

Оригинальная статья

УДК 595.18(28:47)

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-16-34>

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
KELLICOTTIA BOSTONIENSIS (ROUSSELET, 1908)
(ROTIFERA: BRACHIONIDAE)
В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАСЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ**

**Т. В. Золотарева¹✉, Г. В. Шурганова¹, И. А. Кудрин¹, Д. Е. Гаврилко¹,
В. С. Жихарев¹, А. А. Колесников¹, М. Ю. Ильин^{2,3}**

¹ *Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н. И. Лобачевского*

Россия, 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23

² *ООО «НПО Собский рыболовный завод»*

Россия, 629420, Ямало-Ненецкий автономный округ, пос. Харп, ул. Набережная реки Собь, д. 2

³ *Институт экологии растений и животных УрО РАН*

Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, д. 20

Поступила в редакцию 11.02.2021 г., после доработки 05.03.2021 г., принята 09.03.2021 г.

Аннотация. Изучены морфологические характеристики североамериканского вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* Rousselet, 1908 29 водоёмов и водотоков бассейна Средней Волги. Водные объекты – местообитания *K. bostoniensis* – расположены на территориях, существенно различающихся комплексом характеристик (геологическое строение, рельеф, климат, степень антропогенной нагрузки, гидрохимические и гидрофизические показатели и др.). Размеры особей *K. bostoniensis* большинства исследованных водоёмов и водотоков измерены и проанализированы впервые. Установлена высокая положительная корреляция между общей длиной тела и длиной заднего шипа ($R^2 = 0.79, p < 0.01$), а также длиной переднего шипа ($R^2 = 0.75, p < 0.01$). Выявлена зависимость между длинами переднего и заднего шипов ($R^2 = 0.58, p < 0.01$). Особи *K. bostoniensis* исследованных водоёмов и водотоков характеризуются крупными размерами (медианные значения общей длины тела изменяются от 236 до 440 мкм), сходными с особями нативных местообитаний Северной Америки, некоторых биотопов Европы и Европейской России. Наибольшие размеры тела, по сравнению с изученными ранее водоёмами России и других стран (Белоруссии, Швеции, Финляндии, Бразилии, Аргентины), в которых проводились исследования морфологической изменчивости *K. bostoniensis*, характерны для вида-вселенца р. Сура. В глубоких мезотрофных водных объектах с высокой прозрачностью обитают более крупные особи *K. bostoniensis*, по сравне-

✉ Для корреспонденции. Кафедра экологии Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.

ORCID и e-mail адреса: <https://orcid.org/0000-0002-5233-418X>, tanyakuklina.nn@yandex.ru (Золотарева Татьяна Владимировна); galina.nggu@mail.ru (Шурганова Галина Васильевна); <https://orcid.org/0000-0003-2388-629X>, kudriniv@mail.ru (Кудрин Иван Александрович); <https://orcid.org/0000-0002-7759-1625>, dima_gavrilko@mail.ru (Гаврилко Дмитрий Евгеньевич); <https://orcid.org/0000-0003-3241-2133>; slava.zhiharev@ro.ru (Жихарев Вячеслав Сергеевич); kolesnikov897@gmail.com (Колесников Антон Александрович); maxim_ilin@list.ru (Ильин Максим Юрьевич).

нию с представителями этого вида неглубоких эвтрофных с меньшей прозрачностью водоёмов. Данные о морфологических характеристиках вида-вселенца водных объектов бассейна Средней Волги значительно расширяют существующие сведения о морфологической изменчивости особей *K. bostoniensis*, их зависимости от факторов среды.

Ключевые слова: вид-вселенец, *Kellicottia bostoniensis*, морфология, водоёмы, водотоки, бассейн Средней Волги

Для цитирования. Золотарева Т. В., Шурганова Г. В., Кудрин И. А., Гаврилко Д. Е., Жихарев В. С., Колесников А. А., Ильин М. Ю. Морфологические характеристики *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водных объектах бассейна Средней Волги // Поволжский экологический журнал. 2021. № 1. С. 16 – 34. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-16-34>

ВВЕДЕНИЕ

Коловратка *Kellicottia bostoniensis* Rousselet, 1908 – неоарктический вид, вселившийся в палеарктический регион (Segers, 2007). Вид населяет водные объекты разных стран мира, приспособлен к обитанию в широком диапазоне условий (De Paggi, 2002; Bomfim et al., 2016; Zhdanova et al., 2016; Shurganova et al., 2017; Krainev et al., 2018; Oliveira et al., 2019; Picapedra et al., 2019). *K. bostoniensis* выявлена в водоёмах и водотоках Северной Европы (Eloranta, 1988; Josefsson, Andersson, 2001; Streble, Krauter, 2006; Lehtovaara et al., 2014), Белоруссии (Vezhnavecs, Litvinova, 2015), в более чем 80 водных объектах России (Иванова, Телеш, 2004; Лобуничева и др., 2011; Макарецца, Родионова, 2011; Алёшина и др., 2014; Фомина, Сярки, 2015; Подшивалина, 2016; Жихарев и др., 2020; Zdanova, Dobrynin, 2011; Bayanov, 2014; Zhdanova et al., 2016; Krainev et al., 2018). В Нижегородской области вид-вселенец обитает в 53 разнотипных водных объектах (Шурганова и др., 2018; Bayanov, 2014; Shurganova et al., 2017, 2019).

Известно, что некоторые виды коловраток обладают ограниченными ареалами распространения в зависимости от условий среды, широтных градиентов или определенных биогеографических закономерностей (Green, 1994). Однако наличие устойчивых покоящихся стадий способствует их широкому географическому распространению, обусловленному, в частности, деятельностью человека (Arnemo et al., 1968; De Paggi, 2002; Zhdanova et al., 2016). Высокая фенотипическая пластичность зоопланктонных организмов обуславливает успешную натурализацию видов в новых условиях (De Paggi, 2002; Zhdanova et al., 2016).

Таким образом, представляет интерес изучение морфологических признаков вида-вселенца *K. bostoniensis*, являющихся адаптационными характеристиками, определяемыми комплексом факторов среды. Так, изменение размерных характеристик тела коловраток могут быть обусловлены различиями глубины, трофического статуса водоёмов, цветности, температуры, вязкости воды, численностью особей самого этого вида и хищников (Эрман, 1962; Edmondson, Litt, 1989; Green, 2005, 2007; Krainev et al., 2018; Zhdanova et al., 2019).

В настоящее время сведения о морфологических характеристиках вида-вселенца *K. bostoniensis* и связи их с абиотическими и биотическими факторами среды крайне немногочисленны (Bezerra-Neto et al., 2004; Zdanova, Dobrynin, 2011;

Zhdanova et al., 2016, 2019; Krainev et al., 2018; Shurganova et al., 2019). Исследованные водные объекты бассейна Средней Волги существенно различаются комплексом гидрохимических и гидрофизических характеристик, расположены на территориях, отличающихся по геологическому строению, рельефу, климату, почвенному и растительному покрову, а также гидрографии и степени хозяйственного использования (Харитонычев, 1978; Мозжерин и др., 2012; Брагазин и др., 2014). Морфологические характеристики *K. bostoniensis* большинства представленных водоёмов и водотоков измерены и проанализированы впервые. Полученные сведения о размерах вида-вселенца водных объектов бассейна Средней Волги значительно расширяют существующие сведения о морфологических параметрах особей популяции *K. bostoniensis*, их зависимости от условий обитания.

Цель настоящего исследования – определить морфологическую изменчивость вида *K. bostoniensis* в зависимости от факторов среды в водоёмах и водотоках бассейна Средней Волги.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведен анализ морфометрических характеристик коловраток *K. bostoniensis* 29 разнотипных водных объектов бассейна Средней Волги. В работе использованы пробы зоопланктона, собранные на акваториях: Чебоксарского водохранилища и его притоков первого – третьего порядка (рек Сура, Ветлуга, Ватома, Сережа, Вьюница); 15 озёрах особо охраняемых природных территорий Нижегородской области (Кочешковское, Жаренское, Гришино, Черный Яр, Драничное, Чернозерское-1, Чернозерское-2, Черное, Нижнее Рустайское, Великое, Свято, Паровое, Долгое, Глубокое, Чарское) и Протоке – водоёме, соединяющем озёра Великое и Свято; водоёмов и водотоков антропогенно нарушенных территорий г. Нижний Новгород (прудовые расширения Шуваловского канала, р. Вьюница в пос. Гавриловка и р. Гниличка в пос. Нагулино, озёра Парковое и Сортировочное); притоков Куйбышевского водохранилища (реках Казанка и Кама) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика исследованных водоёмов и водотоков

Table 1. Characteristics of the investigated water bodies and watercourses

Водный объект / Water body	Координаты / Coordinates	D	WT	pH	DO	EC	Col	SD	TC
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оз. Кочешковское / Kocheshkovskoe Lake	57°28'3"N, 45°58'33"E	13.0	19.0	7.8	–	144.7	–	2.5	м
Оз. Жаренское / Zharenskoe Lake	57°12'42"N, 45°28'7"E	13.0	19.1	8.0	–	19.0	–	2.5	м
Оз. Гришино / Grishino Lake	56°32'20"N, 44°45'54"E	2.0	22.8	6.5	4.9	41.0	–	0.6	э
Оз. Черный Яр / Cherny Yar Lake	56°28'29"N, 44°48'46"E	2.5	14.7	5.7	6.3	41.0	–	0.5	э
Оз. Драничное / Dranichnoe Lake	56°30'23"N, 44°47'8"E	2.2	21.5	6.5	4.4	32.5	–	1.0	э
Оз. Чернозерское-1 / Chernozerskoe-1 Lake	56°26'7"N, 44°51'22"E	1.1	17.4	5.7	2.8	41.0	257.4	0.5	г

Продолжение табл. 1

Table 1. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Оз. Чернозерское-2 / Chernozerskoe-2 Lake	56°25'52"N, 44°51'53"E	1.0	19.7	6.0	1.0	62.5	217.5	0.3	э
Оз. Черное / Chernoe Lake	56°29'32"N, 45°16'8"E	16.0	25.0	6.9	7.5	38.0	—	0.4	м
Оз. Нижнее Рустайское / Nizhnee Rustayskoye Lake	56°29'58"N, 44°48'3"E	6.0	22.5	6.7	6.5	123.0	—	0.6	м
Р. Вагома / Watoma River	56°11'15"N, 44°16'10"E	12.5	17.2	7.9	10.3	467.5	—	0.6	д
Р. Сура / Sura River	56°6'2"N, 46°2'19"E	16.0	25.3	8.7	6.8	653.5	—	1.2	м
Р. Ветлуга / Vetluga River	56°23'25"N, 46°18'58"E	6.8	20.7	8.8	8.5	192.8	—	1.1	м
Р. Сережа / Seryozha River	55°39'26"N, 43°36'10"E	15.0	21.0	7.5	6.5	160.0	66.4	1.8	э
Оз. Великое / Velikoye Lake	55°39'34"N, 43°35'14"E	11.0	22.0	8.2	6.9	219.0	65.3	0.5	э
Протока / Protoka	55°40'10"N, 43°34'45"E	3.5	22.0	7.5	8.0	90.0	86.8	0.9	э
Оз. Свято / Svyato Lake	55°40'27"N, 43°35'17"E	14.5	19.0	7.0	8.6	35.0	128.7	1.8	м
Оз. Глубокое / Glubokoye Lake	55°40'7"N, 43°33'53"E	8.0	22.0	8.7	—	220.0	58.2	0.8	э
Оз. Паровое / Parovoye Lake	55°40'7"N, 43°32'47"E	5.0	22.6	8.3	—	211.0	74.6	1.0	э
Оз. Долгое / Dolgoye Lake	55°39'35"N, 43°31'33"E	4.0	22.4	8.6	—	269.0	74.6	0.9	э
Оз. Чарское / Charskoye Lake	55°31'7"N, 43°11'8"E	16.0	22.0	6.1	—	55.0	143.0	1.3	э
Р. Вьюница / V'yunitsa River	56°15'28"N, 43°44'26"E	5.8	23.3	7.3	4.2	342.4	—	0.9	э
Пруд-1* / Pond-1*	56°13'44"N, 43°43'21"E	5.0	22.0	7.3	4.3	326.5	—	1.8	э
Пруд-2** / Pond-2**	56°13'1"N, 43°44'34"E	12.2	23.9	7.4	2.8	298.0	—	1.0	м
Пруд-3*** / Pond-3***	56°16'38"N, 43°51'3"E	6.5	22.7	7.8	13.9	1038.0	—	2.0	э
Пруд-4*** / Pond-4***	56°17'38"N, 43°53'20"E	2.0	24.0	7.7	10.0	—	—	1.7	м-э
Пруд-5*** / Pond-5***	56°17'57"N, 43°53'44"E	8.3	20.8	7.5	9.7	572.3	—	2.2	м
Пруд-6*** / Pond-6***	56°16'52"N, 43°51'52"E	14.0	22.5	7.5	15.0	625.0	—	1.8	м
Оз. Парковое / Parkovoye Lake	56°14'11"N, 43°50'55"E	4.9	19.5	7.7	—	264.0	—	2.7	м
Оз. Сортировочное / Sortirovochnoye Lake	56°17'10"N, 43°50'24"E	13.0	18.2	7.6	—	227.0	—	1.9	э
Чебоксарское водохранилище / Cheboksary Reservoir	56°19'32"N, 46°39'44"E	11.0	21.1	7.7	8.3	279.7	60.0	1.1	э

Окончание табл. 1
Table 1. Continuation

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Р. Казанка / Kazanka River	55°49'58"N, 49°10'20"E	7.5	21.5	8.0	12.6	1378.0	—	0.9	м-э
Р. Кама / Kama River	55°24'9"N, 50°7'59"E	14.0	23.3	8.0	11.1	391.1	52.0	1.1	э

Примечание. D – глубина, м; WT – температура, °C; DO – концентрация растворенного кислорода, мг/л; EC – удельная электропроводность, мкСм/см; Col – цветность, Pt-Co; SD – прозрачность по диску Секки, м; TC – трофический статус (м – мезотрофный; э – эвтрофный; г – гипертрофный, д – дистрофный); прочерк – нет данных; * – пруд в пос. Гавриловка, ** – пруд в пос. Нагулино, *** – прудовые расширения Шуваловского канала.

Note. D – depth, m; WT – water temperature, °C; DO – dissolved oxygen, mg/L, EC – electrical conductivity, μ S/cm; Col – color of water, Pt-Co; SD – transparency over the Secchi Disc, m; TC – trophic status (m – mesotrophic; e – eutrophic; h – hypertrophic, d – dystrophic); dash – no data; * – pond in the village Gavrilovka, ** – pond in the village Nagulino, *** – ponds along the Shuvalovsky channel.

Особей *K. bostoniensis* выбирали из проб зоопланктона, фиксированных 4%-ным формалином. Из каждого водного объекта меряли по 10 – 190 экземпляров коловраток. Измерения проводились по схеме, предложенной в работе S. M. Zhdanova et al. (2019). Промеряли общую длину тела (L1), длину панциря без учета переднего и заднего шипов (L2), длины заднего (L3) и самого длинного переднего шипа (L4), ширину тела коловраток (W1) (рис. 1) с помощью окуляр-микрометра с использованием микроскопа Meiji Techno MT4200L (Meiji Techno, Япония).

Оценку нормальности распределения признаков осуществляли с помощью критерия Шапиро – Уилка (the Shapiro – Wilk test of normality). Однородность дисперсии между группами оценивали с помощью теста Левене (Levene's test). Поскольку распределение морфометрических характеристик было отличным от нормального, применялись непараметрические методы – дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса, затем проводилось множественное сравнение выборок с использованием критерия Уилкоксона (Гланц, 1999; Якимов, 2019).

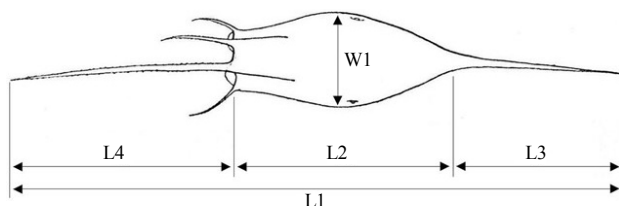


Рис. 1. Схема промеров *K. bostoniensis*: L1 – общая длина, L2 – длина панциря без учета переднего и заднего шипов, L3 – длина заднего шипа, L4 – длина самого длинного переднего шипа, W1 – ширина тела

Fig. 1. Measurement scheme for *K. bostoniensis*: L1 – total length, L2 – lorica length (excluding the anterior and posterior spines), L3 – the posterior spine length, L4 – the longest anterior spine length, W1 – body width

Для оценки корреляции между морфологическими признаками *K. bostoniensis* (L1, L2, L3, L4, W1) был рассчитан коэффициент корреляции Спирмена (Гланц, 1999; Якимов, 2019).

Для определения степени влияния параметров водоёмов и водотоков (глубины, температуры, pH,

электропроводности, цветности, концентрации растворенного кислорода и прозрачности) на общую длину *K. bostoniensis* использовали регрессионный анализ (Шитиков, Розенберг, 2013). В анализе учитывали медианные значения длины особей вида-вселенца. Часть показателей в процессе анализа была логарифмирована для нормализации их распределения и минимизации искажений модели. Все расчеты проводили в программной среде R (R Core Team, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследованных водных объектах морфометрические характеристики вида-вселенца существенно различались. Медианные значения общей длины тела особей *K. bostoniensis* изменялись от 236 до 440 мкм, длины панциря – от 100 до 118 мкм, заднего шипа – от 75 до 130 мкм, переднего шипа – от 100 до 270 мкм. Ширина тела составляла 50 – 78 мкм (табл. 2).

Таблица 2. Морфометрические показатели *K. bostoniensis* в водоёмах и водотоках бассейна Средней Волги (Европейская Россия)

Table 2. Morphometric characteristics of *K. bostoniensis* in water bodies and watercourses of the Middle Volga basin (European Russia)

Водный объект / Water body	n	Длина, мкм / Length, μ m				
		L1	L2	L3	L4	W1
1	2	3	4	5	6	7
Оз. Кочешковское / Kocheshkovskoe Lake	30	<u>388</u> 310–455	<u>115</u> 85–160	<u>127</u> 95–310	<u>152</u> 95–185	<u>55</u> 45–70
Оз. Жаренское / Zharenskoe Lake	105	<u>400</u> 330–445	<u>125</u> 105–180	<u>130</u> 105–160	<u>145</u> 95–175	<u>55</u> 45–65
Оз. Гришино / Grishino Lake	45	<u>236</u> 208–341	<u>115</u> 95–125	<u>98</u> 75–128	<u>118</u> 98–143	<u>50</u> 45–60
Оз. Черный Яр / Cherny Yar Lake	100	<u>336</u> 278–428	<u>118</u> 85–138	<u>105</u> 78–193	<u>115</u> 90–150	<u>50</u> 45–58
Оз. Драничное / Dranichnoe Lake	100	<u>344</u> 286–441	<u>115</u> 98–155	<u>110</u> 78–163	<u>123</u> 63–150	<u>50</u> 43–58
Оз. Черноезерское-1 / Chernozerskoe-1 Lake	20	<u>335</u> 318–373	<u>113</u> 103–120	<u>110</u> 93–130	<u>125</u> 103–135	<u>50</u> 50–58
Оз. Черноезерское-2 / Chernozerskoe-2 Lake	100	<u>316</u> 266–366	<u>118</u> 95–138	<u>93</u> 68–123	<u>100</u> 78–125	<u>50</u> 43–58
Оз. Черное / Chernoe Lake	100	<u>386</u> 311–441	<u>115</u> 95–130	<u>127</u> 105–145	<u>143</u> 108–168	<u>50</u> 40–55
Оз. Нижнее Рустайское / Nizhnee Rustay-skoe Lake	100	<u>383</u> 298–463	<u>113</u> 85–125	<u>119</u> 83–165	<u>150</u> 105–183	<u>50</u> 45–60
Р. Ватома / Watoma River	21	<u>345</u> 327–362	<u>112</u> 109–121	<u>103</u> 98–112	<u>131</u> 119–139	<u>72</u> 68–78
Р. Сура / Sura River	30	<u>440</u> 400–520	<u>70</u> 50–90	<u>110</u> 90–120	<u>270</u> 250–310	<u>70</u> 62–74
Р. Ветлуга / Vetluga River	30	<u>350</u> 290–400	<u>100</u> 90–120	<u>100</u> 70–140	<u>140</u> 120–160	<u>56</u> 50–65
Р. Сereжа / Seryozha River	108	<u>349</u> 300–440	<u>113</u> 76–140	<u>99</u> 62–140	<u>137</u> 95–290	<u>55</u> 37–85
Оз. Великое / Velikoye Lake	90	<u>330</u> 274–396	<u>112</u> 91–127	<u>89</u> 62–127	<u>130</u> 94–162	<u>53</u> 46–67

Окончание табл. 2
Table 2. Continuation

1	2	3	4	5	6	7
Протока / Protoka	116	<u>351</u> 225–432	<u>112</u> 91–132	<u>102</u> 74–155	<u>134</u> 103–185	<u>55</u> 36–56
Оз. Свято / Svyato Lake	190	<u>391</u> 362–480	<u>118</u> 85–160	<u>124</u> 80–170	<u>150</u> 90–206	<u>53</u> 44–69
Оз. Глубокое / Glubokoye Lake	30	<u>322</u> 285–357	<u>105</u> 92–112	<u>80</u> 50–97	<u>136</u> 112–157	<u>50</u> 47–55
Оз. Паровое / Parovoye Lake	30	<u>311</u> 287–367	<u>107</u> 100–112	<u>76</u> 60–98	<u>130</u> 112–157	<u>50</u> 45–55
Оз. Долгое / Dolgoye Lake	30	<u>304</u> 275–370	<u>102</u> 100–112	<u>75</u> 62–107	<u>127</u> 107–150	<u>50</u> 47–57
Оз. Чарское / Charskoye Lake	30	<u>370</u> 305–425	<u>120</u> 91–144	<u>115</u> 94–134	<u>137</u> 79–168	<u>58</u> 51–68
Р. Вьюница / V'yunitsa River	30	<u>348</u> 313–413	<u>110</u> 100–118	<u>107</u> 80–133	<u>135</u> 103–170	<u>53</u> 48–58
Пруд-1* / Pond-1*	60	<u>338</u> 291–396	<u>110</u> 93–125	<u>102</u> 60–130	<u>125</u> 105–160	<u>52</u> 45–60
Пруд-2** / Pond-2**	100	<u>380</u> 306–441	<u>113</u> 95–128	<u>124</u> 98–158	<u>144</u> 93–173	<u>50</u> 43–70
Пруд-3*** / Pond-3***	30	<u>341</u> 271–375	<u>107</u> 102–117	<u>102</u> 70–125	<u>130</u> 69–152	<u>52</u> 50–62
Пруд-4*** / Pond-4***	30	<u>369</u> 117–407	<u>112</u> 102–125	<u>115</u> 92–137	<u>142</u> 112–157	<u>57</u> 44–71
Пруд-5*** / Pond-5***	30	<u>370</u> 330–410	<u>116</u> 97–145	<u>117</u> 95–132	<u>139</u> 115–167	<u>56</u> 47–66
Пруд-6*** / Pond-6***	30	<u>396</u> 367–145	<u>107</u> 102–127	<u>129</u> 102–140	<u>157</u> 145–167	<u>56</u> 50–61
Оз. Парковое / Parkovoye Lake	100	<u>384</u> 336–433	<u>113</u> 100–128	<u>118</u> 95–145	<u>153</u> 125–173	<u>53</u> 40–58
Оз. Сортировочное / Sortirovochnoye Lake	100	<u>371</u> 331–426	<u>113</u> 103–123	<u>110</u> 90–135	<u>150</u> 120–175	<u>53</u> 45–60
Чебоксарское водохранилище / Cheboksary Reservoir	10	<u>341</u> 334–343	<u>108</u> 107–112	<u>102</u> 98–104	<u>130</u> 124–134	<u>77</u> 73–83
Р. Казанка / Kazanka River	29	<u>342</u> 332–342	<u>112</u> 109–112	<u>102</u> 95–102	<u>129</u> 119–129	<u>78</u> 69–78
Р. Кама / Kama River	10	<u>351</u> 345–359	<u>114</u> 109–121	<u>105</u> 95–112	<u>136</u> 125–139	<u>75</u> 69–78
Итого измерено особей:	2084					

Примечание. *n* – число особей; L1 – общая длина тела; L2 – длина панциря; L3 – длина заднего шипа; L4 – длина переднего шипа; W1 – ширина тела. Над чертой – медианные значения, под чертой – минимум и максимум. * – пруд в пос. Гавриловка, ** – пруд в пос. Нагулино, *** – прудовые расширения Шуваловского канала.

Note. *n* – number of specimens; L1 – total body length, L2 – lorica length (excluding the anterior and posterior spines), L3 – the posterior spine length, L4 – the longest anterior spine length, W1 – body width. The median values are above the line, min–max is under the line. * – pond in the village Gavrilovka, ** – pond in the village Nagulino, *** – ponds along the Shuvalovsky channel.

Для выявления зависимости между исследованными признаками были построены диаграммы рассеяния. На диаграммах прослеживается увеличение общей длины тела коловраток (L1) с увеличением длины заднего (L3) и переднего (L4)

шипов (облако точек вытянуто и наклонено). Зависимости общей длины тела (L1) от длины (L2) и ширины (W1) панциря на схеме выражены слабо – облако точек лежит горизонтально (рис. 2).

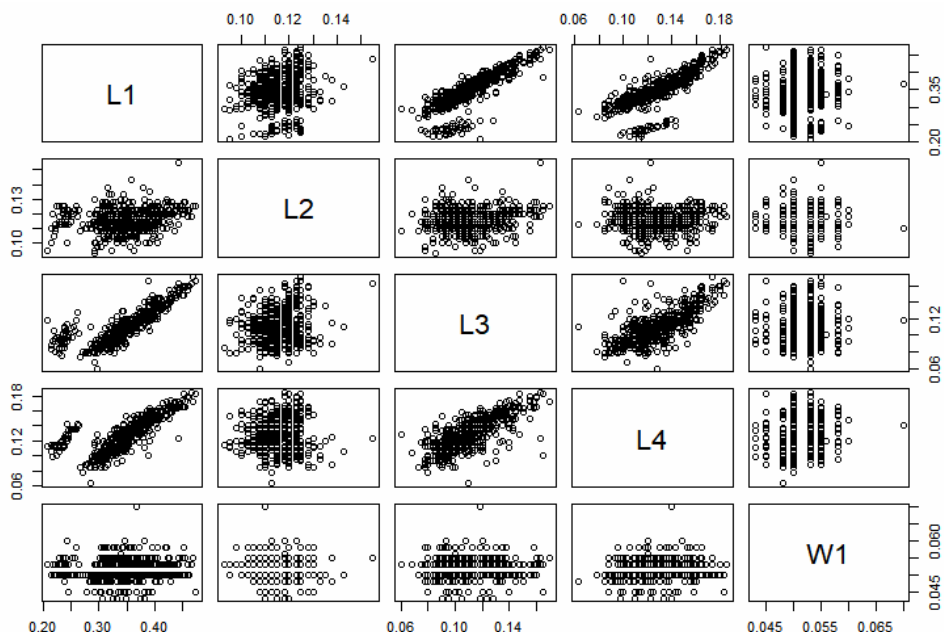


Рис. 2. Матрица диаграмм рассеяния значений морфологических характеристик (L1, L2, L3, L4, W1) *K. bostoniensis*

Fig. 2. Matrix of the scatter diagrams of the morphological characteristic values (L1, L2, L3, L4, W1) of *K. bostoniensis*

На рис. 3 представлена матрица корреляций между общей длиной тела, длинами переднего и заднего шипов, а также шириной панциря. Коэффициенты Спирмена представлены в виде закрашенных кругов. Размер круга пропорционален абсолютному значению коэффициента: чем выше коэффициент, тем больше круг. Цвет соответствует значению коэффициента: положительные отображены в синей гамме, отрицательные – в красной, чем меньше абсолютное значение коэффициента, тем бледнее соответствующий круг. Шкала цветовой кодировки представлена справа от матрицы. Незначимые коэффициенты корреляции перечеркнуты. Высокая положительная корреляция выявлена между общей длиной тела и длиной заднего шипа ($R^2 = 0.79, p < 0.01$), а также длиной переднего шипа ($R^2 = 0.75, p < 0.01$). Установлена корреляция между длинами переднего и заднего шипов ($R^2 = 0.58, p < 0.01$). Выявлена слабая степень зависимости ($R^2 \leq 0.31, p < 0.01$) между значениями длины и ширины панциря и остальными морфометрическими характеристиками (рис. 3).

Было проведено сравнение морфологических характеристик особей из разных водных объектов с использованием непараметрического критерия Краскела – Уоллиса, а затем – множественные попарные сравнения значений исследованных па-

раметров коловраток с помощью критерия Уилкоксона. В результате были выявлены статистически значимые различия общей длины тела особей исследованных водоёмов и водотоков (рис. 4).

Статистически значимо ($p < 0.01$) отличались от особей других водных объектов мелкие (238 мкм) особи неглубокого (до 2 м), эвтрофного со значением прозрачности 0.6 м оз. Гришино.

Сходными размерами характеризовались особи эвтрофных водоёмов и водотоков Пустынской озерно-речной системы (р. Сережа, Протока, озёра Великое, Глубокое, Паровое, Долгое), эвтрофных пойменных озёр р. Керженец (озёра Драничное, Чернозерское-2, Черный Яр) и гипертрофного оз. Чернозерское-1, эвтрофных водоёмов

и водотоков г. Нижний Новгород (пруд-1 в пос. Гавриловка, р. Вьюница, пруд-3 Шуваловского канала), эвтрофного Чебоксарского водохранилища и его притоков (реки Ватома, Ветлуга), а также рек Кама и Казанка (см. рис. 4).

Более крупными сходными размерами характеризовались представители *K. bostoniensis* мезотрофных водных объектов (озёра Жаренское, Кочешковское, Нижнее Рустайское, Парковое, Свято, Чарское, Черное, пруд-2 в пос. Нагулино, пруды 4 – 6 Шуваловского канала – см. рис. 4), они статистически значимо ($p < 0.01$) отличались от размеров особей эвтрофных водоёмов и водотоков. Значимо ($p < 0.01$) отличались самые крупные среди исследованных водных объектов представители *K. bostoniensis* р. Сура.

Отмечено также, что большая общая длина тела характерна, главным образом, для особей более глубоких водных объектов с высокой прозрачностью. Так, наиболее крупные особи *K. bostoniensis* выявлены нами в водоёмах с максимальными значениями глубин 12.5 – 16.0 м и прозрачностью 1.2 – 2.7 м (за исключением озёр Черное и Нижнее Рустайское, прозрачность которых составляла 0.4 и 0.6 м соответственно). Меньшей длиной тела характеризовались коловратки водоёмов и водотоков в основном с небольшой глубиной и невысокой прозрачностью (см. табл. 1).

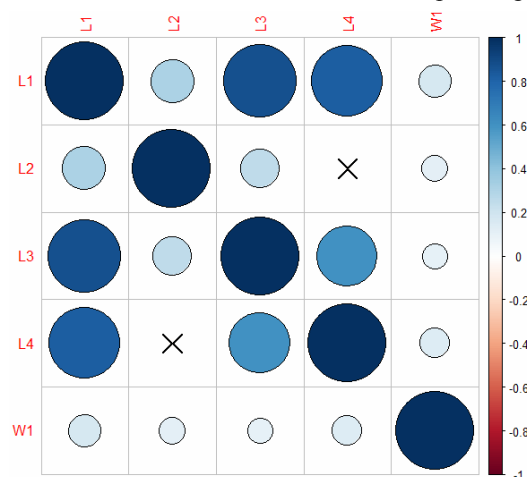


Рис. 3. Результаты анализа корреляции для комплекса из 5 количественных морфологических признаков *K. bostoniensis*

Fig. 3. Correlation analysis results for the set of 5 quantitative morphological characters of *K. bostoniensis*

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *KELLCOTTIA BOSTONIENSIS*

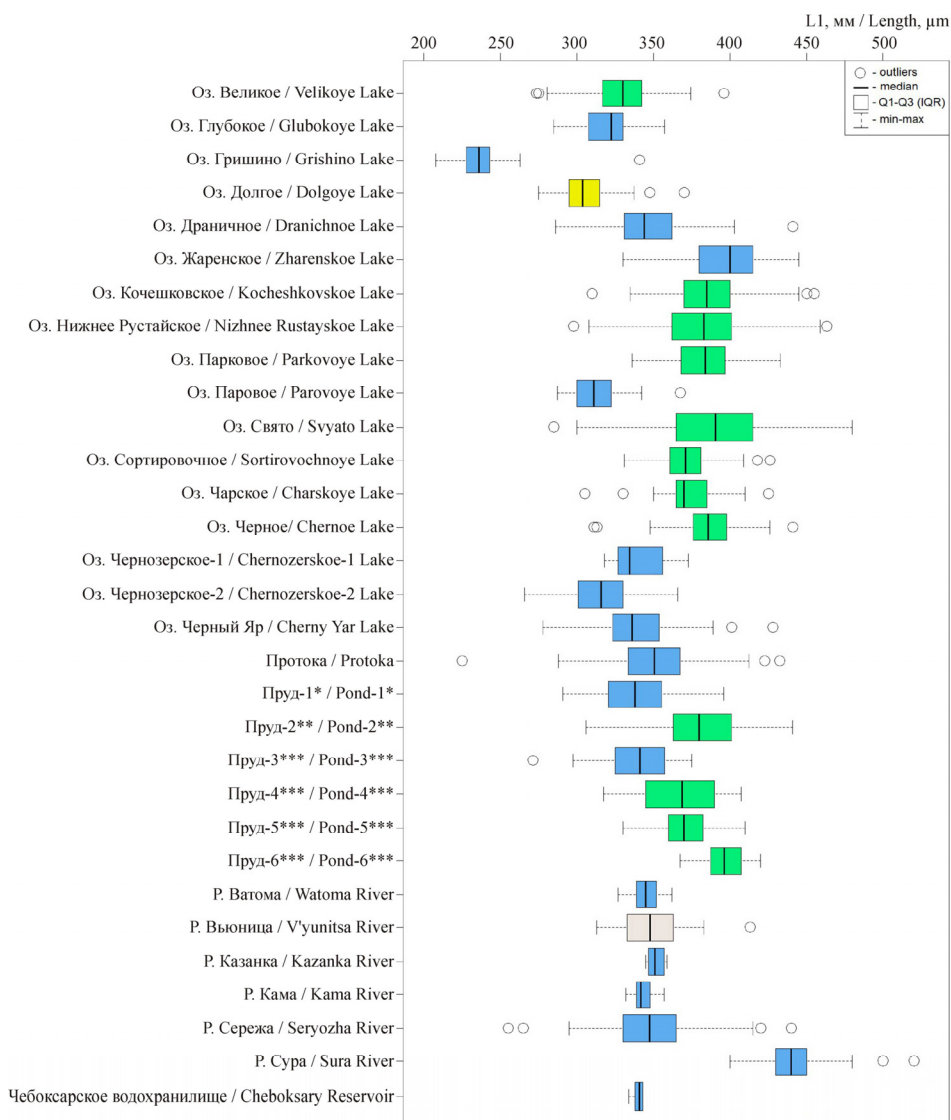


Рис. 4. Параллельные диаграммы размаха значений общей длины тела *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги. * – пруд в пос. Гавриловка, ** – пруд в пос. Нагулино, *** – прудовые расширения Шуваловского канала. Разными цветами обозначены статистически значимо различающиеся выборки. Outliers – выбросы, median – медиана, Q1 – Q3 (IQR) – первый квартиль – третий квартиль (интерквартильный размах), min–max – минимум – максимум

Fig. 4. Parallel diagrams of the range of the total body length of *K. bostoniensis* in water bodies in the Middle Volga basin. * – pond in the village Gavrilovka, ** – pond in the village Nagulino, *** – ponds along the Shuvalovsky channel. Different colors indicate statistically significant samples

Проведенный регрессионный анализ зависимости общей длины тела *K. bostoniensis* от характеристик водных объектов (глубины, температуры, pH, электропроводности, цветности, концентрации растворенного кислорода и прозрачности) позволил установить статистически значимые зависимости длины коловраток от глубины ($R^2 = 0.36$, $p < 0.01$) и прозрачности ($R^2 = 0.24$, $p < 0.01$) (рис. 5).

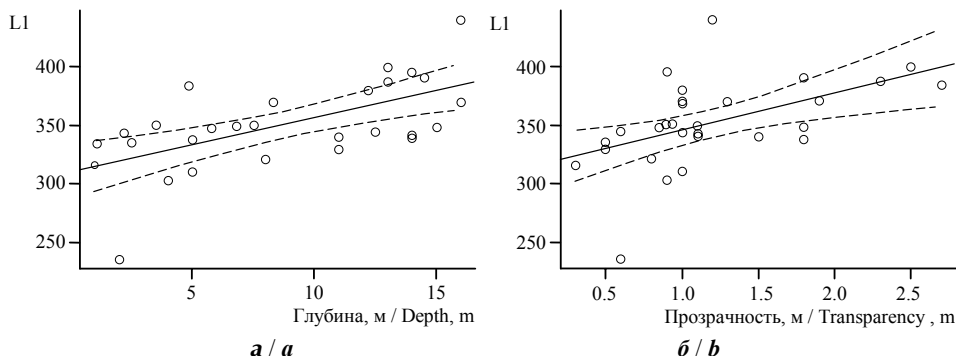


Рис. 5. Зависимость общей длины *K. bostoniensis* (L1) от глубины (а) и прозрачности (б) с доверительными интервалами регрессий

Fig. 5. Dependence of the total length of *K. bostoniensis* (L1) on depth (a) and transparency (b) with confidence regression intervals

Итоговая модель множественной регрессии с учетом глубины и прозрачности объясняла 42.6% от общей вариации длины тела *K. bostoniensis* в наших данных ($p < 0.01$). Таким образом, установлена зависимость размеров коловратки от глубины и прозрачности водных объектов, отмечено увеличение общей длины тела особей в более глубоких водоёмах, имеющих высокую прозрачность.

Сравнение общей длины тела *K. bostoniensis* в водных объектах, различающихся трофическим статусом, с использованием критерия Краскела – Уоллиса и последующим попарным сравнением с помощью критерия Уилкоксона позволило выявить статистически значимые ($p < 0.01$) различия общей длины тела *K. bostoniensis* мезотрофных и эвтрофных водных объектов. Так, особи мезотрофных водоёмов значимо крупнее представителей эвтрофных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Медианные значения общей длины тела *K. bostoniensis* исследованных нами водных объектов сопоставимы с установленными ранее S. M. Zhdanova et al. (2019) размерами этого вида (239 – 480 мкм) в других водоёмах и водотоках Европейской России. В целом представители популяций характеризуются крупными размерами, сходными с особями нативных местообитаний Северной Америки, а также некоторых биотопов Европы (Shulz, 1964; Arnemo et al., 1968; Eloranta, 1988; Zhdanova et al., 2019). Популяция вида-вселенца р. Сура характеризуется наибольшими размерами тела среди всех обследованных ранее водоёмов России и других стран (Белоруссии, Швеции, Финляндии, Бразилии, Аргентины), в которых проводились

исследования морфологической изменчивости *K. bostoniensis* (Shulz, 1964; Arnemo et al., 1968; Eloranta, 1988; De Paggi, 2002; Bezerra-Neto et al., 2004; Bayanov, 2014; Vezhnavets, Litvinova, 2015; Kraïnev et al., 2018; Zhdanova et al., 2019). Крупные размеры *K. bostoniensis* р. Сура обусловлены значительной глубиной водотока (16 м), высокой прозрачностью (1.2 м), мезотрофными условиями. Кроме того, для реки характерно высокое содержание кислорода (6.82 мг/л) и щелочная реакция (8.72). Возможно, совместное влияние всех факторов среды способствовало развитию крупноразмерных особей *K. bostoniensis* в данных условиях.

Особи неглубокого эвтрофного оз. Гришино характеризовались наименьшей общей длиной тела, сходной с мелкоразмерными популяциями *K. bostoniensis* некоторых озёр Вологодской, Ленинградской и Новгородской областей России, а также представителями этого вида из тропических водных объектов. Мелкие размеры коловраток в водоёмах Южной Америки связывают с отсутствием хищников из рода *Asplanchna* Gosse, 1850 и более высокой температурой воды (Bezerra-Neto et al., 2004; Zhdanova et al., 2019).

По результатам корреляционного анализа установлено увеличение общей длины тела коловраток с увеличением длин заднего ($R^2 = 0.79, p < 0.01$) и переднего шипов ($R^2 = 0.75, p < 0.01$). Длины переднего и заднего шипов также коррелируют положительно ($R^2 = 0.58, p < 0.01$). В отличие от результатов S. M. Zhdanova et al. (2019) анализ полученных нами данных показал низкую корреляцию между длиной и шириной панциря коловратки и остальными морфологическими признаками ($R^2 \leq 0.31, p < 0.01$).

Наряду с видами *Keratella cochlearis* Gosse, 1851 и *Keratella quadrata* Müller, 1786 семейства Brachionidae *K. bostoniensis* также характеризуется низкой вариабельностью длины панциря (Лазарев, 2007; Zhdanova et al., 2019). Длина панциря вида-вселенца исследованных нами водных объектов – менее вариабельный признак. Большая изменчивость характерна для длины шипов, установлена зависимость общей длины тела от длины переднего и заднего шипов.

Согласно литературным сведениям для представителя семейства Brachionidae *K. cochlearis* установлено увеличение заднего шипа в олиготрофных и холодных водоёмах. В теплых эвтрофных озёрах обитают особи с короткими шипами, либо без шипов (Green, 2005, 2007). Отмечено увеличение среднего размера коловраток этого вида с понижением температуры в вертикальном столбе воды (Лазарев, 2007). Известно, что в водоёмах Северной Америки родственный *K. bostoniensis* вид *Kellicottia longispina* Kellicott, 1879 характеризуется морфологической изменчивостью в зависимости от географического положения водного объекта и температуры. Выявлено уменьшение размеров тела особей *K. longispina* при продвижении с севера на юг (47 – 71° с.ш.), а также с повышением температуры водоёмов (от 1.2 до 18.0°C). Самые крупные особи этого вида идентифицированы в арктическом озере с низкой температурой среды (Edmondson, 1989).

Проведенный ранее S. M. Zhdanova et al. (2019) анализ размеров *K. bostoniensis* 23 водоёмов и водотоков Европейской России позволил выявить различия общей длины тела особей водоёмов с разным трофическим статусом, глубиной, температурой, плотностью и вязкостью воды. Размер тела особей выше в мезотрофных,

ацидных и глубоких водных объектах. В глубоководных озёрах с температурной стратификацией на размеры влияет увеличение плотности и вязкости среды при продвижении от поверхности к нижней границе гипolimниона (Zhdanova et al., 2019).

Среди исследованных нами водоёмов и водотоков наиболее крупные особи *K. bostoniensis* также характерны для популяций, обитающих в глубоких мезотрофных водных объектах с высокой прозрачностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ морфологических характеристик вида-вселенца коловратки *K. bostoniensis* 29 разнотипных водных объектов бассейна Средней Волги. Изменение общей длины тела особей обусловлено размерами переднего и заднего шипов, в то время как длина и ширина панциря слабо коррелирует с остальными морфологическими характеристиками. Особи популяций *K. bostoniensis* водоёмов и водотоков бассейна Средней Волги имеют крупные размеры, сходные с особями биотопов Северной Америки, Европы и других водных объектов ряда областей Европейской России (Shulz, 1964; Arnemo et al., 1968; Eloranta, 1988; Vezhnave, Litvinova, 2015; Krainev et al., 2018; Zhdanova et al., 2019). Самые крупные особи среди изученных ранее популяций *K. bostoniensis* водоёмов России и других стран выявлены в р. Сура. Наибольшая общая длина тела *K. bostoniensis* характерна для глубоких мезотрофных водных объектов с высокой прозрачностью, наименьшая – для особей этого вида неглубоких эвтрофных водоёмов с меньшей прозрачностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 19-34-90013, 20-34-90097).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.

Брагазин А. А., Маркелов И. Н., Нижегородцев А. А., Басуров В. А. Экологическое зонирование Нижегородской области // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2014. № 1. С. 157 – 161.

Гланц С. Медико-биологическая статистика. М. : Практика, 1999. 459 с.

Жихарев В. С., Ерина О. Н., Терещина М. А., Соколов Д. И., Золотарева Т. В., Гаврилко Д. Е., Шурганова Г. В. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Brachionidae) и *Eurycecus macracanthus* Frey, 1973 (Crustacea : Cladocera) – новые для фауны Московской области виды зоопланктона // Амурский зоологический журнал. 2020. Т. 12, № 2. С. 211 – 223.

Иванова М. Б., Телеш И. В. Сезонная и межгодовая динамика планктонных коловраток и ракообразных // Закономерности гидробиологического режима водоёмов разного типа / под ред. А. Ф. Алимова, М. Б. Ивановой. М. : Научный мир, 2004. С. 71 – 83.

Лазарев М. И. Пространственное распределение массовых видов коловраток в пелагиали озера Байкал : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 2007. 24 с.

Лобуничева Е. В., Ивичева К. Н., Макаренкова Н. Н. Результаты первых гидробиологических исследований водоёмов района Атлеки // Краеведческие (природоведческие) исследования на Европейском Севере : материалы Вологодской науч.-практ. конф. 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 Белорусск. гос. ун-та, 2011. С. 222.

Мозжерин В. И., Ермолаев О. П., Мозжерин В. В. Река Казанка и ее бассейн. Казань : МеДДок, 2012. 280 с.

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 : материалы III Всерос. науч. интернет-конф. с междунар. участием. Казань : ИП Синяев Д. Н., 2015. С. 71 – 74.

Харитоновичев А. Т. Природа Нижегородского Поволжья : История, использование, охрана. Горький : Волго-Вятское кн. изд-во, 1978. 175 с.

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., 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. 7. № 2. С. 138 – 144.

Эрман Л. А. Цикломорфоз и питание планктонных коловраток // Зоологический журнал. 1962. Т. 41, вып. 7. С. 998 – 1003.

Якимов В. Н. Основы анализа биомедицинских и экологических данных в среде R. Новгород : Изд-во Нижегород. ун-та, 2019. 97 с.

Arnemo R., Berzins B., Gronberg B., Mellgren I. The dispersal in Swedish waters of *Kellicottia bostoniensis* // Oikos. 1968. Vol. 19. P. 351 – 358.

Bayanov N. G. Occurrence and abundance level of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) in lakes of the Nizhniy Novgorod Region // Russian Journal of Biological Invasions. 2014. Vol. 5, № 2. P. 111 – 114.

Bezerra-Neto J. F., Aguila L. R., Landa G. G., Pinto-Coelho R. M. The exotic rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Brachionidae) in the zooplankton community in a tropical reservoir // Lundiana. 2004. Vol. 5, № 2. P. 151 – 153.

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, № 1. P. 29 – 36.

De Paggi J. New Data on the distribution of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Monogononta : Brachionidae) : Its presence in Argentina // Zoologischer Anzeiger. 2002. Vol. 241. P. 363 – 368.

Edmondson W. T., Litt A. H. Morphological variation in *Kellicottia longispina* // Hydrobiologia. 1989. Vol. 186/187. P. 109 – 117.

Eloranta P. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet), a plankton rotifer species new to Finland // Annales Zoologici Fennici. 1988. Vol. 25, № 3. P. 249 – 252.

Green J. The Temperate-tropical gradient of planktonic Protozoa and Rotifera // Hydrobiologia. 1994. Vol. 272, iss. 1 – 3. P. 13 – 26.

Green J. Morphological variation of *Keratella cochlearis* (Gosse) in a Backwater of the River Thames // Hydrobiologia. 2005. Vol. 546. P. 189 – 196.

Green J. Morphological variation of *Keratella cochlearis* (Gosse) in Myanmar (Burma) in relation to zooplankton community structure // Hydrobiologia. 2007. Vol. 593. P. 5 – 12.

- Josefsson M., Andersson B. The environmental consequences of alien species in the Swedish lakes Mälaren, Hjälmaren, Vänern and Vättern // *Ambio*. 2001. Vol. 30, № 8. P. 514 – 521.
- Kraïnev E. Yu., Tselishcheva E. M., Lazareva V. I. American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Brachionidae) in the Kama Reservoir (Kama River, Russia) // *Inland Water Biology*. 2018. Vol. 11, № 1. P. 42 – 45.
- 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. Vol. 19. P. 97 – 111.
- 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. Vol. 53, iss. 4. 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. P. e5. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2917>
- R Core Team. R : A Language and Environment for Statistical Computing. 2015. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed 12 December 2020).
- Schulz H. Biometrische messungen an *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet) // *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut*. 1964. Bd. 61. S. 117 – 121.
- Segers H. Annotated Checklist of the Rotifers (Phylum Rotifera), With Notes on Nomenclature, Taxonomy and Distribution. Auckland : Magnolia Press, 2007. 104 p.
- Shurganova G. V., Gavrilko D. E., Il'in M. Yu., 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, № 4. P. 393 – 402.
- Shurganova G. V., Zhikharev V. S., Gavrilko D. E., Zolotareva T. V., Ruchkin D. S. New information on the findings of alien rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Monogononta : Brachionidae) in Nizhny Novgorod Oblast // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2019. Vol. 10, № 3. P. 282 – 288.
- Streble H., Krauter D. Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Stuttgart : Kosmos Verlag, 2006. 429 S.
- Vezhnavev 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, № 2. P. 135 – 136.
- Zhdanova S. M., Dobrynin A. E. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera : Brachionidae) in waterbodies of European Russia // *Inland Water Biology*. 2011. Vol. 4, № 1. P. 39 – 47.
- 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, № 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, № 2. P. 140 – 149.

Morphological characteristics of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in water bodies of the Middle Volga basin

**T. V. Zolotareva^{1✉}, G. V. Shurganova¹, I. A. Kudrin¹, D. E. Gavrilko¹,
V. S. Zhikharev¹, A. A. Kolesnikov¹, M. Yu. Il'in^{2,3}**

¹Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
23 Gagarin Avenue, Nizhni Novgorod 603950, Russia

²LLC SPU "Sobskiy Fish Farm"

² Sob' river embankment St., Kharp town, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug 629420, Russia

³Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
202 8th March St., Ekaterinburg 620144, Russia

Received: 11 February 2021 / revised: 5 March 2021 / accepted: 9 March 2021

Abstract. The morphological characteristics of the North American invasive species *Kellicottia bostoniensis* Rousselet, 1908 were studied in 29 various types of water bodies and watercourses of the Middle Volga basin. The water bodies, which are the habitats of *K. bostoniensis*, are located on several territories that differ significantly in a set of characteristics, such as their geological structure, relief, climate, anthropogenic impact, hydrochemical and hydrophysical indicators, etc. The sizes of *K. bostoniensis* individuals in most of the studied water bodies and watercourses were measured and analyzed for the first time. A high positive correlation was found between the total body length and the posterior spine length ($R^2 = 0.79, p < 0.01$), as well as the anterior spine length ($R^2 = 0.75, p < 0.01$). A relationship was revealed between the lengths of the anterior and posterior spines ($R^2 = 0.58, p < 0.01$). *K. bostoniensis* individuals in the studied water bodies and watercourses are characterized by large sizes, the median values of the total body length being 236–440 μm . These sizes are similar to those of individuals in the native habitats of North America and some biotopes of Europe and European Russia. Among the previously studied water bodies of Russia and other countries (Belarus, Sweden, Finland, Brazil, and Argentina), where researches of the morphological variability of *K. bostoniensis* were carried out, the largest body sizes were characteristic for the invader species of the Sura River. Larger *K. bostoniensis* specimens live in deep mesotrophic water bodies with high transparency, compared with representatives of this species in shallow eutrophic water bodies with less transparency in the Middle Volga basin. Our data on the morphological characteristics of the invading species of water bodies in the Middle Volga basin significantly expand the existing information on the morphological variability of *K. bostoniensis* individuals and their dependence on environmental factors.

Keywords: invasive species, *Kellicottia bostoniensis*, morphology, water bodies, watercourses, Middle Volga basin

For citation: Zolotareva T. V., Shurganova G. V., Kudrin I. A., Gavrilko D. E., Zhikharev V. S., Kolesnikov A. A., Il'in M. Yu. Morphological characteristics of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in water bodies of the Middle Volga basin. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2021, no. 1, pp. 16–34. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-1-16-34>

✉ Corresponding author. Department of Ecology, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia. ORCID and e-mail addresses: <https://orcid.org/0000-0002-5233-418X>, tanyakuklina.nn@yandex.ru (Tatiana V. Zolotareva); galina.nngu@mail.ru (Galina V. Shurganova); <https://orcid.org/0000-0003-2388-629X>, kudriniv@mail.ru (Ivan A. Kudrin); <https://orcid.org/0000-0002-7759-1625>, dima.gavrilko@mail.ru (Dmitriy E. Gavrilko); <https://orcid.org/0000-0003-3241-2133>, slava.zhikharev@ro.ru (Vyacheslav S. Zhikharev); kolesnikov897@gmail.com (Anton A. Kolesnikov); maxim_ilin@list.ru (Maxim Yu. Il'in).

Acknowledgments. This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 19-34-90013 and 20-34-90097).

REFERENCES

- Aleshina D. G., Kurashov E. A., Rodionova N. V., Guseva M. A. The current state of the spring zooplankton in the tributaries of lake Ladoga. *Water: Chemistry and Ecology*, 2014, no. 4, pp. 64–71 (in Russian).
- Bragazin A. A., Markelov I. N., Nizhegorodcev A. A., Basurov V. A. Ecological zoning of the Nizhny Novgorod Region. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*, 2014, no. 1, pp. 157–161 (in Russian).
- Glanc S. *Mediko-biologicheskaja statistika* [Biomedical Statistics]. Moscow, Praktika Publ., 1999. 459 p. (in Russian).
- Zhiharev V. S., Erina O. N., Tereshina M. A., Sokolov D. I., Zolotareva T. V., Gavrilko D. E., Shurganova G. V. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) and *Eurycerus macracanthus* Frey, 1973 (Crustacea: Cladocera) – New species of zooplankton fauna of the Moscow Region. *Amurian Zoological Journal*, 2020, vol. 12, no. 2, pp. 211–223 (in Russian).
- Ivanova M. B., Telesh I. V. Seasonal and interannual dynamics of planktonic Rotifers and Crustaceans. In: A. F. Alimov, M. B. Ivanova, eds. *Zakonomernosti gidrobiologicheskogo rezhima vodojmov raznogo tipa* [Regularities of the Hydrobiological Regime of Water Bodies of Different Types]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2004, pp. 71–83 (in Russian).
- Lazarev M. I. *Prostranstvennoe raspredelenie massovykh vidov kolovratok v pelagialii ozera Baikal* [Spatial Distribution of Common Species of Rotifers in the Pelagic Zone of Lake Baikal]: Thesis Cand. Sci. (Biol.). Borok, 2007. 24 p. (in Russian).
- Lobunicheva E. V., Ivicheva K. N., Makarenkova N. N. Results of the first hydrobiological studies of reservoirs in the Atleki Region. In: *Kraevedcheskie (prirodovedcheskie) issledovaniia na Evropeiskom Severe: materialy Vologodskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Local History (Natural History) Studies in the European North: Materials of the Vologoda Scientific and Practical Conference]. Cherepovets, Cherepovetskoe muzeinoe ob'edinenie Publ., 2011, pp. 25–31 (in Russian).
- Makarceva E. S., Rodionova N. V. The first finds of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet 1908) (Rotifera, Brachionidae) in lakes Ladoga and Okhotnichye. *Ozernye ekosistemy: biologicheskie protsessy, antropogennaia transformatsiia, kachestvo vody: tezisy dokladov IV mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii* [Lake Ecosystems: Biological Processes, Anthropogenic Transformation, Water Quality: Abstracts of the IV International Scientific Conference]. Minsk, Izdatel'skii tsentr Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, 2011, pp. 222 (in Russian).
- Mozzherin V. I., Ermolaev O. P., Mozzherin V. V. *Reka Kazanka i ee bassein* [Kazanka River and Its Basin]. Kazan, MedDok Publ., 2012. 280 p. (in Russian).
- Podshivalina V. N. The plankton Rotifera and Crustacea fauna in floodplain lake with karst-suffusion basin (lake Bolshoe Schuchje, Sura river lower course catchment area, Middle Volga Region). *Scientific Proceedings of the State Nature Reserve "Prisursky"*, 2016, vol. 31, pp. 132–137 (in Russian).
- Fomina Ju. Ju., Sjarki M. T. Zooplankton of lake Onega, biodiversity and productivity. *Bio-raznoobrazie nazemnykh i vodnykh zhivotnykh. Zooresursy: materialy III Vserossiiskoi nauchnoi internet-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Biodiversity of Land and Aquatic Animals. Zooresources: III All-Russian Scientific Internet Conference with Intern. Participation]. Kazan, 2015, IP Sinyayev D. N. Publ., pp. 71–74 (in Russian).
- Haritonychev A. T. *Priroda Nizhegorodskogo Povolzh'ia: Istoriia, ispol'zovanie, okhrana* [The Nature of the Nizhny Novgorod Volga Region: History, Use, Protection]. Gor'kii, Volgo-Viatskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1978. 175 p. (in Russian).

Shitikov V. K., Rozenberg G. S. *Randomizaciya i butstrep: statisticheskij analiz v biologii i ekologii s ispol'zovaniem R* [Randomization and Bootstrap: Statistical Analysis in Biology and Ecology Using R]. Togliatti, Cassandra Publ., 2013. 314 p. (in Russian).

Shurganova G. V., Zhiharev V. S., Kudrin I. A., Krivdina T. V., Moreva O. A. Zooplankton of floodplain lakes of the river Kerzhenets (Kerzhinski Nature Reserve, Nizhny Novgorod Region). *Samara Journal of Science*, 2018, vol. 7, no. 2, pp. 138–144 (in Russian).

Jerman L. A. Cyclomorphosis and feeding of planktonic Rotifers. *Zoologicheskii zhurnal*, 1962, vol. 41, iss. 7, pp. 998–1003 (in Russian).

Jakimov B. N. *Osnovy analiza biomeditsinskikh i ekologicheskikh dannykh v srede R* [Fundamentals of the Analysis of Biomedical and Environmental Data in the Environment of R]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University Publ., 2019. 97 p. (in Russian).

Arnemo R., Berzins B., Gronberg B., Mellgren I. The dispersal in Swedish waters of *Kellicottia bostoniensis*. *Oikos*, 1968, vol. 19, pp. 351–358.

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, pp. 111–114.

Bezerra-Neto J. F., Aguila L. R., Landa G. G., Pinto-Coelho R. M. The exotic rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in the zooplankton community in a tropical reservoir. *Lundiana*, 2004, vol. 5, no. 2, pp. 151–153.

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, pp. 29–36.

De Paggi J. New data on the distribution of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Monogononta: Brachionidae): Its presence in Argentina. *Zoologischer Anzeiger*, 2002, vol. 241, pp. 363–368.

Edmondson W. T., Litt A. H. Morphological variation in *Kellicottia longispina*. *Hydrobiologia*, 1989, vol. 186/187, pp. 109–117.

Eloranta P. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet), a plankton rotifer species new to Finland. *Annales Zoologici Fennici*, 1988, vol. 25, no. 3, pp. 249–252.

Green J. The temperate-tropical gradient of planktonic Protozoa and Rotifera. *Hydrobiologia*, 1994, vol. 272, iss. 1–3, pp. 13–26.

Green J. Morphological variation of *Keratella cochlearis* (Gosse) in a backwater of the river Thames. *Hydrobiologia*, 2005, vol. 546, pp. 189–196.

Green J. Morphological variation of *Keratella cochlearis* (Gosse) in Myanmar (Burma) in relation to zooplankton community structure. *Hydrobiologia*, 2007, vol. 593, pp. 5–12.

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, pp. 514–521.

Kraïnev E. Yu., Tselishcheva E. M., Lazareva V. I. American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in the Kama Reservoir (Kama River, Russia). *Inland Water Biology*, 2018, vol. 11, no. 1, pp. 42–45.

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, vol. 19, pp. 97–111.

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, vol. 53, iss. 4, pp. 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, pp. e5. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x2917>

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2015. Available at: <http://www.R-project.org> (accessed 12 December 2020).

Schulz H. Biometrische messungen an *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet). *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut*, 1964, Bd. 61, S. 117–121.

Segers H. *Annotated Checklist of the Rotifers (Phylum Rotifera), With Notes on Nomenclature, Taxonomy and Distribution*. Auckland, Magnolia Press, 2007. 104 p.

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, pp. 393–402.

Shurganova G. V., Zhikharev V. S., Gavrilko D. E., Zolotareva T. V., Ruchkin D. S. New information on the findings of alien rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Monogononta: Brachionidae) in Nizhny Novgorod Oblast. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 282–288.

Streble H., Krauter D. *Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers*. Stuttgart, Kosmos Verlag, 2006. 429 S.

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, pp. 135–136.

Zhdanova S. M., Dobrynin A. E. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in waterbodies of European Russia. *Inland Water Biology*, 2011, vol. 4, no. 1, pp. 39–47.

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, pp. 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, no. 2, pp. 140–149.