

УДК 574.5

Роль коловраток в повышении качества вод в рыбоводном пруду

Т. Н. Герасимова*, А. П. Садчиков

*Институт водных проблем Российской академии наук, г. Москва, Россия;
e-mail: gerasiming@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6863-33-28>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
16.03.2022

Ключевые слова:

коловратки,
искусственный
корм,
температура,
качество воды,
рыбоводный
пруд

Коловратки распространены в пресных и солоноватых водоемах, в прибрежных районах морей и могут быть эффективным инструментом, применяемым для анализа состояния окружающей среды. Способность коловраток адаптироваться к неблагоприятным условиям среды рассмотрена в ходе исследования видового состава коловраток в подмосковном рыбоводном пруду в условиях поступления органического искусственного корма для рыб и изменения температурного режима толщи воды. В период повышенной температуры толщи воды (21–25 °С) и снижения концентрации растворенного кислорода от поверхностного до придонного слоев воды с 3,8 до 0,2 мгО₂/л в начале июля в пруду доминировали *Asplanchna priodonta helvetica*, *Brachionus angularis angularis* и *Brachionus calyciflorus* (98–100 % численности и 99–100 % биомассы коловраток). В период повышенных температур показатели мутности в верхнем слое (0,2–0,5 м) были на порядок меньше по сравнению с таковыми в более глубоких слоях водоема. Бактерии и мельчайшие частицы служили кормом коловраткам. Температура 18–25 °С являлась благоприятной для развития *B. angularis angularis* в рыбоводном пруду. При температуре 18 °С ее численность достигала 1 500 экз./л (70 % численности коловраток). В августе при снижении температуры толщи воды от 20 до 18 °С биомасса *A. priodonta helvetica* изменялась от 0,3 до 9,5 мг/л (99 % биомассы коловраток). В составе мелких коловраток доминировала *Polyarthra vulgaris*. В период пониженных температур биомасса коловраток возросла до 20 мг/л; ее основу составляла *A. priodonta helvetica*. Коловратки способны адаптироваться к условиям высокого органического поступления в широком диапазоне температур и участвовать в восстановлении качества воды в рыбоводном пруду.

Для цитирования

Герасимова Т. Н. и др. Роль коловраток в повышении качества вод в рыбоводном пруду. Вестник МГТУ. 2022. Т. 25, № 2. С. 120–124. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-2-120-124>

The role of rotifer in water quality improvement in a fishpond

Tat'yana N. Gerasimova*, Anatoliy P. Sadchikov

*Water Problems Institute RAS, Moscow, Russia;
e-mail: gerasiming@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6863-33-28>

Article info

Received
16.03.2022

Key words:

rotifers,
artificial food,
temperature,
water quality,
fish pond

Abstract

Rotifers are common in fresh and brackish water bodies, in coastal areas of the seas, and can be an effective tool for analyzing the state of the environment. The ability of rotifers to adapt to unfavourable environmental conditions has been considered in the course of studying the species composition of rotifers in a fish pond near Moscow under the conditions of the supply of organic artificial food for fish and changes in the temperature regime of water. During the period of increased temperature of the water (21–25 °С) and decrease in the concentration of dissolved oxygen from the surface to the bottom layers of water from 3.8 to 0.2 mgO₂/L in early July, *Asplanchna priodonta helvetica*, *Brachionus angularis angularis* and *Brachionus calyciflorus* dominated in the pond (98–100 % of the abundance and 99–100 % of the biomass of rotifers). During the period of elevated temperatures, the turbidity indices in the upper layer (0.2–0.5 m) were an order of magnitude lower than those in the deeper layers of the reservoir. Bacteria and tiny particles served as food for rotifers. The temperature of 18–25 °С was favourable for the development of *B. angularis angularis* in the fish pond. At a temperature of 18 °С, its abundance reached 1,500 ind./L (70 % of the abundance of rotifers). In August, when the temperature of the water column decreased from 20 to 18 °С, the biomass of *A. priodonta helvetica* changed from 0.3 to 9.5 mg/L (99 % of the biomass of rotifers). *Polyarthra vulgaris* dominated among small rotifers. During the period of low temperatures, the biomass of rotifers increased to 20 mg/L; its basis was *A. priodonta helvetica*. Rotifers are able to adapt to conditions of high organic input in a wide range of temperatures and participate in the restoration of water quality in a fish pond.

For citation

Gerasimova, T. N. et al. 2022. The role of rotifer in water quality improvement in a fishpond. *Vestnik of MSTU*, 25(2), pp. 120–124. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-2-120-124>

Введение

Коловратки занимают одно из ведущих мест в фауне континентальных водоемов; они широко распространены во многих пресных и солоноватых водоемах, в прибрежных районах морей.

Коловратки обладают высокой пищевой избирательностью: пищевая взвесь посредством работы коловращательного аппарата поступает в ротовую полость; неподходящие частицы выводятся обратными токами воды (Кутикова, 1970). Коловратки способны адаптироваться к неблагоприятным условиям среды. Они также могут быть эффективным инструментом, применяемым для анализа состояния окружающей среды (Kuczyńska-Kippen et al., 2021). Исследования жизненного цикла коловраток во временных водоемах, а также в соленом озере Тескоко (Мексика) позволили оценить воздействие окружающей среды на стратегию их развития (Nandini et al., 2021). Коловратки способны наращивать высокую численность в составе зоопланктона многих водоемов (Dastgeer et al., 2020). Коловратки используются в качестве естественной пищи для целей аквакультуры при выращивании личинок ихтиофауны в рыбоводных хозяйствах (Heneash et al., 2021). Потребляя бактерии, водоросли и детрит, коловратки играют важную роль в трофодинамике водоемов (Эрман, 1962).

Коловратки являются наиболее чувствительными формами зоопланктона среди многоклеточных организмов к изменению абиотических факторов водной среды; их роль в формировании качества вод еще полностью не раскрыта.

Настоящее исследование направлено на изучение разнообразия коловраток в рыбоводном пруду в связи с воздействием температуры и высокой органической нагрузки.

Материалы и методы

Эксперименты проводили в небольшом рыбоводном водоеме глубиной 4 м. В пруду выращивали рыб, которых кормили искусственным кормом. Рыбы относительно крупные, поэтому их трофическое воздействие на коловраток было небольшим.

Отбор проб проводили еженедельно с июля по сентябрь. Прозрачность воды измеряли с помощью диска Секки; температуру воды, концентрацию растворенного кислорода, показатели мутности, pH измеряли послойно через каждые 20 см от поверхности до дна (анализатор Water quality checker U-10, Horiba, Япония). Фитопланктон отбирали батометром с глубины 20 см. Пробы воды для оценки развития коловраток отбирали планктонной сетью Апштейна с использованием капронового газа № 77 (диаметр входного отверстия сети составлял 11,5 см). Сеть протягивали вертикально с глубины 1 м до поверхности. Для учета мелких форм коловраток применяли трубчатый батометр, вырезающий столб воды от поверхности до глубины 1 м. Отобранные пробы коловраток фиксировали формалином (до концентрации 4 %). Образцы проб с мелкими коловратками хранили без формалина для дальнейшего изучения живых особей. Численность коловраток оценивали в камере Богорова под бинокляром (МБС-9, Россия). Измерения коловраток проводили с помощью окуляр-микрометра под световым микроскопом (МБИ-3, ЛОМО, Россия). Биомассу коловраток определяли методом приравнивания их формы к наиболее близкому геометрическому телу (метод геометрического подобия фигур) (Садчиков, 2003). Для оценки изменения численности и биомассы коловраток объединяли по периодам изменения температуры в течение вегетационного сезона.

Результаты и обсуждение

Период повышенного температурного режима

В первой половине июля температура толщи воды изменялась от 21 до 25 °С. Значения pH поверхностного и придонного слоев составляли 8,2 и 7,9 единиц соответственно. Концентрация растворенного кислорода в поверхностных слоях снижалась с 3,8 до 3,1 мгО₂/л, в придонных – с 2,1 до 0,2 мгО₂/л. В этот период в пруду доминировали три вида коловраток: *Asplanchna priodonta helvetica*, (длина особей 1,5 мм), *Brachionus angularis angularis* и *Brachionus calyciflorus* (длина особей 0,13 и 0,17 мм соответственно). Они составляли 98–100 % численности и 99–100 % биомассы коловраток. Численность *A. priodonta helvetica* изменялась от 10 до 30 экз./л и составляла 10–44 % численности коловраток. Количество *B. angularis angularis* возросло с 22 до 173 экз./л, а *B. calyciflorus* – с 9 до 67 экз./л. В июле отмечено небольшое количество *Keratella cochlearis cochlearis*, *Polyarthra vulgaris* и *Synchaeta* sp.

В июле биомасса *A. priodonta helvetica* изменялась в пределах 1,6–4,7 мг/л и составляла 98–99 % биомассы коловраток. Биомасса *B. angularis angularis* (0,004–0,030 мг/л) и *B. calyciflorus* (0,005–0,038 мг/л) составляла < 1 % каждого из них.

Таким образом, в период повышенного температурного режима и условиях дефицита кислорода основу численности составляли три представителя фауны коловраток: *A. priodonta helvetica*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus*. По биомассе доминировала крупноразмерная *A. priodonta helvetica*.

Период переходного (среднего) температурного режима

В августе средняя температура толщи воды изменялась от 17 до 20 °С. Значения рН от поверхностного слоя до придонного были в пределах 8,1 единиц. Концентрация растворенного кислорода в поверхностных слоях составляла 2,8–2,4 мгО₂/л, в придонных – 1,5–1,0 мгО₂/л.

В этот период численность *A. priodonta helvetica* возросла до 116 экз./л (почти в 6 раз). Количество *B. angularis angularis* увеличилось до 1 500 экз./л (до максимальных значений за период исследования). Доля этого вида в численности коловраток возросла до 70 %. Количество *B. calyciflorus* увеличилось до 127 экз./л и достигло максимальных значений за период исследования. В августе в составе коловраток отмечались также *K. cochlearis cochlearis* и *P. vulgaris* численностью 6 и 1 000 экз./л соответственно. В начале августа в видовом составе коловраток также была отмечена *Polyarthra longiremis* численностью 405 экз./л (данный вид в пруду был зарегистрирован один раз за весь период исследования).

В начале августа биомасса *A. priodonta helvetica* увеличилась с 3,0 до 18,0 мг/л (74–97 % биомассы коловраток). Биомасса *B. angularis angularis* составляла 0,25 мг/л (1 % биомассы коловраток); биомасса *B. calyciflorus* – 0,05 мг/л (1 % биомассы коловраток).

Таким образом, при среднем температурном режиме в условиях дефицита кислорода численность *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* достигала наибольших значений за период исследования. Основу численности коловраток составляла *B. angularis angularis*, основу биомассы – *A. priodonta helvetica*.

Во второй декаде августа общая численность коловраток понизилась по сравнению с началом августа до 130 экз./л (в 16 раз). Мелкие коловратки *P. vulgaris*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* численностью 87, 19 и 10 экз./л соответственно составляли 89 % численности коловраток. Остальное приходилось на долю хищной крупной коловратки *Asplanchna brightwelli*. Биомасса ее особей (3,3 мг/л) составляла 97 % биомассы коловраток. Другая крупная коловратка *A. priodonta helvetica*, доминировавшая ранее, в планктоне зарегистрирована не была. Таким образом, развитие *A. brightwelli* привело к снижению общей численности коловраток и выпадению из их состава *A. priodonta helvetica*. В планктоне коловратка *A. brightwelli* отметилась всего один раз.

В период с середины и до конца августа температура толщи воды снижалась с 20 до 18 °С. Значение рН толщи воды составляло 8,1–8,2 единиц. Концентрация растворенного кислорода в поверхностных слоях достигала 3,5–4,0 мгО₂/л, в придонных – 1,8–2,7 мгО₂/л.

В этот период численность коловраток возросла до 2 700 экз./л. Количество *A. priodonta helvetica* составило 61 экз./л. При этом их доля в численности коловраток снизилась с 46 до 2 %. Биомасса *A. priodonta helvetica* изменялась в пределах 3–9,5 мг/л и составляла 79–99 % биомассы коловраток. Количество *P. vulgaris* возрастало до 2 500 экз./л (до максимального значения в период исследования). Их доля возрастала от 30 до 93 % численности коловраток. При этом биомасса *P. vulgaris* изменялась от 0,02 до 2,5 мг/л и составляла от <1 % до 21 % биомассы коловраток.

Численность *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* изменялась в пределах 5–44 и 6–10 экз./л соответственно. При этом их доли составляли <1 % биомассы коловраток. В третьей декаде августа впервые зарегистрирована *Keratella quadrata* численностью 13 экз./л. Также обнаружена *Ascomorpha* sp. (5 экз./л). В середине августа отмечена *Lecane bulla bulla* (6 экз./л). Два последних представителя коловраток регистрировались в планктоне эпизодически.

Таким образом, в период с середины до конца августа при снижении температуры толщи воды с 20 до 18 °С в составе биомассы коловраток доминировала *A. priodonta helvetica*. В видовом составе мелких коловраток произошла смена доминирования таксономических единиц. Среди них *P. vulgaris* в конце августа достигала наибольших численности и биомассы по сравнению с *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus*.

Период понижения температурного режима

В первой половине сентября средняя температура толщи воды понизилась с 17 до 16 °С, в начале третьей декады сентября – до 14 °С. Значение рН толщи воды (от поверхности до дна) в сентябре составляло 8,3 единиц. При этом концентрация растворенного кислорода была в пределах 5,0–4,0 мгО₂/л.

В сентябре (вплоть до третьей декады) численность коловраток возросла до 3 023 экз./л (до максимального значения за весь период исследования пруда). В начале сентября в составе коловраток обнаружена *Brachionus quadridentatus zernovi* численностью 500 экз./л; она в планктоне отмечалась эпизодически.

В период с начала до середины сентября количество *A. priodonta helvetica* возросло с 73 до 123 экз./л (до максимального значения за весь период исследования). Их доля в составе численности коловраток составляла 5–6 %. При этом общая биомасса коловраток увеличилась с 12 до 20 мг/л (до максимального значения за весь период исследования); ее основу (96–95 %) составляла *A. priodonta helvetica*.

В начале третьей декады сентября (при минимальной температуре толщи воды за период исследования) численность *A. priodonta helvetica* понизилась до 6 экз./л и составила <1 % количества коловраток. В то же время количество мелких коловраток *K. cochlearis cochlearis* достигло максимума – 2 000 экз./л. Численность *P. vulgaris* составляла 1 000 экз./л. (99 % общей численности коловраток). Биомасса коловраток снизилась

до 2 мг/л. При этом биомасса особей *P. vulgaris* и *A. priodonta helvetica* составляла 1,0 и 0,9 мг/л соответственно (51 и 46 % биомассы коловраток).

Таким образом, в третьей декаде сентября при снижении температуры толщи воды до 14 °С в составе биомассы коловраток доминировали *P. vulgaris* и *A. priodonta helvetica*.

Вселение в пруд крупных рыб и использование искусственного корма привело к значительному воздействию на экосистему водоема. В составе фауны коловраток были зарегистрированы 14 таксономических единиц. Пять из них относились к роду *Brachionus*: *B. angularis angularis*, *B. calyciflorus*, *B. calyciflorus dorcasi*, *B. calyciflorus spinosus*, *B. quadridentatus zernovi*. По способу питания представители рода *Brachionus* относятся к вертикаторам, могут заглатывать частицы до 20 мкм (Кутикова, 1970). *B. angularis* в основном специализируется на питании детритом (Эрман, 1962). При микроскопическом исследовании в желудках особей *A. priodonta helvetica* никогда не регистрировались коловратки.

Биомасса фитопланктона была относительно низкой (в пределах 1,2–4,6 мг/л); доминировали эвгленовые, зеленые и золотистые водоросли. Коловратка-детритофаг *B. angularis angularis* постоянно встречалась в толще пруда; ее численность в период повышенной температуры толщи воды достигала 137 экз./л и составляла до 60 % численности коловраток. При максимальной численности (1 500 экз./л) в начале августа при температуре толщи воды 18 °С ее доля в составе численности коловраток достигала 70 %. В третьей декаде сентября при температуре толщи воды 14 °С ее численность была минимальной (6 экз./л) и составляла <1 % численности коловраток. Таким образом, температура 18–25 °С является благоприятной для развития *B. angularis angularis* в условиях рыбоводного пруда. Высокая доля численности популяции *Brachionus angularis* (21,68 %) была зарегистрирована в рыбоводных прудах Пакистана (Dastgeer et al., 2020) при температуре 21–33 °С.

Растворенный кислород – важный фактор для выживания водных организмов. Снижение растворенного кислорода в течение периода повышенных температур приводит к снижению разнообразия коловраток. *A. priodonta helvetica*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* адаптировались в пруду к этим условиям при снижении трофического пресса рыб. Постоянное поступление искусственного корма и продуктов обмена ихтиофауны приводило к повышению бактериального разложения на дне пруда. Пузырьки газов, выделявшиеся в среду в процессе жизнедеятельности бактерий, поднимали в верхние слои водоема бактерии и мельчайшие частицы детрита (Садчиков, 1997). Они служили кормом коловраткам *A. priodonta helvetica*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* и др. За счет этого происходило осветление взвеси в верхних слоях водоема. С июля по начало третьей декады июля в период повышенных температур показатели мутности в верхнем слое (0,2–0,5 м) были на порядок меньше по сравнению с таковыми в более глубоких слоях водоема.

Заключение

Коловратки-детритофаги *A. priodonta helvetica*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus* в период повышенных температур 21–25 °С и дефицита кислорода в толще воды развиваются, наращивают численность и биомассу (98–100 % численности коловраток).

Основу биомассы (98–99 %) составляет *A. priodonta helvetica*; она способна развиваться в диапазоне температур 25–14 °С. Коловратка *A. priodonta helvetica* достигает наибольшей численности в начале августа при температуре 18 °С (116 экз./л) и в середине сентября, в период понижения температуры до 16 °С (123 экз./л).

B. angularis angularis – постоянный компонент фауны рыбоводного пруда в течение всего периода исследования. Наибольшая ее численность отмечена как при повышенной температуре, так и в период среднего температурного режима (при 18 °С).

B. calyciflorus способна наращивать численность в период повышенного и среднего температурного режима (при 18 °С). Однако ее максимальная численность была на порядок ниже численности *B. angularis angularis* при температуре 18 °С. Осенью (при снижении температуры ниже 16,3 °С) *B. calyciflorus* в планктоне пруда не регистрировалась.

В результате бактериального разложения искусственного корма для рыб на дне пруда в верхние слои поступают бактерии и мельчайшие частицы детрита, являющиеся кормом для коловраток *A. priodonta helvetica*, *B. angularis angularis* и *B. calyciflorus*. За счет потребления коловратками поступающего со дна корма происходит осветление верхних слоев воды и очищение водоема от взвеси.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 государственного задания Института водных проблем РАН и Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды".

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л. : Наука, 1970. 744 с.
- Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : метод. руководство. М. : Университет и Школа, 2003. 157 с.
- Садчиков А. П. Продуцирование и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона (на примере водоемов Подмоскovie) : дис. ... д-ра биол. наук. М. : МГУ, 1997. 2 т.
- Эрман Л. А. Об использовании трофических ресурсов водоемов планктонными коловратками // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1962. Т. 67, № 4. С. 32–47.
- Dastgeer G., Hussain M., Aftab K., Tufail M. S. [et al.]. Seasonal distribution of rotifer diversity in selected fish ponds and marala headworks Sialkot, Pakistan // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2020. Vol. 30, Iss. 5. P. 1298–1308. DOI: <https://doi.org/10.36899/japs.2020.5.0148>.
- Heneash A. M. M., Al-Rahman K. A., Omer M. Y. Effect of different diets on the growth rate of the rotifer, *Brachionus plicatilis* under 40 ppt salinity stress // *Asian Journal of Environment & Ecology*. 2021. Vol. 16, Iss. 4. P. 263–271. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajee/2021/v16i430276>.
- Kuczynska-Kippen N., Špoljar M., Mleczek M., Zhang C. Elodeids, but not helophytes, increase community diversity and reduce trophic state: Case study with rotifer indices in field ponds // *Ecological Indicators*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107829>.
- Nandini S., Carmona-Ruiz J. A., Sarma S. S. S. Demography of *Hexarthra jenkiniae* (de Beauchamp) (Rotifera) from ephemeral and permanent habitats of the shallow waterbody Lake Texcoco (Mexico) // *Hydrobiologia*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04784-7>.

References

- Kutikova, L. A. 1970. Rotifers of the fauna of the USSR. Leningrad. (In Russ.)
- Sadchikov, A. P. 2003. Methods of studying freshwater phytoplankton (methodological recommendations). Moscow. (In Russ.)
- Sadchikov, A. P. 1997. Production and transformation of organic matter by size groups of phyto- and bacterioplankton (reservoirs of the Moscow region). Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Erman, L. A. 1962. On the utilization of the reservoirs trophic resources by plankton rotifers. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 67(4), pp. 32–47. (In Russ.)
- Dastgeer, G., Hussain, M., Aftab, K., Tufail, M. S. et al. 2020. Seasonal distribution of rotifer diversity in selected fish ponds and marala headworks Sialkot, Pakistan. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 30(5), pp. 1298–1308. DOI: <https://doi.org/10.36899/japs.2020.5.0148>.
- Heneash, A. M. M., Al-Rahman, K. A., Omer, M. Y. 2021. Effect of different diets on the growth rate of the rotifer, *Brachionus plicatilis* under 40 ppt salinity stress. *Asian Journal of Environment & Ecology*, 16(4), pp. 263–271. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajee/2021/v16i430276>.
- Kuczynska-Kippen, N., Špoljar, M., Mleczek, M., Zhang, C. 2021. Elodeids, but not helophytes, increase community diversity and reduce trophic state: Case study with rotifer indices in field ponds. *Ecological Indicators*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107829>.
- Nandini, S., Carmona-Ruiz, J. A., Sarma, S. S. S. 2021. Demography of *Hexarthra jenkiniae* (de Beauchamp) (Rotifera) from ephemeral and permanent habitats of the shallow waterbody Lake Texcoco (Mexico). *Hydrobiologia*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04784-7>.

Сведения об авторах

Герасимова Татьяна Николаевна – ул. Губкина, 3, г. Москва, Россия; 119333; Институт водных проблем РАН, канд. биол. наук, науч. сотрудник;
e-mail: gerasiming@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6863-33-28>

Tat'yana N. Gerasimova – 3 Gubkina Str., Moscow, Russia, 119333; Water Problems Institute RAS, Cand. Sci. (Biology), Researcher;
e-mail: gerasiming@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6863-33-28>

Садчиков Анатолий Павлович – Ленинские горы, 1, к. 12, г. Москва, Россия; 119992; Международный биотехнологический центр Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, д-р биол. наук, профессор;
e-mail: aquaecotox@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9579-33-03>

Anatoliy P. Sadchikov – Leninskie Gory, 1, b. 12, Moscow, Russia, 119992; International Research Centre for Biochemical Technology, Lomonosov Moscow State University, Dr Sci. (Biology), Professor;
e-mail: aquaecotox@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9579-33-03>