

УДК 593.17 : 574.52

ВИДОВОЕ БОГАТСТВО ИНFUЗОРИЙ МАЛОГО ЗАБОЛАЧИВАЮЩЕГОСЯ ВОДОЕМА: ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ИХ БИОРАЗНООБРАЗИЯ

© 2023 С.В. Быкова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Институт экологии Волжского бассейна РАН,
г. Тольятти, Россия

Статья поступила в редакцию 25.08.2023

В статье приводятся результаты первого исследования видового состава инфузорий полигумозного озера Моховое, расположенного в Волжско-Камском государственном природном биосферном заповеднике; рассматриваются общие вопросы необходимости организации охраны и защиты простейших и их местообитаний; приводится небольшой обзор опыта, накопленного в мире по данной проблеме. Целью работы явилось выявление новых и редких видов инфузорий, описание их аутоэкологических особенностей и особенностей распределения как описательной основы для дальнейшего выявления потенциального разнообразия. В пелагиали озера зарегистрировано 53 вида, при этом остаются виды, не определенные даже до рода. Ранее не регистрировавшиеся виды в данном регионе – *Lacrymaria* cf. *sapropelica* Kahl, 1927, *Trichospira inversa* (Claparède & Lachmann, 1858), два вида из семейства Spathidiidae, а также основной доминант *Pseudoblepharisma tenue* var. *viride* (Kahl, 1926). Их обнаружение связано, скорее, с малой изученностью подобных ненарушенных местообитаний, чем с эндемизмом данных видов. Уникальность водоема и всего комплекса видов инфузорий заключается в значительной величине максимума численности – 753,7 млн экз./м³, на 53-75 % образованного *P. tenue* var. *viride* – вида, считающегося редким в других водоемах. В целом, в основном, миксотрофные инфузории формируют очень узкий и высокий, наподобие «бактериальной пластины», максимум численности. Проблема охраны биоразнообразия инфузорий заключается в недооцененности их значения, в силу их неприметности и космополитизма, малой привлекательности малых водоемов как «очагов разнообразия» для лимнологов и отсутствия хорошо подготовленных специалистов по систематике инфузорий, способных грамотно сочетать морфологические и молекулярно-генетические методы исследования.

Ключевые слова: инфузории, миксотрофы, биоразнообразии, болотное озеро, охрана простейших, редкие виды

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-11-20

EDN: VOFHOA

ВВЕДЕНИЕ

В отличие от широко распространенного мнения о том, что свободноживущие протисты неинтересны с точки зрения проблем биоразнообразия и не имеют большого экологического значения, исследования последних 20 лет показали, что большая часть биоразнообразия эукариот состоит из протистов [1, 2]. Тем не менее, их очень редко рассматривают в вопросах сохранения биоразнообразия и защиты. Наиболее очевидными причинами такого «пренебрежения являются их микроскопическая неприметность» и широко распространенное убеждение, что большинство протистов и, в частности инфузории, имеют космополитическое распределение [2]. Однако современные исследования показывают, что около трети известных протистов свойственно довольно ограниченное распространение [2–5]. В связи с этим, остро встает вопрос об охране местообитаний и особенно

Быкова Светлана Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоразнообразия. E-mail: svbykova514@gmail.com

«типовых» местообитаний, т.е. мест, где ранее неизвестный организм был впервые обнаружен и повторно описан [6]. Для протистов и мелких многоклеточных эукариот типовая локализация гораздо важнее, чем для более крупных организмов, поскольку их присутствие и распределение невозможно увидеть невооруженным глазом, с одной стороны, и они являются чувствительными индикаторами изменений окружающей среды, с другой [7-10].

К сожалению, разрушение среды обитания, которое является причиной трети утрат биоразнообразия во всем мире [11], уничтожило многие местообитания сообществ протистов. Эфемерные водно-болотные угодья особенно подвержены антропогенным воздействиям, поскольку они занимают формы рельефа, которые снижают экономическую ценность сельскохозяйственных угодий. Так, наибольшие потери инфузорий произошли в результате осушения водно-болотных угодий на окраине города Гамбург (Германия), где Альфред Каль обнаружил более ста новых видов [12, 13].

Считается что максимум разнообразия сосредоточен в «горячих точках биоразнообразия» (дождевые леса в тропиках и субтропиках), в «специализированных местах обитания в структурно сложных ландшафтах» (например, в микрообитаниях, поддерживаемых бромелиевыми растениями), хотя и там данные об инфузориях и многих других группах протистов довольно скудны [7] или вовсе отсутствуют [14]. В умеренном климате «горячими точками» можно считать торфяники и болотные пруды, которые содержат высокоспецифичные и разнообразные сообщества протистов. Так, Крейц и Фойсснер [15] обнаружили около 800 видов протистов в ветландах недалеко от озера Констанц в окрестностях небольшого города в Германии. По крайней мере, 100 видов ранее не были описаны, а некоторые из неописанных видов могли быть местными эндемиками. Таким образом, авторы [15] пришли к выводу, что любая подобная уникальная территория должна быть защищена по закону. Например, эфемерный пруд на Краутхюгеле в Австрии был официально признан «Памятником природы для одноклеточных организмов» [2]. Кроме того, считается, что сохранению протистов следует уделить внимание и в Красных книгах, не говоря уже о целенаправленном научном обсуждении данной проблемы.

В целом, «разработка стратегии сохранения протистов ожидает весьма запоздалого признания со стороны человеческого общества» [7, 16]. В последнее время начинают появляться исследования, в которых утверждается необходимость сохранения микробного разнообразия. Так, около 417 олиго- или мезотрофных таксонов диатомовых находятся в «красном» списке, поскольку олиготрофные и дистрофные места обитания особенно подвержены нарушениям [7, 10]. В Красной книге Самарской области приводятся списки редких водорослей, нуждающихся в охране. Но охрану микробиоты представить и тем более организовать довольно трудно. Тем не менее, в рекомендациях по сохранению видов в естественных условиях авторы указывают на необходимость «организации территориальной охраны» [17].

Сохранению узко специализированных мест обитания способствуют уже существующие и вновь создаваемые особо охраняемые территории, а исследователям протистов остается только не упустить шанс исследовать потенциальное, недооцененное разнообразие. С этой точки зрения большой интерес представляет озеро Моховое, расположенное в трудно доступной части Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ). В программу мониторинга оно включено несколько позже, чем постоянно исследуемые водоемы (озера Раифское, Линево,

Илантово, Долгое, Гнилое, Белое, Карасиха и др. [18]), поэтому и гидробиологические исследования там проводятся не так давно и не так часто. Сведения об инфузориях оз. Моховое до сих пор полностью отсутствовали.

С учетом существующих проблем в области охраны свободноживущих инфузорий, целью данной работы явилось первое исследование видового состава инфузорий, выявление новых и редких видов, описание особенностей их распределения, выявление приуроченности отдельных видов к определённым слоям толщи воды, аутоэкологических особенностей отдельных видов как описательной основы для дальнейшего уточнения видовой принадлежности с применением молекулярно-генетических методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пробы отбирали 10.07.2019 на стандартной станции с максимальной глубиной порядка 7 м тонкослойным пробоотборником. От поверхности до глубины 1 м интервал отбора проб составил 0,5 м; затем в районе градиента окислительно-восстановительного потенциала (от 1,2 до 3 м) отбирали дробно – через 10, 20, 50 см; далее, с глубины 3 м и до дна – через каждый метр. Объем проб варьировал от 50 до 100 мл. В итоге всего было отобрано 17 проб. Количественный учет проводили на препаратах, фиксированных сулемой. Просмотр материала и его документирование производили на микроскопе Leica BM 5500.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Район исследования и абиотические условия. Озеро Моховое (55.914582 с.ш., 48.859124 в.д.) расположено в долине Сер Булак, которая относится к бассейну реки Сумка, левого притока Волги (рис. 1А). Прозрачность в момент отбора составляла – 0,75 м. Цвет воды – желто-коричневый, цветность – 117-418 °Pt.

Резкий градиент температуры начинался сразу от приповерхностных слоев до 2-2,5 м, рН менялась от слабокислых до слабощелочных значений (рис. 1Б). Градиент окислительно-восстановительного потенциала приходился на горизонт от 1 м до 2 м. Микроаэробные и анаэробные условия складывались в толще воды от 1,7 м до дна. Электропроводность – от 236 до 352 $\mu\text{Sm}/\text{см}$. По данным Е.Н. Унковской и О.Ю. Тарасова [18], за весь период наблюдений (2001-2015 гг.) значительных изменений минерализации не отмечалось, и минерализация оценивалась как «малая» (в среднем, 183,2 мг/дм³), общая жесткость соответствовала категории «мягкая вода». Соотношение ионов по формуле Курлова в поверхностном слое [18]:

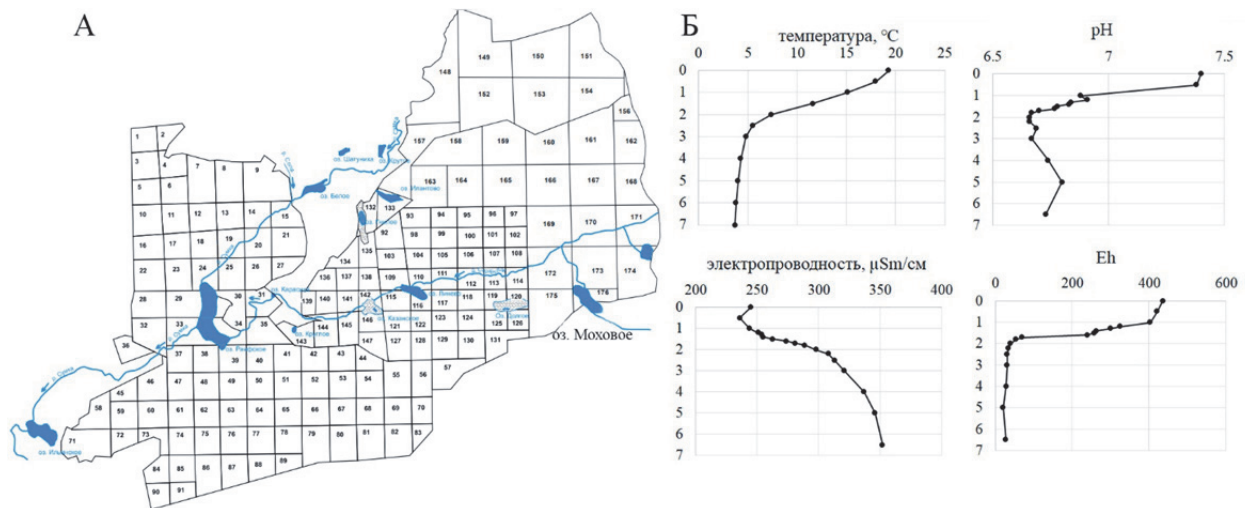
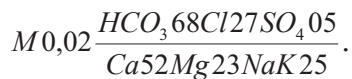


Рис. 1. Схема расположения оз. Моховое в Раифском участке ВКГТБЗ (А) (по: [19]) и профили абиотических факторов в толще воды глубоководной станции озера 10.07.2019 (Б)



По содержанию железа ($2,49 \pm 1,23$ мг/дм³) и фосфатов ($0,96 \pm 0,32$ мг/дм³) в придонных горизонтах в среднем за период 2001-2015 гг., озеро входит в пятерку озер заповедника с максимальными значениями по данным показателям (озера Линево, Торфяное, Гнилое и Карасиха) [18].

Общая характеристика видового состава инфузорий. В оз. Моховое в центральной глубокой части водоема выявлено 53 вида (есть виды, не определенные пока даже до рода) (таблица). Ранее не регистрировались в озерах ВКЗ: *Lacrymaria* cf. *sapropelica* Kahl, 1927, *Trichospira inversa* (Claparède & Lachmann, 1858), два вида из семейства Spathidiidae, *Pseudoblepharisma tenue* var. *viride* (Kahl, 1926). Маловероятно, что они эндемики, вероятнее, просто мало исследовались подобные ненарушенные местообитания, в которых велико «скрытое разнообразие». Один из «новых» и редких видов, *P. tenue* var. *viride*, в данном водоеме вообще является основным доминантом (рис. 2).

Озеро характеризовалось очень высокой численностью инфузорий: суммарная численность (753700 тыс. экз./м³) более чем в 20 раз превышала максимальную численность, указанную для водоемов заповедника [20]. Довольно «резкий» и «узкий» максимум численности на глубине 1,3 м (рис. 3) удалось зарегистрировать, благодаря дробному отбору (через каждые 10 см в области расположения максимума численности).

В аэробном слое у поверхности доминировали олиготрихи *Halteria grandinella* (O.F. Muller, 1773) (33% общей численности) и *Pelagostrombidium mirabile* (Penard, 1916) (13%); чуть ниже, на глубине 0,5 м – тинтиниды *Tintinnidium fluviatile* (Stein, 1863) (70%) и *Tintinnopsis cylindrata* Kofoid & Campbell, 1929 (20%). В микроаэробных слоях основу численности формировали в основном два миксотрофных вида (таблица): *Pelagothrix plancticola* Foissner et al., 1995 (41%) и *Pseudoblepharisma tenue* var. *viride* (Kahl, 1926) (рис. 2, 3).

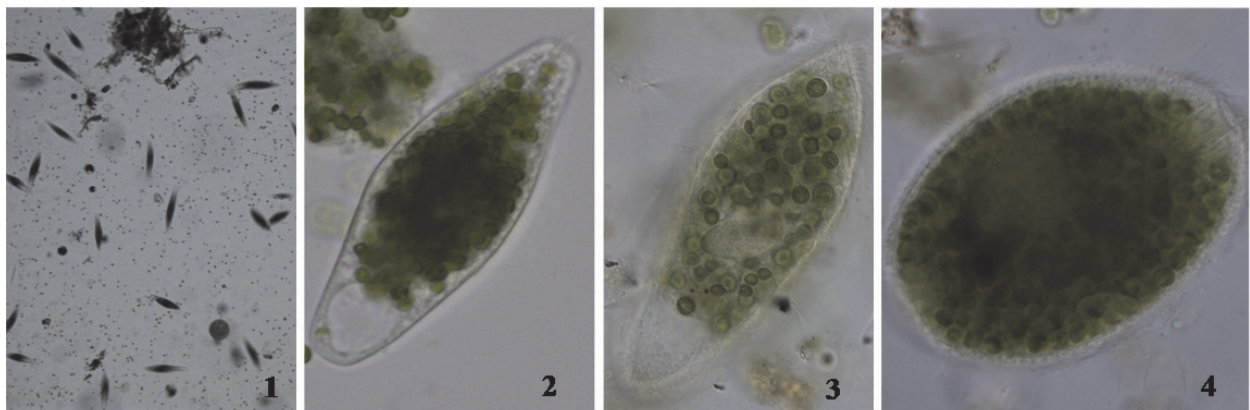


Рис. 2. Основные доминанты инфузорий в планктоне оз. Моховое в 10.07.2019: 1-3 – *Pseudoblepharisma tenue* var. *viride* (Kahl, 1926); 4 – *Pelagothrix plancticola* Foissner et al., 1995

Таблица. Видовой состав инфузорий, численность (*N*, тыс. экз./м³) и вклад видов в среднюю численность (*N*, %) в оз. Моховое в июле 2019 г.

Видовой состав	<i>N</i> средняя	<i>N</i> максимальная	<i>N</i> , %
<i>Askenasia chlorelligera</i> Krainer & Foissner, 1990*	1.2	20	0
<i>Amphileptus procerus</i> (Penard, 1922)	1.2	20	0
<i>Apsiktrata gracilis</i> (Penard, 1922)	24	200	0
<i>Caenomorpha lata</i> Kahl, 1927	1.2	20	0
<i>C. medusula</i> Perty, 1852	91	720	0.1
<i>C. sapropelica</i> Kahl, 1927	12	80	0
<i>Caenomorpha</i> sp. (<i>C. uniserialis</i> Levander, 1894)	14	140	0
<i>Codonella cratera</i> (Leidy, 1887)	16	280	0
<i>Coleps amphacanthus</i> Ehrenberg, 1833	4.7	40	0
<i>C. hirtus</i> (Muller, 1786) Nitzsch, 1827	2.4	40	0
<i>C. hirtus viridis</i> Ehrenberg, 1831*	394	6280	0.3
<i>Coleps</i> sp. *	72	1220	0
<i>Cyclidium glaucoma</i> (O.F. Muller, 1773)	15	180	0
<i>Dexiotricha</i> cf. <i>colpidiopsis</i> (Kahl, 1926)	961	6280	0.8
<i>Dexiotricha granulosa</i> (Kent, 1881)	1133	7700	0.9
<i>Didinium</i> cf. <i>nasutum</i> (O.F. Muller, 1773) *	958	14360	0.8
<i>D. chlorelligerum</i> Kahl, 1935*	86	440	0.1
<i>Disematostoma butschlii</i> Lauteborn, 1894*	3299	35840	2.7
<i>Euplotes diadaleos</i> Diller & Kounarius, 1966*	438	3420	0.4
<i>Frontonia leucas</i> (Ehrb., 1838)	2.4	20	0
<i>Frontonia</i> sp.*	270	2960	0.2
<i>Halteria grandinella</i> (O.F. Muller, 1773)	147	1320	0.1
<i>Haplocaulus</i> sp.	1.2	20	0
<i>Histiobalantium natans</i> Clap. & Lachm., 1858*	8613	67120	7.1
<i>Holophrya discolor</i> Ehrenberg, 1833	896	15240	0.7
<i>H. ovum</i> (Ehrenberg, 1831)*	368	2430	0.3
<i>Lacrymaria</i> cf. <i>sapropelica</i> Kahl, 1927	3.5	40	0
<i>Metopus</i> spp.	11	160	0
<i>Microthorax</i> cf. <i>elegans</i> Kahl, 1931	1.2	20	0
<i>Paramecium</i> cf. <i>chlorelligerum</i> Kahl, 1935*	324	2000	0.3
<i>Paramecium</i> sp. 1 (<i>P. aurelia</i> (Ehrb., 1838) complex)	1.2	20	0
<i>Pelagohalteria viridis</i> (Fromentel, 1876) Foissner, Skogstad & Pratt, 1988)*	1336	18120	1.1
<i>Pelagostrombidium mirabile</i> (Penard, 1916)*	81	1000	0.1
<i>Pelagothrix plancticola</i> Foissner et al., 1995*	49233	210860	40
<i>Pelagovorticella natans</i> (Faure -Fremiet, 1924)	1.2	20	0
<i>Plagiopyla</i> sp.	2.4	40	0
<i>Pseudoblepharisma tenue</i> var. <i>viride</i> (Kahl, 1926)	50724	397320	42
<i>Rimostrombidium</i> spp. (<i>R. hyalinum</i> (Mirabdulaev, 1985); <i>R. humile</i> (Penard, 1922))	8	140	0
<i>Rimostrombidium velox</i> (Faure-Fremiet, 1924)	15	220	0
<i>Rimostrombidium lacustris</i> (Foissner, Skogstad & Pratt, 1988)	26	400	0
<i>Spathidium</i> sp. 1*	0.6	10	0
<i>Spathidium</i> sp. 2*	14	240	0
<i>Tachysoma pellionellum</i> (O.F. Muller, 1773)	3.5	60	0
<i>Tintinnidium fluviatile</i> (Stein, 1863)	1338	22560	1.1
<i>Tintinnopsis cylindrata</i> Kofoid & Campbell, 1929	396	6440	0.3
<i>Trichospira inversa</i> (Claparède & Lachmann, 1858)	17	140	0
<i>Urocentrum turbo</i> (O.F. Muller, 1786)	100	780	0.1
<i>Urotricha</i> spp. (17-25 мкм) (<i>U. farcta</i> Clap. & Lachmann, 1859; <i>U. furcata</i> Schewiakoff, 1893; <i>U. globosa</i> Schewiakoff, 1892)	1.2	20	0
<i>Vorticella</i> spp. (<30 мкм)	1.2	20	0
Бродяжки перитрих	2.4	20	0

Примечание. * – миксотрофные виды; в столбце «*N*, %» 0 соответствует значениям <0,01%

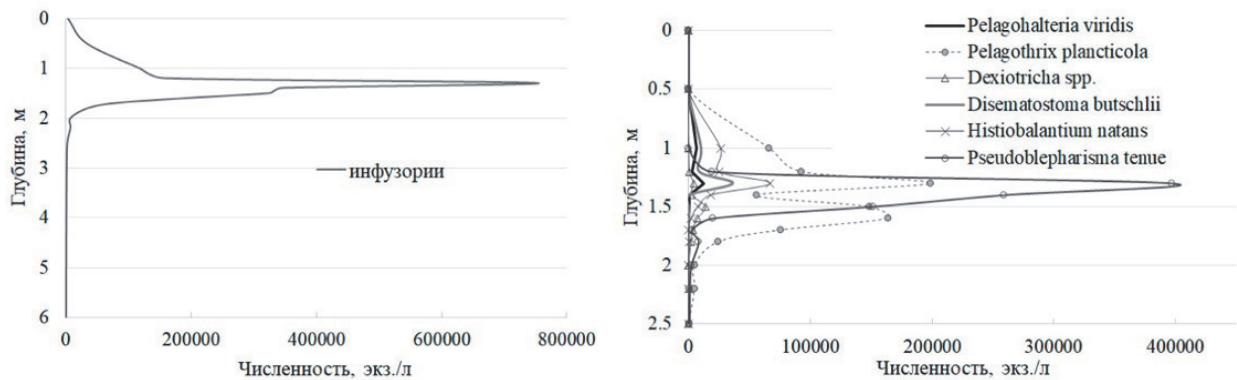


Рис. 3. Вертикальное распределение общей численности (слева) и численности отдельных видов инфузорий планктона в области максимума (справа) в оз. Моховое 10.07.2019

Сообщество инфузорий оз. Моховое характеризуется высоким вкладом симбионтсодержащих инфузорий в целом: в кислородных условиях от поверхности до 0,5 м лишь 7,8% инфузорий содержат симбиотические зеленые водоросли, а начиная с глубины 1 м и до дна, 97% численности инфузорий (в области максимума – 99%) являются миксотрофными. Практически все виды микроаэробной и анаэробной зон содержат симбиотически водоросли. Это *Euplotes diadaleos* Diller & Kounarius, 1966, *Holophrya ovum* (Ehrenberg, 1831), *Rimostrombidium velox* (Faure-Fremiet, 1924) Jankowski, 1978, *Didinium chlorelligerum* Kahl, 1935, *Spathidium* sp., *Holophrya ovum* (Ehrenberg, 1831), *Disematostoma butschlii* Lauteborn, 1894, *Histiobalantium natans* Clap. & Lachm., 1858, *Paramecium* cf. *chlorelligerum* Kahl, 1935 и др. (таблица, рис. 4). Из-за высокой численности миксотрофных инфузорий, имеющих в микроаэробных глубоких слоях озера преимущество над фитопланктоном, цвет воды кажется зеленым, благодаря пигменту симбиотических водорослей.

В исследованный нами период 2019 г. основными видами, формирующими основу максимума численности в оз. Моховое, были *P. tenue* и *P. plancticola*.

Pseudoblepharisma tenue var. *viride*. Впервые указывается для водоемов ВКГПБЗ. Ранее мы находили его лишь в прибрежной зоне (не в пелагиали) полигуменных озер Самарской области. Считается редким видом, видимо, из-за довольно нечастого обследования подобных местообитаний. В оз. Моховое, напротив, его можно считать массовым, являющимся первым доминантом. Он встречался практически во всей толще в пелагиали (у поверхности – единицы) с максимумом на глубине 1,3 м ($N = 397320$ экз./л, 53% общей численности). Огромная плотность инфузорий с зоохлореллами обуславливает зеленый цвет воды; невооруженным глазом неопытный исследователь может перепутать их с эвгленами (рис. 2 (I)). Размеры $113-139 \times 32-42$ мкм. Регистрировали еще и мелкую форму (или это молодые особи по-

сле деления?): 38×28 мкм. Их доля составляла около 10% численности популяции вида.

Pelagothrix plancticola. Массовый вид в озере. Размер особи $71-102 \times 43-60$ мкм, размер более мелкой формы, составляющей в среднем 2% (максимум 10%) от численности вида, – всего 35×33 мкм. Размер макронуклеуса – 25×23 мкм. Образовывал 2 пика численности: на 1,3 м ($N = 198720$ экз./л, 26% общей численности) и на 1,6 м ($N = 163920$ экз./л, 83% общей численности). Вид, характерный для стратифицированных и меромиктических водоемов. В ВКЗ отмечался в 2006-2007 гг. в озерах Линево, Илантово, Долгое и Карасиха. Помимо данного вида, другие виды рода *Holophrya* тоже содержат зоохлореллы, что затрудняет их точное определение. Аналогично этому, существуют близкие виды и из других таксонов, тоже трудно отличимые, из-за присутствия зоохлорелл: например, облигатный *Didinium chlorelligerum* и *D. nasutum* (O.F.Muller, 1773), который, вероятно, тоже иногда содержит симбионты.

Следует отметить, что симбионты в разных видах инфузорий различаются по размеру: у таких видов как, *Frontonia* sp., *Spathidium* sp. 1, *D. chlorelligerum* диаметр симбиотических зеленых водорослей в среднем около 3 мкм и чуть больше; у *P. plancticola*, *Didinium* cf. *nasutum*, *P. tenue* var. *viridis* – приблизительно 4-5 мкм; а у *D. butschlii*, *E. diadaleos*, *P. cf. chlorelligerum* симбионты крупнее – в среднем около 5-6 мкм. Это косвенное свидетельство различной видовой принадлежности самих симбионтов. Совсем недавно было установлено, что симбионт из *P. tenue* относится к роду *Meyerella* [21].

В слоях водной толщи ниже 1,5 м, наряду с перечисленными миксотрофами, развивается сапропелевая фауна: *Metopus* sp. и несколько видов *Caenomorpha* (таблица), *Apsiktrata gracilis* (Penard, 1922), *L. cf. sapropelica* (рис. 5). Однако она представлена в незначительном количестве, что свидетельствует скорее о незначительных количествах сероводорода и сульфидов или об их отсутствии.

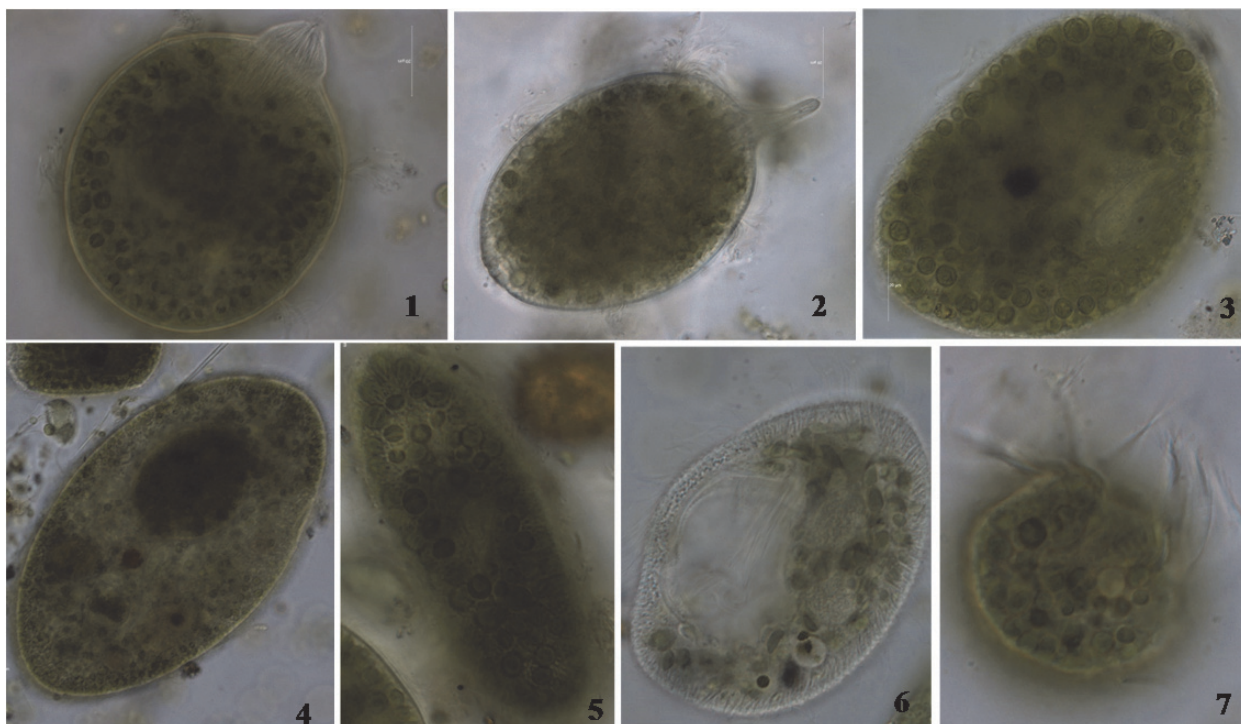


Рис. 4. Представители миксотрофных инфузорий в толще воды оз. Моховое в июле 2019 г.:
 1 – *Didinium* cf. *nasutum* (O.F.Muller, 1773), 100 x 81 мкм; 2 – *D. chlorelligerum* Kahl, 1935, 104 x 60 мкм;
 3 – *Disematostoma butschlii* Lauteborn, 1894, 106 x 79 мкм; 4 – *Frontonia* sp., 221 x 134 мкм;
 5 – *Paramecium* cf. *chlorelligerum* Kahl, 1935, 102 x 41 мкм; 6 – *Histiobalantium natans* Clap. & Lachm., 1858;
 7 – *Pelagohalteria viridis* (Fromentel, 1876), 32 x 33 мкм и др.

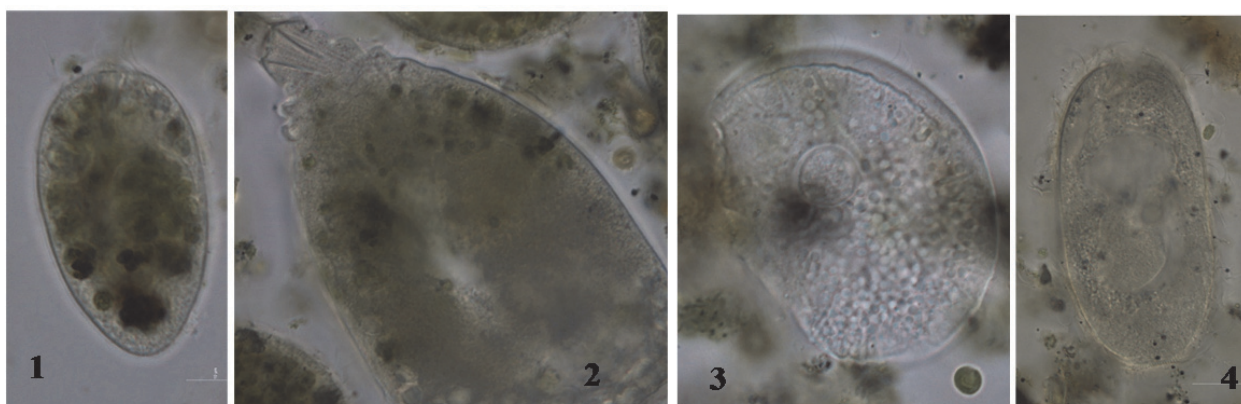


Рис. 5. Анаэробные виды оз. Моховое:
 1 – *Apsiktrata gracilis* (Penard, 1922), 51 x 29 мкм;
 2 – *Lacrymaria* cf. *sapropelica*, 134 x 74 мкм;
 3 – *Microthorax* cf. *elegans* Kahl, 1931, 58 x 45 мкм;
 4 – *Trichospira inversa* (Claparède & Lachmann, 1858), 99 x 47 мкм

Некоторые интересные редкие виды и новые находки:

Lacrymaria cf. *sapropelica* (рис. 5(2)). Размер в сокращенном состоянии 114-134 x 54-74, Макронуклеус – 32 x 20 мкм. В задней части клетки – светопреломляющие гранулы. Единичные находки на глубине 1,7 м и 2,2 м. Впервые указывается для водоемов ВКЗ.

Trichospira inversa (рис. 5(4)). Размеры 80-99 x 39-47 мкм. Размер макронуклеуса – 31x20; диаметр микронуклеуса 11-12 мкм. Зарегистриро-

ван в анаэробной зоне ниже 1,6 м. Впервые указывается для водоемов ВКЗ.

Spathidium sp. 1 (рис. 6(1-2)). Вид похож на *Spathidium chlorelligerum* Kahl, 1930. Размер особи 202 x 47 мкм. Макронуклеус лентовидный. Содержит симбиотические водоросли, диаметр зоохлорелл 2,9-4,6 мкм, в среднем – 3,6 мкм). Встречен единично на глубине 1,2 м. Впервые указывается для водоемов ВКЗ.

Spathidium sp. 2 (рис. 6(3-5)). Возможно, это *Spathidium repandum* Penard, 1922, но вполне

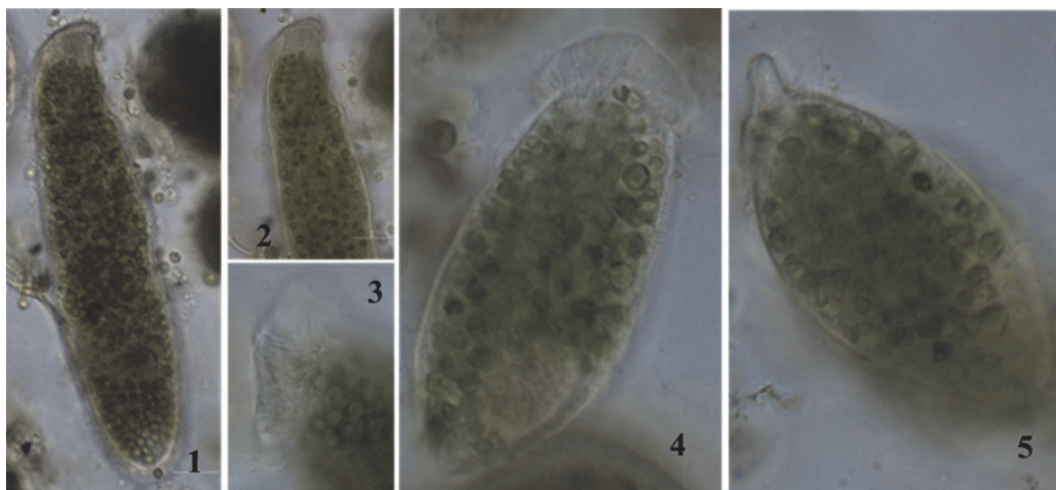


Рис. 6. Инфузории сем. Spathidiidae:
1, 2 – *Spathidium* sp. 1; 3-5 – *Spathidium* sp. 2

вероятно, может относиться и к другому роду – *Spathidiella hyalina* Kahl, 1926, *S. rigida* Kahl, 1930, поскольку Ма овальный, а у спатиидид он, как правило, более сложной формы. Размер 64-73 x 30 x 29 мкм. Точный диагноз возможен лишь после гистохимического окрашивания аргирома. Зоохлореллы более яркого цвета, чем у других симбионтсодержащих инфузорий из пробы. Обнаружен на глубине 1,5 м (N=240 экз./л). Впервые указывается для водоемов ВКГПБЗ.

В целом, уникальность комплекса видов исследованного болотного озера заключается в присутствии огромного количества миксотрофов как в абсолютных, так и в относительных значениях, а также в том, что они, подобно «бактериальной пластине», формируют очень узкий и высокий максимум численности. Эти новые данные очень полезны для понимания биологии редких видов, например, основного доминанта сообщества инфузорий озера в данный период – *P. tenue*. В области максимума данный вид формировал 53-75% численности. Первое обнаружение данного вида с зоохлореллами указывалось для прудов Германии [12]. Относительно недавно появилась сведения о находке похожего вида в Северной Америке во Флориде [22]. Последний был более чем в 2 раза крупнее, зоохлореллы упакованы более плотно. Кроме того, флоридская разновидность способна образовывать чехол (или «лорику»). Последовательность гена 18S рРНК была аналогична и близка к тем, о которых сообщалось в литературе для данного рода и для рода *Spirostomum*. Интересно, что в популяции *P. tenue* из оз. Моховое (ВКГПБЗ) и из Флориды не встречались виды с розовой окраской, указывающей на присутствие пурпурных бактерий, в отличие от популяции пурпурно-зеленых инфузорий, обитающих в сфагновых прудах вересковой пустоши (Германия), «горячей точке» микробного разнообразия [22] и популяции из оз. Журавлиное, которое относится к группе редких ги-

дробноценозов Самарской области – верховых болот на южной границе их распространения [23, 24]. За исключением *P. tenue*, пока не встречались виды, содержащие одновременно и зеленые водоросли, и пурпурные бактерии. Такой «трехсторонний консорциум» физиологически сложен [25], поскольку эти две группы симбионтов обычно занимают разные ниши в природе. Зеленые водоросли (Chlorophyta) встречаются в аэробной среде, в то время как пурпурные бактерии (семейства Chromatiaceae), в основном, в анаэробной. Более того, из-за различных фотосинтетических пигментов, зеленые водоросли и пурпурные бактерии поглощают различные диапазоны волн. Таким образом, «пурпурно-зеленая инфузория» представляет собой экстраординарный пример того, как симбиоз объединяет разрозненные «физиологии» и позволяет возникающим консорциумам создавать новые экологические ниши [25].

В целом, любая интересная находка видов в редких, охраняемых местах обитания расширяет представление о распространении данного вида, вносит вклад в понимание механизма функционирования симбиотических систем, что в свою очередь способствует расширению представления о многообразии жизни. А, заботясь о сохранении разнообразия инфузорий, под защиту и охрану попадают и др. симбиотические протисты и бактерии. Однако в последнее время довольно сильно настораживает «продолжающееся снижение исследовательского потенциала по инвентаризации и классификации разнообразия протистов» [2]. С применением молекулярно-генетических методов изучения протистов, чаще стали проводиться «очаговые метагеномные» исследования протистов, «таксономические инвентаризации», обнаруживающие «высокое молекулярное разнообразие». И это оправдано, поскольку «метагеномная характеристика даже формально

описанных таксонов инфузорий служит ориентиром для оценки региональных, континентальных и глобальных моделей микробного биоразнообразия» [2]. Однако при этом чаще стали игнорироваться морфологические исследования, в результате чего вид остается до конца не определенным и не названным. К сожалению, широко распространенной ошибкой биологов является игнорирование и «очернение» так называемых описательных наук, которые предоставляют теоретикам и экспериментаторам первичные знания для дальнейших обобщений [26]. Нельзя забывать, что представляют собой интерес и симбионты инфузорий, поскольку с большой долей уверенности можно утверждать, что и в их составе возможны новые находки.

В заключение, можно утверждать, что, исследуя сообщества инфузорий редких местообитаний мы способствуем выявлению потенциального, скрытого разнообразия. А оно включает в себя «невидимые невооруженным глазом виды, виды, находящиеся в состоянии покоя, либо присутствующие в таком малом количестве, что они остаются незамеченными» [27]. Поэтому необходимо увеличивать усилия по отбору проб в малоисследованных пресноводных водоёмах с целью выявления данного скрытого разнообразия. О необходимости включать мелкие водные организмы в исследования биоразнообразия и разрабатывать принципы по управлению «загадочным или скрытым» разнообразием пишут многие исследователи [27]. К счастью, исследованное нами оз. Моховое уже имеет охранный статус в силу нахождения на территории заповедника. Однако в глобальном масштабе все еще остается проблема в исследовании биоразнообразия инфузорий, связанная с меньшей привлекательностью таких водоемов (в частности не находящихся под государственной охраной) для лимнологов и отсутствием хорошо подготовленных специалистов по систематике инфузорий, способных грамотно сочетать морфологические и молекулярно-генетические методы исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность администрации ВКГПБЗ в лице директора А. В. Павлова за предоставленную возможность работать на территории заповедника, заместителя директора по управлению, экологическому образованию и туризму Е. Н. Унковской и всем сотрудникам и волонтерам – участникам экспедиции в июле 2019 г. за плодотворный комплексный отбор проб. Автор также признательна М. В. Уманской и М. Ю. Горбунову за предоставленные данные по гидрофизическим параметрам среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hausmann K., Hülsmann N., Radek R. Protistology. Schweizerbart, Berlin Stuttgart, 2003. 379 p.
2. Conservation of protists: the Krauthügel pond in Austria / F.P. Cotterill, H. Augustin, R. Medicus, W. Foissner // Diversity. 2013. Т. 5. №. 2. P. 374-392. doi:10.3390/d5020374.
3. Stoeck T., Bruemmer F., Foissner W. Evidence for local ciliate endemism in an alpine anoxic lake // Microbial Ecology. 2007. V. 54. P. 478-486.
4. Foissner W. Biogeography and dispersal of microorganisms: a review emphasizing protists // Acta Protozool., 2006. 45. P. 111-136.
5. Foissner W. Dispersal and biogeography of protists: recent advances // Japanese Journal of Protozoology. 2007. V. 40. №. 1. P. 1-16.
6. International Code of Zoological Nomenclature. International Trust for Zoological Nomenclature. London., UK. 1999. 306 p.
7. Cotterill F.P., Al-Rasheid K., Foissner W. Conservation of protists: Is it needed at all? // Biodivers. Conserv. 2008. 17. P. 427-443. DOI: 10.1007/s10531-007-9261-8.
8. Foissner W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators and guide to the literature // Prog. Protistol. 1987. V. 2. P. 69-212.
9. Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems Band I-IV / W. Foissner, H. Berger H. Blatterer, F. Kohmann // Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft: Deggendorf, Germany, 1995. 540 p.
10. Lange-Bertalot H. A first ecological evaluation of the diatom flora in Central Europe. Species diversity, selective human interactions and the need of habitat protection // Lauterbornia. 1997. 31. P. 117-123.
11. Townsend C.R., Harper J.L., Begon M.E. Ökologie. Springer: Berlin, Germany, 2003. 647 p.
12. Kahl A. Neue und wenig bekannte Formen der holotrichen und heterotrichen Ciliaten // Arch. Protistenk. 1926. 55. P. 197-438.
13. Foissner W., Wenzel F. Life and legacy of an outstanding ciliate taxonomist, Alfred Kahl (1877-1946), including a facsimile of his forgotten monograph from 1943 // Acta. Protozool. 2004. 43 (Suppl.). P. 3-69.
14. Endemic ciliates (Protozoa, Ciliophora) from tank bromeliads (Bromeliaceae): a combined morphological, molecular, and ecological study / W. Foissner, M. Strüder-Kypke, G.W. van der Staay, S.Y. Moon-van der Staay, J. H. Hackstein // European journal of protistology. 2003. 39(4). P. 365-372.
15. Kreuz M, Foissner W. The Sphagnum ponds of Simmelried in Germany: a biodiversity hot-spot for microscopic organisms // Protozool Monogr. 2006. V. 3. 267 p.
16. Griffith G.W. Do we need a global strategy for microbial conservation? // Trends in Ecology and Evolution. 2012. V. 27. №. 1. P. 1.
17. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений, лишайников и грибов [под ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберга и проф. С.В. Саксонова]. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. – С. 326-334.
18. Унковская, У.Н. Гидрохимический режим водоемов и водотоков Раифского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны / У.Н. Унковская, О.Ю. Тарасов // Труды Волжско-Кам-

- ского государственного природного биосферного заповедника. – Казань: Фолиант. – 2016. – С. 9-40.
19. Труды Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. – Казань: Фолиант, 2016. – 324 с.
 20. Быкова, С.В. Свободноживущие инфузории Волжско-Камского заповедника / С.В. Быкова, В.В. Жариков // Труды Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. – Казань: Фолиант, 2016. – С. 72-90.
 21. Species delimitation polyphasic approach reveals *Meyerella similis* sp. nov.: a new species of “small green balls” within the Chlorella-clade (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) / E.S. Krivina, O.N. Boldina, Y.S. Bukin, S.V. Bykova, A.D. Temraleeva // *Organisms Diversity & Evolution*. 2023. V. 23. №. 1. P. 25-40.
 22. Hines H.N., McCarthy P.J., Esteban G.F. A Case Building Ciliate in the Genus *Pseudoblepharisma* Found in Subtropical Fresh Water // *Diversity*. 2022. V. 14. №. 3. P. 174. doi.org/10.3390/d14030174
 23. Голубая книга Самарской области: редкие и охраняемые гидробиоценозы [под редакцией Г.С. Розенберга и С.В. Саксонова]. – Самара: СамНЦ РАН, 2007. – 200 с.
 24. Быкова, С.В. Свободноживущие инфузории некоторых водоемов особо охраняемых природных территорий Самарской области / С.В. Быкова // Научные труды Государственного природного заповедника «Присурский». – 2015. – Т. 30. – №. 1. – С. 58-63.
 25. Muñoz-Gómez S.A., Kreutz M., Hess S. A microbial eukaryote with a unique combination of purple bacteria and green algae as endosymbionts // *Science Advances*. 2021. T. 7. №. 24. C. eabg4102.
 26. Cotterill F.P.D., Foissner W. A pervasive denigration of natural history misconstrues how biodiversity inventories and taxonomy underpin scientific knowledge // *Biodiversity and Conservation*. 2010. T. 19. P. 291-303. doi:10.1007/s10531-009-9721-4.
 27. Esteban G.F., Finlay B.J. Conservation work is incomplete without cryptic biodiversity // *Nature*. 2010. T. 463. №. 7279. C. 293-293.

SPECIES RICHNESS OF CILIATES FROM A SMALL SWAMPY LAKE: COMMON PROBLEMS OF CONSERVATION AND PROTECTION OF THEIR BIODIVERSITY

© 2023 S.V. Bykova

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Institute of Ecology of Volga River Basin RAS,
Togliatti, Russia

Annotation. This article presents the results of the first study of the species composition of ciliates from the polyhumous lake Mohovoye, located in the Volga-Kama State Natural Biosphere Reserve; discusses the general issues of the need to organize the conservation and protection of protozoa and their habitats; provides a brief overview of the experience accumulated in the world on this issue. The aim of the work was to identify new and rare species of ciliates, to describe their autecological and distributional features as a descriptive basis for further identification of potential diversity. 53 species have been recorded in the deep-water part of the lake, while there are species that have not even been identified to the genus level. *Lacrymaria* cf. *sapropelica* Kahl, 1927, *Trichospira inversa* (Claparède & Lachmann, 1858), two species from the family Spathidiidae, as well as the main dominant *Pseudoblepharisma tenue* var. *viride* (Kahl, 1926) have not previously been recorded in this region. Their detection is more likely due to the low level of study of such undisturbed habitats than to the endemism of these species. The uniqueness of the lake and the whole complex of ciliates species lies in the significant magnitude of the maximum abundance – 753.7 million cells/m³; 53-75% of the abundance was formed by *P. tenue* var. *viride* (Kahl, 1926), which is a rare species in other waterbodies. In general, mainly mixotrophic ciliates form a very narrow and high, like a “bacterial plate” abundance maximum. The problem of the conservation of the ciliates biodiversity lies in the underestimation of their importance, due to their inconspicuousness and cosmopolitanism; the low attractiveness of small reservoirs as “pockets of diversity” for limnologists and the lack of well-trained specialists in the systematics of ciliates who can be able to competently combine morphological and molecular genetic research methods.

Keywords: ciliates, mixotrophs, biodiversity, swampy lake, protozoan protection, rare species

DOI: 10.37313/1990-5378-2023-25-5-11-20

EDN: VOFHOA

REFERENCES

1. Hausmann K., Hülsmann N., Radek R. Protistology. Schweizerbart, Berlin Stuttgart, 2003. 379 p.
2. Conservation of protists: the Krauthügel pond in Austria / F.P. Cotterill, H. Augustin, R. Medicus, W. Foissner // *Diversity*. 2013. T. 5. №. 2. P. 374-392. doi:10.3390/d5020374.
3. Stoeck T., Bruemmer F., Foissner W. Evidence for local ciliate endemism in an alpine anoxic lake // *Microbial Ecology*. 2007. V. 54. P. 478-486.
4. Foissner W. Biogeography and dispersal of microorganisms: a review emphasizing protists // *Acta Protozool.*, 2006. 45. P. 111-136.
5. Foissner W. Dispersal and biogeography of protists: recent advances // *Japanese Journal of Protozoology*.

2007. V. 40. №. 1. P. 1-16.
6. International Code of Zoological Nomenclature. International Trust for Zoological Nomenclature. London., UK. 1999. 306 p.
 7. Cotterill F.P., Al-Rasheid K., Foissner W. Conservation of protists: Is it needed at all? // Biodivers. Conserv. 2008. 17. P. 427-443. DOI: 10.1007/s10531-007-9261-8.
 8. Foissner W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators and guide to the literature // Prog. Protistol. 1987. V. 2. P. 69-212.
 9. Taxonomische und Ökologische Revision der Ciliaten des Saprobiensystems Band I-IV / W. Foissner, H. Berger H. Blatterer, F. Kohmann // Bayerisches Landesamtes für Wasserwirtschaft: Deggendorf, Germany, 1995. 540 p.
 10. Lange-Bertalot H. A first ecological evaluation of the diatom flora in Central Europe. Species diversity, selective human interactions and the need of habitat protection // Lauterbornia. 1997. 31. P. 117-123.
 11. Townsend C.R., Harper J.L., Begon M.E. Ökologie. Springer: Berlin, Germany, 2003. 647 p.
 12. Kahl A. Neue und wenig bekannte Formen der holotrichen und heterotrichen Ciliaten // Arch. Protistenk. 1926. 55. P. 197-438.
 13. Foissner W., Wenzel F. Life and legacy of an outstanding ciliate taxonomist, Alfred Kahl (1877-1946), including a facsimile of his forgotten monograph from 1943 // Acta. Protozool. 2004. 43 (Suppl.). P. 3-69.
 14. Endemic ciliates (Protozoa, Ciliophora) from tank bromeliads (Bromeliaceae): a combined morphological, molecular, and ecological study / W. Foissner, M. Strüder-Kypke, G.W. van der Staay, S.Y. Moon-van der Staay, J. H. Hackstein // European journal of protistology. 2003. 39(4). P. 365-372.
 15. Kreutz M, Foissner W. The Sphagnum ponds of Simmelried in Germany: a biodiversity hot-spot for microscopic organisms // Protozool Monogr. 2006. V. 3. 267 p.
 16. Griffith G.W. Do we need a global strategy for microbial conservation? // Trends in Ecology and Evolution. 2012. V. 27. №. 1. P. 1.
 17. Krasnaya kniga Samarskoj oblasti. T. 1. Redkie vidy rastenij, lishajnikov i gribov [pod red. chl.-korr. RAN G.S. Rozenberga i prof. S.V. Saksonova]. – Tol'yatti: IEVB RAN, 2007. – S. 326-334.
 18. Unkovskaya, U.N. Gidrohimicheskij rezhim vodoemov i vodotokov Raifskogo uchastka Volzhsko-Kamskogo zapovednika i ego ohrannoj zony / U.N. Unkovskaya, O.Yu. Tarasov // Trudy Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. – Kazan': Foliant. – 2016. – S. 9-40.
 19. Trudy Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. – Kazan': Foliant, 2016. – 324 s.
 20. Bykova, S.V. Svobodnozhivushchie infuzorii Volzhsko-Kamskogo zapovednika / S.V. Bykova, V.V. Zharikov // Trudy Volzhsko-Kamskogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. – Kazan': Foliant, 2016. – S. 72-90.
 21. Species delimitation polyphasic approach reveals *Meyerella similis* sp. nov.: a new species of “small green balls” within the Chlorella-clade (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) / E.S. Krivina, O.N. Boldina, Y.S. Bukin, S.V. Bykova, A.D. Temraleeva // Organisms Diversity & Evolution. 2023. V. 23. №. 1. P. 25-40.
 22. Hines H.N., McCarthy P.J., Esteban G.F. A Case Building Ciliate in the Genus *Pseudoblepharisma* Found in Subtropical Fresh Water // Diversity. 2022. V. 14. №. 3. P. 174. doi.org/10.3390/d14030174
 23. Голубая книга Самарской области: редкие и охраняемые гидробиоценозы [под редакцией Г.С. Розенберга и С.В. Саксонова]. – Самара: СамНИЦ РАН, 2007. – 200 с.
 24. Быкова, С.В. Свободноживущие инфузории некоторых водоемов особо охраняемых природных территорий Самарской области / С.В. Быкова // Научные труды Государственного природного заповедника «Присурский». – 2015. – Т. 30. – №. 1. – С. 58-63.
 25. Muñoz-Gómez S.A., Kreutz M., Hess S. A microbial eukaryote with a unique combination of purple bacteria and green algae as endosymbionts // Science Advances. 2021. T. 7. №. 24. C. eabg4102.
 26. Cotterill F.P.D., Foissner W. A pervasive denigration of natural history misconstrues how biodiversity inventories and taxonomy underpin scientific knowledge // Biodiversity and Conservation. 2010. T. 19. P. 291-303. doi:10.1007/s10531-009-9721-4.
 27. Esteban G.F., Finlay B.J. Conservation work is incomplete without cryptic biodiversity // Nature. 2010. T. 463. №. 7279. C. 293-293.