Conochilus coenobasis</i> Skorikov, 1914; <i>K. cochlearis</i> ; <i>Bosmina longirostris</i> O.F. Müller, 1785
	07.2017	<u>14.9±2</u> 71:6:23	<u>0.03±0.01</u> 11:51:38	Nauplii Cyclopoida; <i>B. longirostris</i>
II В	07.2013	<u>448.8±77.3</u> 72:6:22	<u>2.02±0.7</u> 43:32:25	<i>K. cochlearis</i> ; <i>C. coenobasis</i>
	07.2014	<u>458.6±0.1</u> 63:13:24	<u>2.4±0.2</u> 13:57:30	<i>Brachionus diversicornis</i> ; <i>Trichocerca cylindrica</i> Imhof, 1891; Copepodit Cyclopoida
	07.2015	<u>332.4±74.5</u> 51:16:33	<u>2.1±0.5</u> 32:32:36	Copepodit Cyclopoida; <i>T. cylindrica</i> ; <i>Daphnia cucullata</i> Sars, 1862
	07.2016	<u>297.5±9.3</u> 54:12:34	<u>3.3±0.2</u> 37:25:38	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850
	07.2017	<u>22.9±2.4</u> 75:5:20	<u>0.5±0.01</u> 14:27:59	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>D. cucullata</i>
III С	07.2013	<u>375.8±95.4</u> 70:14:16	<u>1.8±0.2</u> 26:29:45	<i>K. bostoniensis</i> ; Copepodit Cyclopoida
	07.2014	<u>124.3±48.8</u> 65:17:18	<u>0.6±0.1</u> 38:31:31	<i>K. bostoniensis</i> ; <i>K. cochlearis</i> ; Copepodit Cyclopoida; <i>B. longirostris</i>
	07.2015	<u>8.5±1.4</u> 42:15:43	<u>0.06±0.02</u> 5:57:38	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>K. longispina</i> ; <i>K. cochlearis</i>
	07.2016	<u>148.4±39.2</u> 28:34:38	<u>3.1±1</u> 11:19:70	<i>B. longirostris</i> ; Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>A. priodonta</i>
	07.2017	<u>26.4±2.7</u> 79:16:5	<u>0.03±0.01</u> 11:4:85	<i>K. longispina</i>

	07.2013	709.7 ± 0.4 66:11:23	2.2 ± 1.1 18:18:64	<i>K. bostoniensis</i> ; <i>K. cochlearis</i>
	07.2014	1592.2 ± 193.98 55:9:36	6 ± 1.3 54:16:30	<i>K. cochlearis</i> ; Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida
IV П	07.2015	244.3 ± 58.5 30:20:50	0.8 ± 0.3 25:30:45	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida
	07.2016	432.1 ± 56.4 37:12:51	3.3 ± 1.7 46:18:36	Nauplii Cyclopoida; Copepodit Cyclopoida; <i>Hexarthra mira</i>
	07.2017	115.7 ± 15.2 71:7:22	0.2 ± 0.01 31:25:44	<i>K. longispina</i> ; Nauplii Cyclopoida
V PoCp	07.2014	658.2 ± 48.4 34:8:58	3.4 ± 0.4 6:41:53	Copepodit Cyclopoida; Nauplii Cyclopoida

Примечание: CO – сообщество зоопланктона (I Cp – р. Серёжа; II B – оз. Великое; III C – оз. Свято; IV П – Протока; V PoCp – русловые озёра и р. Серёжа ниже озёрной системы). Над чертой среднее значение численности, тыс. экз./м³, и его ошибка; под чертой – относительное обилие основных таксономических групп зоопланктона – Rotifera: Cladocera: Copepoda в %. Ювенильные стадии (Nauplii и Copepodit Cyclopoida) представлены главным образом родами *Thermocyclops* и *Mesocyclops*.

ные годы преобладали разные таксономические группы зоопланктона.

В сообществе оз. Свято доминировала коловратка *K. bostoniensis* (2013–2014 гг.). В 2014–2015 г. в число доминантов входили коловратка *K. cochlearis*, копеподитные стадии веслоногих ракообразных, ветвистоусый рачок *B. longirostris* (2014 и 2016 гг.). В 2015 и 2017 гг. доминантом сообщества была коловратка *K. longispina*. Общая численность и биомасса зоопланктона изменялись от 8.5 до 375.8 тыс. экз./м³ и от 0.03 до 3.1 г/м³. Соотношение таксономических групп изменялось, преобладающей по численности группой были коловратки (Rotifera), по биомассе – ветвистоусые (Cladocera) и веслоногие (Copepoda) ракообразные (табл. 2).

В сообществе Протоки доминирующими видами были коловратки *K. bostoniensis* и *K. cochlearis* (2013–2014 гг.), *H. mira* (2016 г.), науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных (2014–2016 гг.). В 2017 г. доминантом сообщества был аборигенный вид *K. longispina*. Общая численность и биомасса зоопланктона сообщества изменялись в широких пределах от 115.7 до 1592.2 тыс. экз./м³ и от 0.2 до 6.0 г/м³. В целом преобладаю-

щей по численности группой были коловратки (Rotifera), по биомассе преобладали разные таксономические группы зоопланктона.

Сообщество зоопланктона русловых озёр и р. Серёжа ниже озёрной системы характеризовалось доминированием науплиальных и копеподитных стадий веслоногих ракообразных. Общая численность и биомасса зоопланктона составляли 658.2 тыс. экз./м³ и 3.4 г/м³, соответственно. Преобладающей таксономической группой как по численности, так и по биомассе были веслоногие ракообразные (Copepoda) (табл. 2).

В целом для сообществ зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы характерно доминирование планктонных широко распространённых видов коловраток (*K. quadrata*, *K. cochlearis*, *H. mira*, *B. diversicornis*). В число доминантов также входили чужеродный и аборигенный виды *K. bostoniensis* и *K. longispina*. В комплексе доминирующих видов были представлены ветвистоусые ракообразные. Среди них наиболее часто доминировали *B. longirostris* и *D. cucullata*. Основной вклад в общую численность зоопланктона сообществ вносили коловратки (Rotifera).

Численность чужеродного вида *Kellicottia bostoniensis* и аборигенного вида *K. longispina* в сообществах Пустынской озёрно-речной системы. Количество чужеродного вида *K. bostoniensis* варьировало в широких пределах – от 0.02 до 305.4 тыс. экз./м³. В 2013–2014 гг. вид-вселенец доминировал в оз. Свято и р. Серёжа выше озёрной системы (табл. 3).

Аборигенный вид входил в число доминантов в сообществах зоопланктона оз. Свято и Протоки в 2017 г. (табл. 3).

В течении периода исследования наблюдалось снижение численности чужеродной коловратки *K. bostoniensis*. Так, в р. Серёжа выше озёрной системы, озёрах Великое и Свято, Протоке максимальная численность была зафиксирована в 2013–2014 гг., а в пе-

Таблица 3. Численность и доля в общей численности *K. bostoniensis* и *K. longispina* в сообществах зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы-

СО	Дата наблюдения	<i>Kellicottia bostoniensis</i>	<i>Kellicottia longispina</i>
I Ср	07.2013	<u>70.5 (24.6)</u> 1.9–179.3	<u>0.14 (0.05)</u> 0.09–0.3
	07.2014	<u>12.3 (0.4)</u> 1.0–23.1	0.4 (0.1)
	07.2015	<u>0.4 (0.3)</u> 0.02–0.4	–
	07.2016	<u>1.8 (0.4)</u> 0.4–9.6	<u>0.4 (0.2)</u> 0.04–3.2
	07.2017	<u>0.03 (0.7)</u> 0.02–0.08	<u>0.1 (1.0)</u> 0.09–0.3
	07.2013	<u>3.1 (0.7)</u> 3.1–14.3	–
	07.2014	<u>11.8 (2.2)</u> 1.8–11.8	<u>0.4 (0.1)</u> 0.4–5.2
II В	07.2015	<u>0.88 (0.23)</u> <u>3.9 (1.0)</u>	–
	07.2016	1.0–6.5	0.2 (0.08)
	07.2017	0.02 (0.05)	<u>0.2 (1.3)</u> 0.04–0.7
	07.2013	<u>81.3 (22.2)</u> 46.3–214.6	<u>14.4 (3.9)</u> 6.1–22.3
	07.2014	<u>28.5 (35.1)</u> 18.3–90.7	<u>0.35 (0.4)</u> 0.2–0.8
	07.2015	<u>0.2 (2.0)</u> 0.1–0.4	<u>1.4 (15.6)</u> 0.6–1.4
	07.2016	<u>2.6 (1.8)</u> 0.08–24.8	<u>1.6 (0.1)</u> 1.0–3.3
III С	07.2017	<u>0.7 (0.4)</u> 0.1–0.8	<u>11.9 (6.9)</u> 1.1–52.8
	07.2013	<u>47.9 (6.4)</u> 12.6–305.4	<u>3.4 (0.5)</u> 0.3–3.9
	07.2014	<u>3.3 (2.4)</u> 0.3–103.0	<u>0.5 (0.04)</u> 0.2–12.6
	07.2015	<u>0.1 (0.06)</u> 0.02–1.0	<u>0.3 (0.2)</u> 0.02–0.5
	07.2016	<u>0.9 (0.2)</u> 0.04–3.9	<u>1.0 (0.3)</u> 1.0–4.2
	07.2017	0.04	<u>77.0 (33.3)</u> 0.9–153.1
	07.2014	<u>27.3 (1.1)</u> 0.4–286.5	<u>0.8 (0.3)</u> 0.02–24.1
V РоСр	07.2014		

Примечание: СО – сообщество зоопланктона, обозначение сообществ соответствует табл. 2. Над чертой медианное значение численности, тыс. экз./м³; в скобках – доля вида от общей численности в %; под чертой – минимальное и максимальное значение численности, тыс. экз./м³.

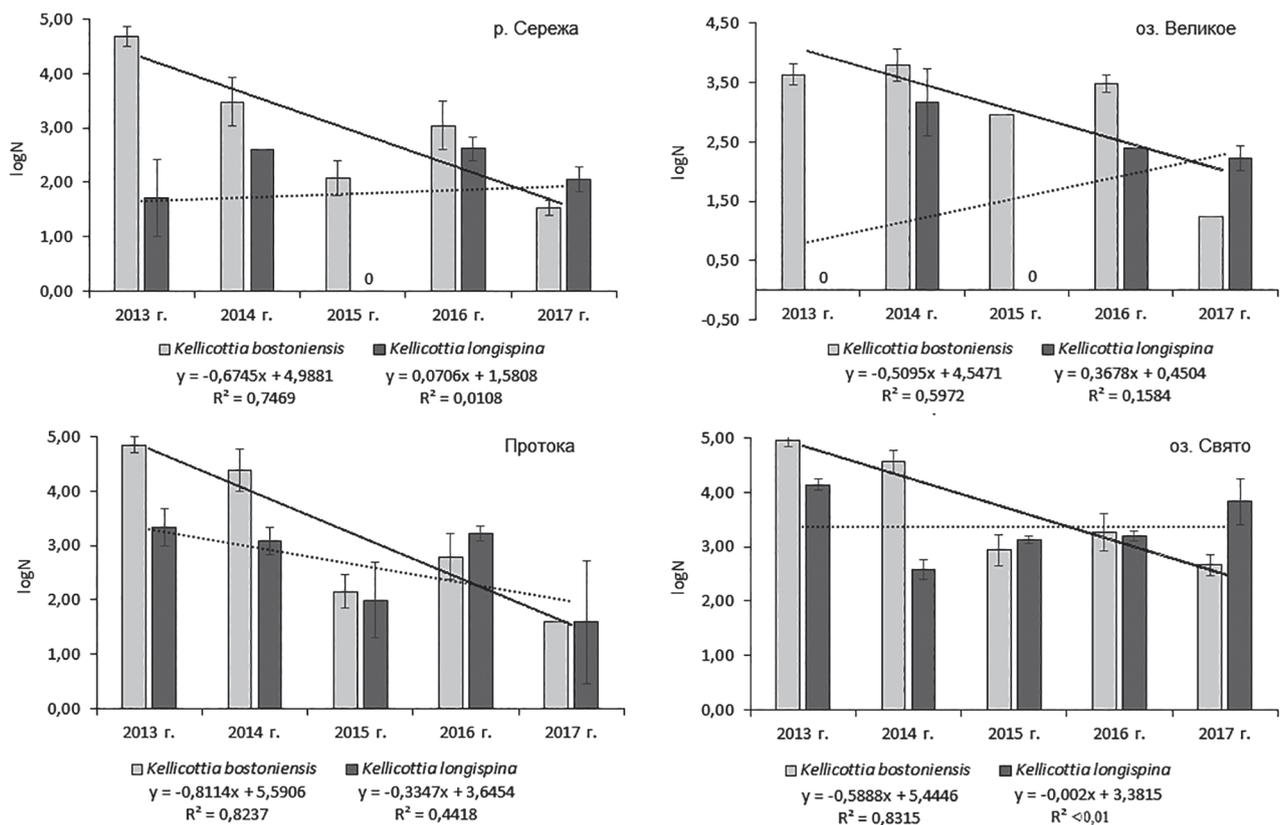


Рис. 2. Изменение численности *K. bostoniensis* и *K. longispina* в сообществах зоопланктона р. Серёжа до озёрной системы, оз. Великое, Протоки и оз. Свято в 2013–2017 гг.

риод до 2017 г. она значительно сокращалась (рис. 2). Наибольшая численность коловратки *K. longispina* зафиксирована в 2017 г. Колебания количественного развития аборигенного вида в 2013–2017 гг. были незначительными по сравнению с чужеродным.

Вертикальное распределение чужеродного вида *K. bostoniensis* и аборигенного вида *K. longispina* в оз. Великое и оз. Свято. Для оз. Великого характерно незначительное изменение физико-химических показателей в столбе воды. При продвижении от поверхности до дна зарегистрировано небольшое понижение температуры (рис. 3б).

В оз. Свято отмечена температурная стратификация водной толщи (рис. 3а). Согласно полученным результатам, мощность эпилимниона составила около 1.0 м, металимниона – 5.0 м, гиполимниона – 6.0 м.

Анализ количественного развития видов показал, что в оз. Великое *K. bostoniensis* была чрезвычайно малочисленна – в среднем 0.05 тыс. экз./м³, доля от общей численности

зоопланктона не превышала 1.0%. Вид обнаружен лишь на глубинах 3.0–5.0 м (рис. 3а). Численность *K. longispina* была больше, но не превышала 1.0 тыс. экз./м³ и составляла в среднем 12.0% от общей численности зоопланктона.

В оз. Свято численность *K. bostoniensis* была существенно выше, чем в оз. Великое. Максимальное значение (27.7 тыс. экз./м³, 20.5% от общей численности зоопланктона) отмечено в металимнионе, минимальное (0.4 тыс. экз./м³, 3.6% от общей численности зоопланктона) – в гиполимнионе (рис. 3б). Численность аборигенного вида *K. longispina* выше, чем чужеродного. Коловратка идентифицирована во всех слоях столба воды, наибольшая её плотность (68.5 тыс. экз./м³, 77.6% от общей численности зоопланктона) также отмечена в металимнионе, наименьшая (1.9 тыс. экз./м³, 45.0% от общей численности зоопланктона) – в гиполимнионе.

Таким образом, численность и вида-вселенца *K. bostoniensis*, и аборигенного вида *K. longispina* была значительно ниже в оз. Ве-

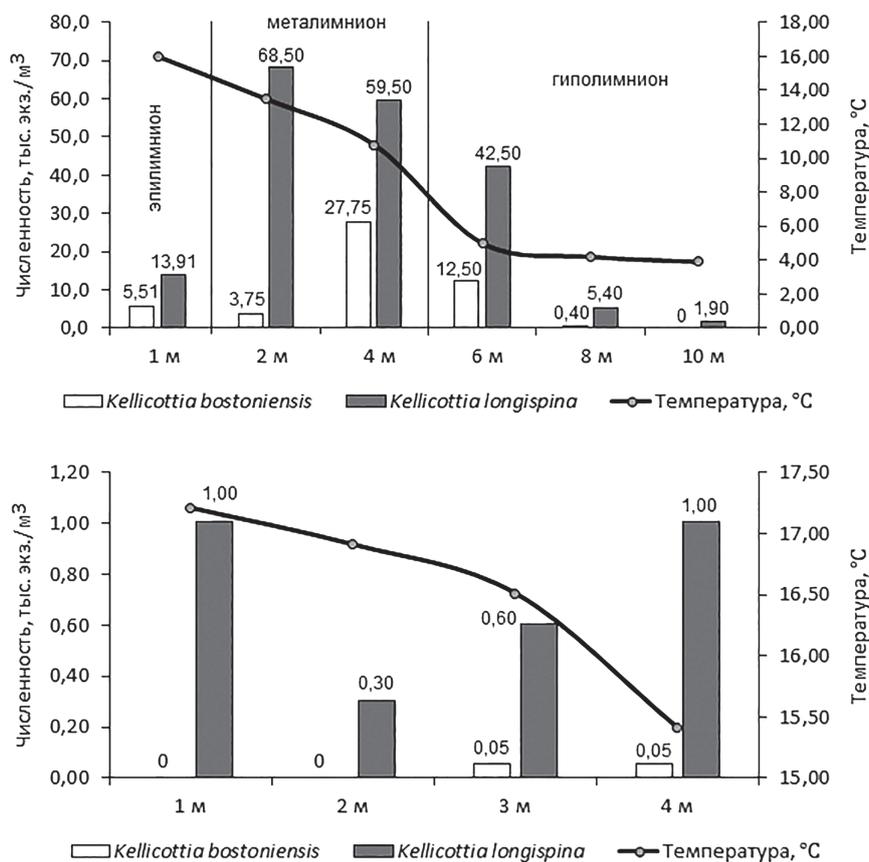


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры воды и численности *K. bostoniensis* и *K. longispina* в оз. Свято (а) и Великое (б).

ликом, чем в оз. Свято. Наибольшая численность обоих наблюдалась в металимнионе оз. Свято, минимальная – в гиполимнионе.

Зависимость количественного развития чужеродного вида *K. bostoniensis* и аборигенного вида *K. longispina* от факторов окружающей среды. Исследование некоторых физико-химических характеристик водных объектов Пустынской озёрно-речной системы показало, что температура поверхностного слоя воды в них была выше в 2013–2014 гг. (в среднем 24 °С), чем в 2015–2017 гг. (в среднем 20 °С). Также озёра различались по распределению температуры в столбе воды. Прозрачность исследуемых водных объектов находилась в пределах от среднего до низкого уровня [Китаев, 2007]. Наибольшая прозрачность зафиксирована в мезотрофном оз. Свято, минимальная – в эвтрофном оз. Великое (табл. 1). Наименьшие электропроводность и рН характерны для оз. Свято и Протоки, максимальные – для р. Серёжа

и карстовых озёр (табл. 1). Для выявления экологических предпочтений чужеродной и аборигенной коловраток по отношению к факторам среды были построены регрессионные модели зависимости численностей *K. bostoniensis* и *K. longispina* от каждого из учитываемых показателей.

Кроме того, был проведён анализ зависимости численностей *K. bostoniensis* и *K. longispina*, а также других видов коловраток-вертикаторов от численности хищных видов зоопланктона, для которых они являются потенциальными пищевыми ресурсами. В модели учитывались численности коловраток-вертикаторов родов: *Brachionus*, *Conochiloides*, *Conochilus*, *Anuraeopsis*, *Euchlanis*, *Filinia*, *Hexarthra*, *Keratella*, *Lecane*, *Polyarthra*, *Synchaeta*, *Trichocerca*. Также рассматривали численность хищных видов планктонных беспозвоночных: коловраток рода *Asplanchna* (*A. priodonta*; *A. herricki* Guerne, 1888), веслоногих ракообразных родов *Cyclops* (*C. strenuus* Fischer,

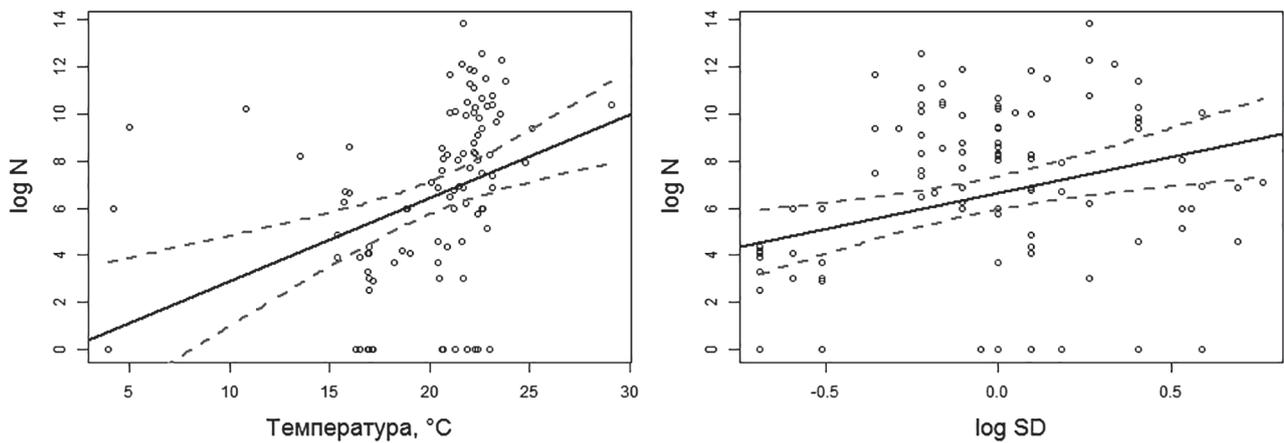


Рис. 4. Зависимость логарифмированных значений численности *K. bostoniensis* (log N) от температуры (а) и логарифмированных значений прозрачности (log SD) (б) с доверительными интервалами регрессий.

1851), *Macrocyclus* (*M. albidus* Jurine, 1820), *Mesocyclops* (*M. leuckarti* Claus, 1857) и *Thermocyclops* (*T. oithonoides* Sars, 1863; *T. crassus* Fischer, 1853). С целью установления взаимного влияния двух родственных видов *K. bostoniensis* и *K. longispina* также была построена регрессионная модель.

Статистически значимые зависимости численности чужеродного вида *K. bostoniensis* были выявлены от температуры ($R^2=0.123$, $p<0.001$) (рис. 4а), прозрачности воды $R^2=0.083$, $p=0.002$) (рис. 4б), значений рН ($R^2=0.053$, $p=0.011$).

На основе этих данных была построена модель множественной регрессии, в которую с учётом информационного критерия Акаике попали только температура и прозрачность. Визуализация зависимости численности *K. bostoniensis* от рН сходна с изображением зависимости от температуры. Итоговая модель с учётом температуры и прозрачности объясняла 15.4% от общей вариации численности *K. bostoniensis* в наших данных ($p<<0.05$). Таким образом, в рамках исследования влияния абиотических факторов среды на численность *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы установлено, что значимыми факторами являются температура, прозрачность и рН, выявлен рост численности чужеродной коловратки при увеличении значений этих показателей.

Статистически значимая обратная зависимость численности аборигенного вида *K.*

longispina была выявлена только от значений рН ($R^2=0.046$, $p=0.028$) (рис.5).

В отличие от прямой зависимости численности чужеродной коловратки *K. bostoniensis* от значений рН, данная модель показывает уменьшение численности аборигенного вида с увеличением водородного показателя. В исследованных водных объектах максимальная численность *K. longispina* зафиксирована в Протоке и оз. Свято, характеризовавшихся нейтральными условиями среды (табл. 1). Высокая численность чужеродного вида *K. bostoniensis* была выявлена не только в нейтральных, но и в слабощелочных условиях р. Серёжа. Таким образом, установлено влияние рН на численность родственных видов *K. longispina* и *K. bostoniensis* в водных объектах Пустынской озёрно-речной системы.

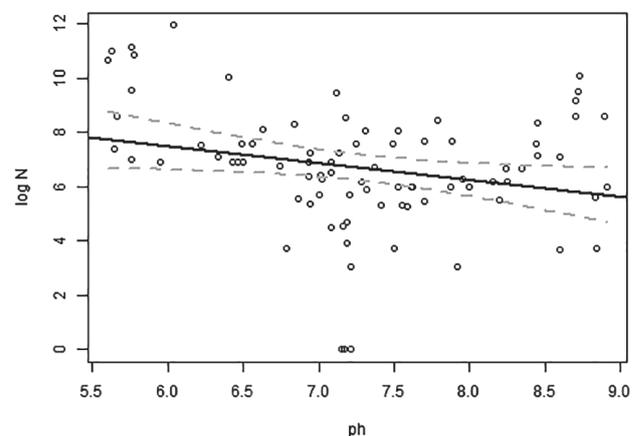


Рис. 5. Зависимость логарифмированных значений численности *K. longispina* (log N) от значений рН (ph) с доверительным интервалом регрессии.

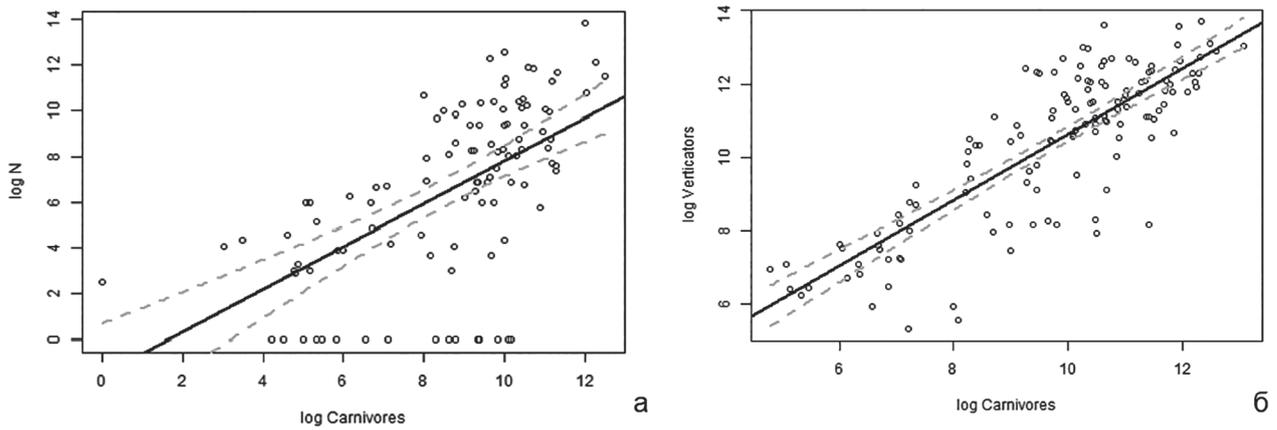


Рис. 6. Зависимость логарифмированных значений численности *K. bostoniensis* (log N) от логарифмированных значений численности хищников (log Carnivores) (а) и логарифмированных значений численности коловраток-вертикаторов (log Verticators) от логарифмированных значений численности хищников (log Carnivores) (б) с доверительными интервалами регрессии.

Установлена положительная корреляция между численностью чужеродной коловратки и количеством планктонных хищников ($R^2=0.674$, $p<0.001$), а также обилием всех коловраток-вертикаторов и хищников ($R^2=0.674$, $p<0.001$) (рис. 6). В свою очередь, не установлено корреляции между численностями аборигенного вида *K. longispina* и хищников. В данном случае, модели отражают продуктивность Пустынской озёрно-речной системы, с ростом численности потенциальных пищевых ресурсов наблюдается увеличение численности хищников. Известно, что коловратки *K. bostoniensis* и *K. longispina* вооружены шипами. Аборигенный вид *K. longispina*, длина тела которого достигает 832 мкм, почти вдвое крупнее вида-вселенца

K. bostoniensis [Определитель зоопланктона..., 2010; Zhdanova et al., 2019]. Согласно полученным результатам, более доступными пищевыми ресурсами являются другие виды коловраток-вертикаторов.

Корреляции между численностями *K. bostoniensis* и *K. longispina* выявлено не было (рис. 7). В условиях Пустынской озёрно-речной системы виды не испытывают недостатка необходимых ресурсов и не вступают в жёсткие конкурентные взаимоотношения.

Обсуждение

Исследования распространения и количественного развития чужеродной коловратки *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона показали, что вслед за периодом высокой численности вида (2013 г.) последовал сильный её спад. Средняя численность коловратки снижалась каждый последующий год, и к 2017 г. была более чем в 100 раз меньше, чем на начальном этапе исследований. Подобный сценарий количественного развития чужеродных видов нередко прослеживается в их динамике и заслуживает дальнейших более подробных наблюдений [Лазарева, 2008; Науменко, Телеш, 2019].

Анализ вертикального распределения чужеродной коловратки *K. bostoniensis* позволяет заключить, что её значительное количественное развитие наблюдается в зоне металимниона. Аналогичные результаты

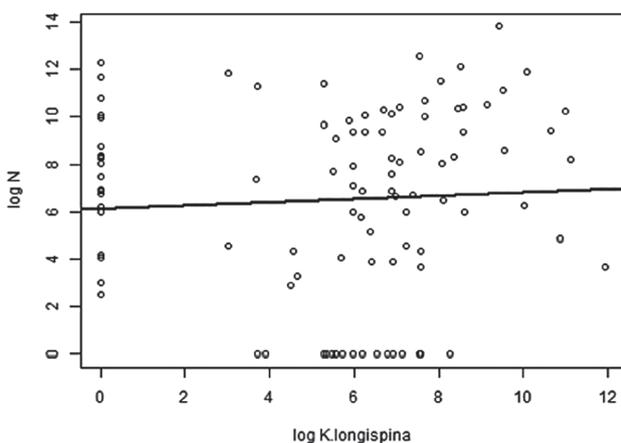


Рис. 7. Зависимость значений численности *K. bostoniensis* (log N) от логарифмированных значений численности *K. longispina* (log *K. longispina*).

были получены и в ходе изучения оз. Кшара [Жданова, Добрынин, 2011]. Наряду с этим некоторые авторы [Josefsson, Andersson, 2001; Иванова, Телеш, 2004; Жданова, Добрынин, 2011] указывают на то, что минимальные значения численности *K. bostoniensis* фиксируются в зоне гипolimниона, который, как правило, характеризуется гипоксией и низкой температурой воды. Именно поэтому, согласно литературным данным, миграция *K. bostoniensis* в эпилимнион происходит при недостатке кислорода в гипolimнионе [Eloranta, 1988].

Как известно, основными абиотическими факторами, влияющими на величину количественного развития планктонных организмов, являются температура, прозрачность, электропроводность, pH и др. [Shurganova et al., 2018; Picapedra et al., 2019]. Значительное число работ указывает на возможность обитания чужеродной коловратки в широком диапазоне условий среды [De Paggi, 2002; Zhdanova et al., 2016; Shurganova et al., 2017; Крайнев и др., 2018], однако степень и характер этой зависимости именно для *K. bostoniensis* не установлен. В результате проведённого нами анализа, была выявлена статистически значимая положительная корреляция численности *K. bostoniensis* с температурой, прозрачностью и pH воды.

Положительная корреляция между численностью чужеродной коловратки и количеством планктонных хищников отмечена в работе С.М. Ждановой и А.Э. Добрынина [2011]. Так, авторами установлено фактически полное совпадение вертикального распределения *K. bostoniensis* и копеподитов циклопид, представленных в основном копеподитами стадий III–IV хищника-хватателя *Mesocyclops leuckarti*. Анализ встречаемости *K. bostoniensis* в желудках хищных коловраток рода *Asplanchna* показал, что вид потребляется главным образом *A. herricki* и *A. brightwelli*, а *A. priodonta* и *A. henrietta* его фактически не потребляли [Жданова, Добрынин, 2011]. В нашей работе установлена положительная корреляция как между общей численностью вида-вселенца и хищного зоопланктона, так и общей численностью коловраток-вертикаторов. Однако, зависимость обилия вертика-

торов от хищников ($R^2=0.674$, $p<0.001$) существенно выше корреляции между обилием *K. bostoniensis* и хищными видами зоопланктона ($R^2=0.319$, $p<0.001$). Ряд исследователей полагают, что *K. bostoniensis* испытывает невысокий пресс хищников по сравнению с другими коловратками, поскольку имеет удлинённые шипы, мешающие хищникам их проглотить [Mantovano et al., 2020].

Согласно результатам экспериментальных исследований влияния *K. bostoniensis* на различные компоненты планктонной пищевой сети (бактерий, пикофитопланктон, автотрофных и гетеротрофных флагеллят), чужеродная коловратка потребляет автотрофных и гетеротрофных флагеллят [Oliveira et al., 2019]. В свою очередь бактерии и пикофитопланктон не являются пищевыми ресурсами для *K. bostoniensis*. В условиях эксперимента при добавлении *K. bostoniensis* в планктонное сообщество, включающее коловраток, ветвистоусых ракообразных и инфузорий не было выявлено существенного уменьшения количества пищевых ресурсов, но было зафиксировано негативное воздействие чужеродной коловратки на инфузорий [Oliveira et al., 2019].

В тёплые и аномальные по низкому уровню воды годы в р. Серёжа Пустынской озёрно-речной системы возрастает роль мелкоклеточных фитофлагеллят (виды рода *Gymnodinium* Stein, 1878 и *Cryptomonas* Ehrenberg, 1831), а в годы с умеренным уровнем режимом формируются диатомовые ценоотические комплексы [Воденеева и др., 2015]. Различия в составе фитопланктона наблюдаются и в оз. Великое, где преобладают диатомовые и синезелёные водоросли, и в оз. Свято, где доминируют зелёные и эвгленовые водоросли [Челышева, Охупкин, 2019]. Высокую численность *K. bostoniensis* в р. Серёжа и в оз. Свято можно объяснить обилием пищевых ресурсов (автотрофных нанофлагеллят) для неё. В тоже время низкое развитие (в отдельные годы отсутствие) коловратки в оз. Великое, вероятно, связано с недостатком пищевых ресурсов.

Стремительное снижение средней численности чужеродной коловратки *K. bostoniensis* в ряде водных объектов Пустынской озёр-

но-речной системы свидетельствует о её незначительном потенциале к трансформации пелагических сообществ зоопланктона в водных объектах Пустынской озёрно-речной системы. Отсутствие корреляции между численностью *K. bostoniensis* и аборигенного вида *K. longispina* свидетельствует об отсутствии конкуренции за ресурсы в исследованных водных объектах между этими родственными видами.

Заключение

Сравнительно продолжительное изучение распределения зоопланктона на акватории Пустынской озёрно-речной системы позволило выделить 5 участков, занятых различающимися по видовой структуре сообществами зоопланктона: р. Серёжа выше озёрной системы; оз. Великое; оз. Свято; Протоки, и русловых озёр (оз. Глубокое, Паровое, Долгое) и р. Серёжа ниже озёрной системы. Зоопланктоценозы р. Серёжа, оз. Великого, Протоки, оз. Свято характеризовались изменяющимися в межгодовом аспекте структурными показателями (численностью, биомассой и соотношением основных таксономических групп зоопланктона), различались по составу и численности видов-доминантов, при этом они обладали относительно постоянными границами на акватории озёрно-речной системы.

Наибольшая численность *K. bostoniensis* зафиксирована в мезотрофных водных объектах – р. Серёжа выше озёрной системы и оз. Свято. При этом за период исследования (2013–2017 гг.) было установлено резкое снижение численности чужеродного вида после массового развития вида в 2013 г. Изменение численности аборигенного вида *K. longispina* в 2013–2017 гг. также происходило, однако в отличие от *K. bostoniensis*, значительного роста либо снижения обилия не наблюдалось.

Установлена более высокая численность двух родственных видов рода *Kellicottia* в мезотрофном оз. Свято по сравнению с эвтрофным оз. Великое. Максимальное обилие вида-вселенца *K. bostoniensis* и аборигенной коловратки *K. longispina* зафиксировано в металимнионе, минимальное – в гиполимнионе оз. Свято.

Выявлена статистически значимая положительная корреляция численности *K. bostoniensis* с температурой, прозрачностью и рН воды, а также численностью хищных видов зоопланктона. Численность аборигенного вида *K. longispina* отрицательно коррелировала лишь со значением рН воды.

На основе проведённых исследований можно констатировать, что чужеродная коловратка успешно натурализовалась в сообществах зоопланктона Пустынской озёрно-речной системы, в которых сосуществует с остальными компонентами планктона, не оказывая на них существенного давления.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность д. б. н. В.Н. Якимову (зав. каф. экологии ИББМ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород) за помощь в статистической обработке данных.

Финансирование работы

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90013.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Соблюдение этических стандартов

Статья не содержит никаких исследований с участием живых организмов в экспериментах, выполненных кем-либо из авторов.

Литература

- Алёшина Д.Г., Курашов Е.А., Родионова Н.В., Гусева М.А. Современное состояние весеннего зоопланктона притоков Ладожского озера // Вода: химия и экология. 2014. № 4. С. 64–71.
- Асташин А.Е., Бадьин М.М., Карташов А.Ю., Горячев А.С., Вознесенская М.В., Карабанов А.Д., Пашкин М.Н. Морфометрические характеристики озёр Паровое, Крутленькое, Глубокое государственного природного биологического заказника «Пустынский» (Нижегородская область) // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Т. 50. № 8. С. 49–54.

- Баканов А.И. Количественная оценка доминирования в экологических сообществах // Фундаментальный обзор индексов обилия и доминирования. Деп. в ВИНТИ 08.12.1987. № 8593-В87. 63 с.
- Воденеева Е.Л., Охапкин А.Г., Юлова Г.А., Полюшкова А.А. Разнообразие растительного планктона в период низких летних уровней воды (на примере реки Серёжи, Нижегородская область) // Тезисы докладов II Международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии». Калининград: Изд. КГТУ, 2015. С. 106–107.
- Жданова С.М., Добрынин А.Э. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водоёмах Европейской России // Биология внутренних вод. 2011. № 1. С. 45–52.
- Иванова М.Б., Телеш И.В. Сезонная и межгодовая динамика планктонных коловраток и ракообразных // В кн.: Закономерности гидробиологического режима водоёмов разного типа / Под ред. А.Ф. Алимова, М.Б. Ивановой. М.: Научный мир, 2004. С. 71–83.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
- Крайнев Е.Ю., Целищева Е.М., Лазарева В.И. Американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в Камском водохранилище (река Кама, Россия) // Биология внутренних вод. 2018. № 1. С. 55–59.
- Лаврова Т.В., Кузнецова М.А. Использование структурных характеристик зоопланктоценозов для доказательства их дискретности // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2000. № 2(2). С. 469–474.
- Лазарева В.И. Распространение новых и редких видов зоопланктона в водоёмах бассейна Верхней Волги в начале XXI века // Биология внутренних вод. 2008. № 1. С. 81–88.
- Лазарева В.И., Жданова С.М. Американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водохранилищах Верхней Волги // Биология внутренних вод. 2014. № 3. С. 63–68.
- Лобуничева Е.В., Ивичева К.Н., Макаренкова Н.Н. Результаты первых гидробиологических исследований водоёмов района Атлеки // Краеведческие (природоведческие) исследования на Европейском Севере: Матер. Вологодской науч.-практической конф. (Череповец, 29–30 ноября 2011 г.). Череповец: Череповецкое музейное объединение, 2011. С. 25–31.
- Макарцева Е.С., Родионова Н.В. Первые находки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet 1908) (Rotifera, Brachionidae) в озёрах Ладожском и Охотничьем // Озёрные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. докл. IV Междунар. науч. конф. Минск: Издат. Центр Белорусского гос. ун-та, 2011. С. 222.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах // Зоопланктон и его продукция. Л.: Гос. НИИ озёр. и реч. рыб. хоз-ва, 1982. 33 с.
- Науменко Е.Н., Телеш И.В. Воздействие вселенца *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1891) на структурно-функциональную организацию зоопланктона Вислинского залива Балтийского моря // Российский журнал биологических инвазий. 2019. № 2. С. 1–15.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. I. Зоопланктон / под ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолыхина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495с.
- Подшивалина В.Н. Фауна планктонных коловраток и ракообразных пойменного озера с карстово-суффозионным провалом (Озеро Большое Щучье, пойма нижнего течения реки Сура, Среднее Поволжье) // Научные труды государственного природного заповедника «Присурский». 2016. Т. 31. С. 132–137.
- Фомина Ю.Ю., Сярки М.Т. Зоопланктон Онежского озера, биоразнообразие и продуктивность // Биоразнообразие наземных и водных животных. Зооресурсы: III Всероссийская научная Интернет-конференция с междунар. участием. Казань: ИП Синяев Д.Н., 2015. С. 71–74.
- Харитонычев А.Т. Природа Нижегородского Поволжья: история, использование, охрана. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1978. 175 с.
- Чельшева Ю.Н., Охапкин А.Г. Видовая структура водорослей планктона в оценке экологического состояния Пустыньских озёр (Нижегородская область) // Труды Государственного природного биосферного заповедника «Керженский». Том 9. Нижний Новгород, 2019. С. 165–166.
- Черепенников В.В., Шурганова Г.В., Гелашвили Д.Б., Артельный Е.В. Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа // Известия Самарского научного центра РАН. 2004. Т. 6. №2(12). С. 328–333.
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.
- Шурганова Г.В. Динамика видовой структуры зоопланктоценозов в процессе их формирования и развития (на примере водохранилищ Средней Волги: Горьковского и Чебоксарского): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Нижний Новгород, 2007. 48 с.
- Шурганова Г.В., Жихарев В.С., Гаврилко Д.Е., Золотарёва Т.В., Ручкин Д.С. Новые сведения о находках чужеродной коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Monogononta: Brachionidae) в Нижегородской области // Российский журнал биологических инвазий. 2019. № 2. С. 114–122.
- Шурганова Г.В., Жихарев В.С., Кудрин И.А., Кривдина Т.В., Морева О.А. Зоопланктон пойменных озёр реки Керженец (Керженский заповедник, Нижегородская область) // Самарский научный вестник. 2018. Т. 8. № 2(23). С. 138–144.
- Якимов В.Н., Шурганова Г.В., Черепенников В.В., Кудрин И.А., Ильин М.Ю. Методы сравнительной оценки результатов кластерного анализа структуры

- гидробиоценозов (на примере зоопланктона реки Линда Нижегородской области) // Биология внутренних вод. 2016. № 2. С. 94–103.
- Bayanov N.G. Occurrence and abundance level of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) in lakes of the Nizhny Novgorod region // Russian Journal of Biological Invasions. 2014. Vol. 5. No. 2. P. 111–114.
- Bomfim F.D.F., Mantovano T., Schwind L.T.F., Palazzo F., Bonecker C.C., Lansac-Tôha F.A. Geographical spread of the invasive species *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) and *K. bostoniensis* (Rousselet, 1908): a scientometric approach // Acta Scientiarum. 2016. Vol. 38. No. 1. P. 29–36.
- Borcard D., Gillet F., Legendre P. Numerical ecology with R. New York: Springer, 2011. 306 p.
- De Paggi J. New Data on the Distribution of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Monogononta: Brachionidae): Its Presence in Argentina // Zoologischer Anzeiger. 2002. No. 241. P. 363–368.
- Eloranta P. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet), a Plankton Rotifer Species New to Finland // Annales Zoologici Fennici. 1988. No. 25. P. 249–252.
- Garcia-Berthou E., Alcaraz C., Pou-Rovira Q., Zamora L., Coenders G., Feo C. Introduction pathways and establishment rates of invasive aquatic species in Europe. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2005. No. 62. P. 453–463.
- Josefsson M., Andersson B. The Environmental Consequences of Alien Species in the Swedish lakes Mälaren, Hjälmaren, Vänern and Vättern // Ambio. 2001. Vol. 30. No. 8. P. 514–521.
- Legendre P., Legendre L. Numerical ecology. Oxford: Elsevier, 2012. 990 p.
- Lehtovaara A., Arvola L., Keskitalo J., Olin M., Rask M., Salonen K., Sarvala J., Tulonen T., Vuorenmaa J. Responses of zooplankton to long-term environmental changes in a small boreal lake // Boreal Environment Research. 2014. No. 19. P. 97–111.
- Leuven R.S.E.W., Boggero A., Bakker E. S., Elgin A.K., Verreycken H. Invasive species in inland waters: from early detection to innovative management approaches // Aquatic Invasions. 2017. Vol. 12. No. 3. P. 269–273.
- Mantovano T., Diniz L.P., Oliveira da Conceição E., Rosa J., Bonecker C.C., Bailly D., Ferreira J.H.D., Rangel T.F., Lansac-Tôha F.A. Ecological niche models predict the potential distribution of the exotic rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) across the globe // Hydrobiologia. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04435-3>
- Oliveira F.R., Lansac-Tôha F.M., Meira B.R., Segovia B.T. Cochak C., Machado Velho L.F. Effects of the exotic rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) on the microbial food web components // Aquatic Ecology. 2019. No. 53. P. 581–594.
- Picapedra P.H.S., Fernandes C., Baumgartner G. Structure and ecological aspects of zooplankton (Testate amoebae, Rotifera, Cladocera and Copepoda) in highland streams in southern Brazil // Acta Limnologica Brasiliensia. 2019. Vol. 31. e5. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2917>
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing / R Core Team. 2015 // (URL: <https://www.r-project.org>). Проверено 8.02.2021 г.
- Shurganova G.V., Gavrilko D.E., Il'in M.Iu., Kudrin I.A., Makeev I.S., Zolotareva T.V., Zhikharev V.S., Golubeva D.O., Gorkov A.S. Distribution of Rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in Water Bodies and Watercourses of Nizhny Novgorod Oblast // Russian Journal of Biological Invasions. 2017. Vol. 8. No. 4. P. 393–402.
- Shurganova G.V., Kudrin I.A., Yakimov V.N., Gavrilko D.E., Zhikharev V.S., Zolotareva T.V. Spatial Distribution of Zooplankton on the Upper Part of the Cheboksary Reservoir // Inland Water Biology. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 317–325.
- Streble H., Krauter D. Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Stuttgart: Kosmos Verlag, 2006. 429 p.
- Vezhnavets V.V., Litvinova A.G. First record of the north American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) from the Sozh River, Belarus // Russian Journal of Biological Invasions. 2015. Vol. 6. No. 2. P. 135–136.
- Walraven L., Daan R., Langenberg V.T., Ver H.W. Species composition and predation pressure of the gelatinous zooplankton community in the western Dutch Wadden Sea before and after the invasion of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz, 1865 // Aquatic Invasions. 2017. Vol. 12. No. 1. P. 5–21.
- Zhdanova S.M., Lazareva V.I., Bayanov N.G., Lobunicheva E.V., Rodionova N.V., Shurganova G.V., Kulakov D.V., Il'in M.Yu. Distribution and ways of dispersion of American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in waterbodies of European Russia // Russian Journal of Biological Invasions. 2016. Vol. 7. No. 4. P. 308–320.
- Zhdanova S.M., Lazareva V.I., Bayanov N.G., Lobunicheva E.V., Rodionova N.V., Shurganova G.V., Zolotareva T.V., Il'in M.Yu. Morphological Variability of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in Waterbodies of European Russia // Inland Water Biology. 2019. Vol. 12. P. 140–149.

ABUNDANCE OF RELATED SPECIES, *KELLICOTTIA BOSTONIENSIS* (ROUSSELET, 1908) AND *K. LONGISPINA* (KELLICOTT, 1879) (ROTIFERA: BRACHIONIDAE), IN THE COMMUNITIES OF ZOOPLANKTON OF THE PUSTYNSKAYA LAKE-RIVER SYSTEM (NIZHNY NOVGOROD OBLAST)

© 2021 Shurganova G.V.^{a,*}, Zolotareva T.V.^{a,**}, Kudrin I.A.^{a,***}, Zhikharev V.S.^{a,****}, Gavrillo D.E.^{a,*****}, Il'in M.Iu.^{b,*****}

^aLobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod 603950, Russia

^bLLC SPU "Sobskiy Fish Farm", Yamalo-Nenets Autonomous Okrug 629420, Russia

^bInstitute of plant and animal ecology of UB of the RAS, Ekaterinburg 620144, Russia

e-mail: *galina.nngu@mail.ru, **tanyakuklina.nn@yandex.ru, ***kudriniv@mail.ru,

****slava.zhikharev@ro.ru, *****dima_gavrillo@mail.ru, *****maxim_ilin@list.ru

The article presents the features of the spatial distribution of zooplankton communities in the water area of the Pustynskaya lake-river system. The abundance of two related species of the genus *Kellicottia*, the alien *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and the indigenous *K. longispina* (Kellicott, 1879), was analyzed in dedicated communities in 2013–2017. The greatest abundance of the alien species was noted in zooplanktonocenoses of mesotrophic water bodies (the Serezhka River and Lake Svyato). It was found that after the period of mass development of *K. bostoniensis* in 2013–2014, which might be due to the initial stage of naturalization of the alien species, its abundance had sharply decreased. In 2013–2014 the abundance of the indigenous species *K. longispina* (Kellicott, 1879) was significantly lower than that of the alien species. Rotifer *K. longispina* dominated in the Protoka and Lake Svyato in 2017. The highest density of both species was found in the metalimnion of the mesotrophic Lake Svyato. A statistically significant positive correlation was found between the abundance of *K. bostoniensis* and the temperature, transparency, and pH of water, as well as the abundance of predatory zooplankton species. The abundance of the native species *K. longispina* correlated negatively only with the value of water pH.

Keywords: communities, alien species, *Kellicottia bostoniensis*, *Kellicottia longispina*, dynamics, water bodies, watercourses, Nizhny Novgorod oblast.