

## Трофические взаимоотношения фито - и зоопланктона в карстовых озерах

© 2012. О. Ю. Деревенская, к.б.н., с.н.с., О. В. Палагушкина, к.б.н., с.н.с.,  
Н. М. Мингазова, д.б.н., зав. лабораторией,  
Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
e-mail: ODerevenskaya@mail.ru, opalagushkina@mail.ru, nmingas@mail.ru

Приведена характеристика фито- и зоопланктона двух карстовых озёр. Выделены группы фитопланктона в зависимости от размеров клеток и группы зоопланктона по типу питания и размерам потребляемого корма. Совместно проанализированы изменения количественных показателей фито- и зоопланктона на протяжении вегетационного периода. Выявлены зависимости между биомассами различных групп фитопланктона и зоопланктона. Установлено, что наиболее потребляемы зоопланктоном водоросли с размерами клеток менее 30 мкм.

Characteristic of phyto- and zooplankton in two karst lakes is present. The sizes groups of phytoplankton and feeding types groups of zooplankton were distinguished. The both changes of quantitative indicators of phyto- and zooplankton during vegetative season were analyzed. The dependences between different groups of phyto- and zooplankton biomasses were shown. It is stated that the size of the algae cells consumed by zooplankton is less than 30 microns.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, взаимоотношения,  
пищевые цепи, карстовые озера

Keywords: phytoplankton, zooplankton, interrelation, food chains, karst lakes

### Введение

Организмы фитопланктона образуют в водных экосистемах базовые звенья трофических цепей. Важнейшими потребителями водорослей являются планктонные коловратки и ракообразные. Структура популяций планктонных организмов, а также их количественное развитие обуславливаются совместным действием большого количества факторов, наиболее существенными из которых являются обеспеченность биогенными элементами и «пресс» хищников. Продуктивность водных экосистем во многом зависит от того, насколько полно органическое вещество фитопланктона, микрофлоры и детрита используется организмами-гетеротрофами. В процессе питания гидробионты, с одной стороны, снижают количество водорослей, но, с другой стороны, косвенно способствуют их развитию, минерализуя органическое вещество пищи и выделяя в среду биогенные элементы [1], а также провоцируя компенсирующий рост числа несъедобных видов фитопланктона. Тем самым, зоопланктонные фильтраторы могут существенно изменить структуру сообществ фитопланктона [2–5]. Анализ многолетних изменений планктонных сообществ на оз. Красном (Карельский перешеек, Россия) выявил также достоверную связь биомассы фильтраторов с первич-

ной продукцией. Величины соотношений биомасс и продукций фито- и зоопланктона снижались в период наибольшего эвтрофирования озера, что связано с одной стороны с увеличением биомассы фитопланктона, а с другой – с преобладанием в зоопланктоне мелкой фракции [6]. Интенсивность выедания, а, соответственно, и сила воздействия на фитопланктон, определяются избирательностью и скоростью потребления пищи гидробионтами, зависящими от их численности и биомассы [1].

Поскольку реакция планктонных сообществ наиболее трудно предсказуема и во многом зависит от сочетания условий окружающей среды, остаётся важной и недостаточно изученной тема взаимоотношений фито-и зоопланктона в естественных водоёмах различных трофических типов. В связи с этим были проведены исследования взаимоотношений фито- и зоопланктона на двух мезотрофных карстовых озёрах Среднего Поволжья Большой и Малый Яльчик.

### Материал и методы исследования

Карстовые озёра Большой и Малый Яльчик располагаются в бассейне реки Илеть (правый приток р. Волга), имеют лопастную форму, сложное строение дна и асимметричные берега, соединены между собой протокой.

Площади озёр Большой и Малый Яльчик составляют 128,5 га и 53,6 га, максимальные глубины – 28,8 м и 32 м, средние глубины – 7,9 м и 8,7 м, объёмы 10439 тыс. м<sup>3</sup> и 4469 тыс. м<sup>3</sup> соответственно. Прозрачность воды, по средним данным за вегетационные периоды 1997–1998 гг., составляла 2,5 м и 1,6 м в озёрах Большой и Малый Яльчик соответственно. Тип воды в озёрах – гидрокарбонатно-кальциевый, сумма главных ионов – 120-250 мг/л, трофический статус, определённый по биомассе фитопланктона [7], мезотрофный.

Пробы фито- и зоопланктона отбирали в 1997 г. еженедельно на протяжении вегетационного периода (с мая по октябрь), в 1998 г. – ежемесячно, с 1–5 станций, расположенных в пелагической части озёр. Количественные осадочные пробы фитопланктона и зоопланктона отбирали батометром Молчанова ГР-18 через каждые 2 м глубины в объёме 0,5–1,5 л с горизонта, с последующим фиксированием, отстаиванием и концентрированием [8]. Пробы фитопланктона просчитывали в камере Нажота объёмом 0,02 мл с использованием микроскопа МБИ – 3. Биомасса фитопланктона определялась общепринятым расчётным способом по объёмам массовых видов водорослей для каждого озера [8, 9], принимая, что 10<sup>9</sup> мкм<sup>3</sup> соответствует 1 мг сырой биомассы. При определении видового состава водорослей использовали отечественные и зарубежные определители [10 – 22]. «Сетные» пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди (размер ячеек – 100 мкм) по горизонтам (эпилимнион, металимнион, гиполимнион). Ракообразных и крупных коловраток учитывали в пробах, отобранных сетью Джеди, мелких коловраток и науплиальные стадии циклопов – в осадочных пробах. Обработка проб, расчёт численности, биомассы и продукции проведены в соответствии с общепринятыми гидробиологическими методиками [23].

Спектры питания организмов зоопланктона и размеры потребляемых ими водорослей устанавливали по литературным данным [1, 3, 24, 25]. В связи с этим, фитопланктон исследованных озёр был разделён на три размерные группы: < 30 мкм, 30–70 мкм, > 70 мкм. Зоопланктон, в зависимости от типа питания и размерных характеристик потребляемого корма, был разделён на 5 групп. К первой группе были отнесены планктонные коловратки (для р. *Asplanchna* учитывали половину от биомассы популяции), ко второй – тонкие фильтраторы (*Cladocera*), к третьей – грубые фильтраторы (*Calanoida*, науплиальные и копеподит-

ные стадии *Copepoda*), к четвертой – факультативные хищники (сем. *Cyclopoida*), к пятой – облигатные хищники (*Leptodora kindtii* (Focke), *Polyphemus pediculus* (Linne) и половина от биомассы популяции коловраток р. *Asplanchna*).

Связь между биомассами групп фито- и зоопланктона исследовали методом корреляционного анализа с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена. Расчёты выполнены в пакете статистических программ «Statistica».

### Результаты исследований и их обсуждение

В видовом составе фитопланктона оз. Большой (далее Б.) Яльчик было определено 196 таксонов водорослей рангом ниже рода из восьми отделов, в оз. Малый (далее М.) Яльчик – 227 таксонов из семи отделов. По количеству видов преобладали зелёные и диатомовые водоросли, число видов в пробах колебалось от 29 до 66. Озёрам свойственен общий перечень отделов, дающих наибольшее количество видов в весенний период – это золотистые, эвгленовые, зелёные и диатомовые. Летом и осенью в оз. Б. Яльчик отмечается большее число видов зелёных, сине-зелёных и диатомовых водорослей. В озере М. Яльчик этот спектр расширяется с включением водорослей из отделов золотистые и эвгленовые.

Средневзвешенные значения численности фитопланктона в оз. Б. Яльчик составляли 1019,9-1959,5 т. кл./л, биомассы – 0,265-0,269 мг/л. Аналогичные показатели в оз. М. Яльчик были выше и колебались от 3332,7 до 5037 тыс. кл./л и от 0,268 до 0,402 мг/л соответственно.

В оз. Б. Яльчик численность фитопланктона обычно достигала пиковых значений в начале сентября в связи с массовым развитием сине-зелёных (до 95% от общего значения), реже – зелёных водорослей. Доминантами из сине-зелёных являлись *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs (12,5 – 50,4%), *Oscillatoria splendida* Grev. (24,6%), *Lyngbya limnetica* Lemm. (11,2%), из зелёных – *Coenochloris fottii* (Hind) Tzar. (15,8%).

Наибольшая средневзвешенная биомасса фитопланктона наблюдалась либо в июле, либо в первой половине сентября (рис. 1) и формировалась динофитовыми (около 58% от общей биомассы) с доминантами *Peridinium cinctum* (O.F.M.) Ehr. (до 42%), *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh. (17,3 – 35,2%), сине-зелёной *O. splendida* (11,5%), зелёными

*C. fottii* (24%), *Phacotus coccifer* Korsch. (19%), *Cosmarium monilliforme* (Terp.) Ralfs (19,6%).

В оз. М. Яльчик пики численности отмечались в конце мая и в июле. Весной численность формировалась золотистыми водорослями с доминантом *Chrysococcus rufescens* Klebs (до 70%) и диатомовыми *Cyclotella radiosа* (Grun.) Lemm. (17%), *Stephanodiscus minutulus* (K tz.) Cleve et Moller (13%). Летний пик численности был связан с массовым развитием сине-зелёных *A. flos-aquae* (57%), *O. splendida* (20%), *O. agardhii* Gom. (14,7%). Пики биомассы приходились либо на конец мая с доминированием диатомовых *S. minutulus* (53%), *C. radiosа* (16%), либо на начало сентября (рис. 2) с доминированием динофитовой *C.hirundinella* (60%) и диатомовой *Fragilaria crotonensis* Kitt. (10%).

В зоопланктоне озер Б.Яльчик и М.Яльчик было обнаружено 74 и 64 вида соответственно. Коэффициент сходства со-

става зоопланктона двух озёр составлял 90%. По численности доминировали от 6 до 11 видов: *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Asplanchna priodonta* Gosse, *Keratella cochlearis* (Gosse), *K. quadrata* (Muller), *Filinia longiseta* (Ehrenberg), *Polyarthra luminosa* Kutikova, *Bosmina longirostris* (O.F.Muller), *Daphnia cristata* Sars, *D. cucullata* Sars, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg). По биомассе обычно доминировали *E. graciloides*, *D. cucullata*, *A. priodonta*, *B.longirostris*, *Diaphanosoma brahyurum* (Lieven). Средняя за вегетационный период численность зоопланктона в оз. Б. Яльчик составляла 500-700 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 1,58-1,76 г/м<sup>3</sup>. В оз. М. Яльчик средняя за вегетационный период численность зоопланктона была ниже – около 380 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 0,82-0,93 и г/м<sup>3</sup>. Вертикально зоопланктон распределен неравномерно. Наибольшие значения количественных показателей отмечались в эпилимнионе или металимнионе.

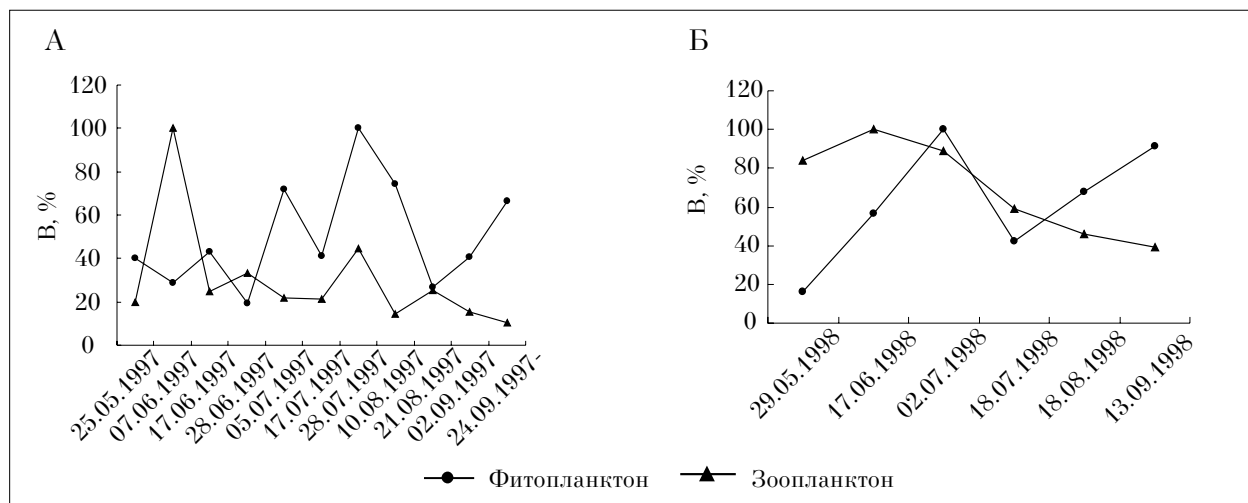


Рис. 1. Динамика биомассы фито- и зоопланктона в оз. Б. Яльчик в 1997 г. (А) и в 1998 г. (Б).

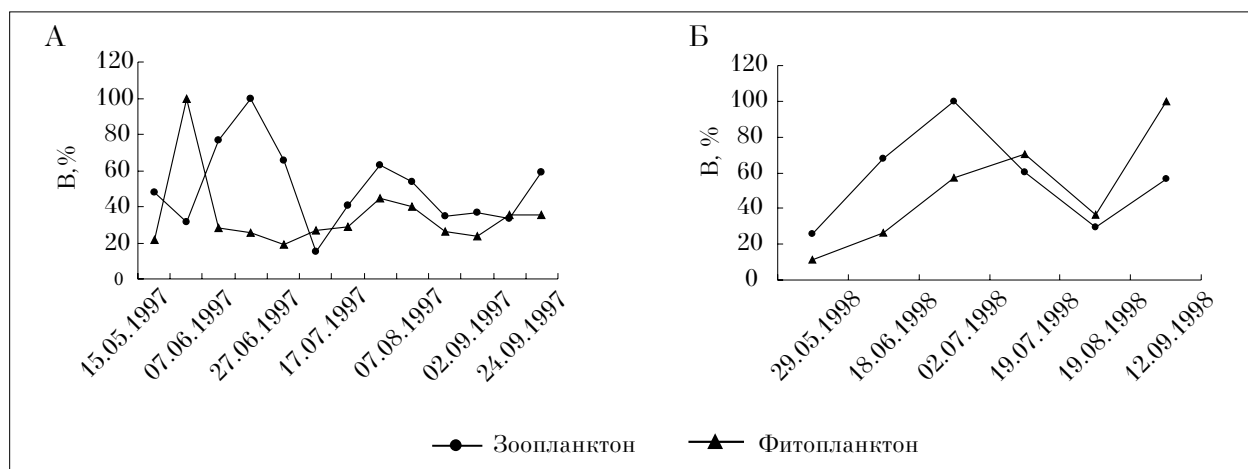


Рис 2. Динамика биомассы фито- и зоопланктона оз. М.Яльчик в 1997 г (А) и в 1998 г. (Б)

Таблица 1

Значение коэффициентов корреляции Спирмена между биомассой фитопланктона 1-3 групп и трофических групп зоопланктона в оз. Б. Яльчик

Год	Группы зоопланктона	Группы фитопланктона, мкм		
		< 30	от 30 до 70	> 70
1997	Металимнион			
	Cladocera	0,49***	0,51***	0,74*
	Гиполимнион			
1998	Cladocera	-0,86*	-	-
	Эпилимнион			
	Rotatoria	0,886*	0,771**	-
	Металимнион			
1998	Cladocera	-	-	-0,826*
	Гиполимнион			
	Гф	-	-0,943*	-0,829*

Примечание: \* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,1$ , \*\*\* $P < 0,15$ , Гф – грубые фильтраторы.

Таблица 2

Значение коэффициентов корреляции Спирмена между биомассой фитопланктона 1-3 групп и трофических групп зоопланктона в оз. М. Яльчик.

Год	Группы зоопланктона	Группы фитопланктона, мкм		
		< 30	от 30 до 70	> 70
1997	Эпилимнион			
	Rotatoria	- 0,55*	-	-
	Металимнион			
	Rotatoria	0,46***	0,51**	0,61*
	Фх	-	0,71*	-
	Гиполимнион			
	Cladocera	0,54**	-	-
1998	Гф	0,85*	-	-
	Фх	0,69*	-	-
	Эпилимнион			
	Cladocera	0,88*	-	-
	Фх	0,77**	-	-
	Металимнион			
	Фх	-	0,69***	-
1998	Гиполимнион			
	Rotatoria	- 0,77**	-	-
	Фх	- 0,88*	-	-

Примечание: Гф – грубые фильтраторы, Фх – факультативные хищники, \* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,1$ , \*\*\* $P < 0,15$ .

В сезонной динамике численности зоопланктона оз. Б.Яльчик, также как и оз. М. Яльчик, наблюдался один пик, максимальное значение численности приходилось на первую декаду июня. Наибольшие значения биомассы зоопланктона в оз. Б.Яльчик приходились в 1997 г. также на первую декаду июня, в 1998 г. – на начало июля (рис. 1), а в оз. М. Яльчик – в 1997 г. – на вторую декаду июня, в 1998 г. – на начало июля (рис. 2).

По численности среди групп зоопланктона преобладали коловратки (85–90% от общей численности), по биомассе – *Scolecopoda* (53–58% от общей биомассы). Наибольшее количество коловраток было в первой половине июня, затем их численность постепенно снижалась, увеличивалась доля *Cladocera* и грубых фильтраторов. Наибольшая доля грубых фильтраторов отмечалась в конце сентября. Доля остальных трофических групп обыч-

но не превышала нескольких процентов от численности. Послойное исследование роли отдельных групп выявило, в целом, сходную картину.

В оз. Б. Яльчик в 1997–1998 гг. по биомассе преобладали водоросли 2-ой и 3-ей размерных групп. В зоопланктоне в начале вегетационного периода преобладали грубые фильтраторы, в середине – тонкие фильтраторы (*Cladocera*), в конце вегетационного периода – представители обеих трофических групп.

В оз. М. Яльчик, в целом, на протяжении вегетационного периода преобладали водоросли первой размерной группы, лишь иногда – второй, а в конце вегетационного периода – третьей. В зоопланктоне в начале вегетационного периода преобладали грубые фильтраторы, в середине – грубые фильтраторы и *Cladocera*, а в конце – грубые фильтраторы и *Rotatoria*. В 1998 г. в фитопланктоне преобладали водоросли 1-ой и 3-ей размерных групп, а в зоопланктоне – в начале вегетационного периода коловратки и грубые фильтраторы, в середине – коловратки и ветвистоусые ракообразные, в конце – грубые фильтраторы и ветвистоусые ракообразные.

Наличие связей между биомассами групп фитопланктона и зоопланктона позволяют найти статистические методы. Корреляционный анализ Спирмена выявил положительную связь между биомассой *Cladocera* и биомассой водорослей 1-ой – 3-ей групп в оз. Б. Яльчик (в 1997 г.) и между биомассой *Rotatoria* и водорослей 1–2-ой групп (в 1998 г.) (табл. 1). Положительные значения коэффициентов корреляции рассматриваются нами как подтверждение того, что данная трофическая группа зоопланктона, скорее всего, потребляла, преимущественно, водоросли этой размерной группы.

В оз. М. Яльчик в 1997–1998 гг., водоросли 1-ой – 3-ей групп потреблялись всеми исследованными группами зоопланктона, водоросли 2-ой группы иногда потреблялись коловратками и факультативными хищниками, водоросли 3-ей размерной группы почти не потреблялись (табл. 2).

Таким образом, результаты исследований показали взаимосвязанность планктонных сообществ. Основываясь на результатах статистического анализа можно сделать вывод о том, что сообщество зоопланктона потребляет водоросли всех размерных групп. Но наиболее предпочитаемая группа – мелкие водоросли размером менее 30 мкм. Их основными потребителями в оз. Б. Яльчик являются коловратки и ракообразные – тонкие фильтрато-

ры, а в оз. М. Яльчик – коловратки, ветвистоусые ракообразные и факультативные хищники. Водоросли размером от 30 до 70 мкм и более зоопланктонном потребляются в меньшей степени и, главным образом, факультативными хищниками.

## Литература

1. Гутельмахер Б.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. М.: ВИНТИ, 1988. Т. 6. 156 с.
2. Бизина Е.В. Соотношение пресса хищников и обеспеченности ресурсами в регуляции структуры и функционирования сообществ: обзор гипотез // Журнал общей биологии. 1977. Т. 58. № 5. С. 26–45.
3. Крючкова Н.М. Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. М.: Наука, 1989. 124 с.
4. Михеева Т.М. Структура и функционирование фитопланктона при эвтрофировании вод: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Минск. 1992. 63 с.
5. Никулина В.Н. Опыт оценки влияния зоопланктона на фитопланктон олиготрофного озера // Экология. 1977. № 1. С. 55–64.
6. Трифонова И.С., Воронцова Н.К., Макарецва Е.С., Павлова О.А., Ульянова Д.С., Чеботарёв Е.Н. Влияние климатических изменений и эвтрофирования на динамику планктонных популяций мезотрофного озера СПб: НИИ химии СПбГУ, 2003. 125 с.
7. Милиус А.Ю., Кываск В.О. О количественных показателях фитопланктона как индикаторах трофности. Изучение и освоение водоёмов Прибалтики и Белоруссии. Рига. 1979. С. 132–134.
8. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоёмов. М.: Наука, 1975. 240 с.
9. Кузьмин Г.В. Таблицы для вычисления биомассы водорослей // Институт биологических проблем Севера ДВНЦ АН СССР. Магадан. 1984. 47 с.
10. Голлербах М.М., Полянский В.И. Пресноводные водоросли и их изучение. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1. 1951. 198 с.
11. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Синие-зелёные водоросли. М.: Госиздат, 1963. 652 с.
12. Матвиенко А. М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. Золотистые водоросли. М.: 1954. 188 с.
13. Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 619 с.
14. Дедусенко-Щёголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Жёлто-зелёные водоросли. Xanthophyta. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 272 с.

15. Киселёв И. А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. Пирофитовые водоросли. М.: Советская наука, 1954. 212 с.
16. Попова Т.Г. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М. 1955. 281 с.
17. Дедусенко-Щёголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов А.А. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 8. Зелёные водоросли. Класс Вольвовковые (Chlorophyta: Volvocineae). М. - Л.: Изд-во АН СССР, 1959. 230 с.
18. Паламарь-Мордвинцева Г.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11. (2). Зелёные водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Chlorophyta: Conjugatophyceae, Desmidiiales (2). Л.: 1982. 624 с.
19. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. 976 S.
20. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epitemiaceae, Surirellaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag., 1988. 596 S.
21. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Susswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag., 1991 a. 576 S.
22. Krammer K., Lange-Bertalot H. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Geamliteraturverzeichnis. Susswasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart, Jena: Gustav Fischer Verlag., 1991 б. 437 S.
23. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ - ЗИН АН СССР, 1982. 33 с.
24. Крылов П.И. Питание пресноводного хищного зоопланктона // Итоги науки и техники. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 7. 145 с.
25. Монаков А.В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцева РАН, 1998. 319 с.