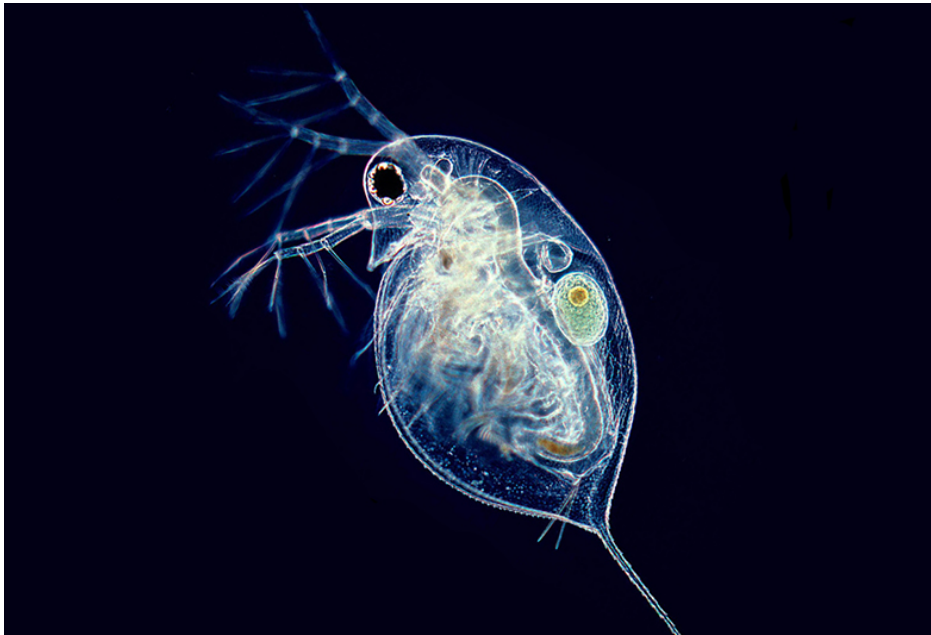


ЭВТРОФИРОВАНИЕ ВОДОЕМОВ И БОРЬБА С ЦВЕТЕНИЕМ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Т.Н. Герасимова, П.И. Погожев, А.П.Садчиков



В пресных и морских водоемах основная масса зоопланктона представлена видами с фильтрационным типом питания, на долю которых приходится до 80% общей массы зоопланктона [1, 2]. Именно зоопланктону принадлежит ведущая роль в трансформации вещества и передаче энергии по трофической цепи от фитопланктона к рыбам.

Роль зоопланктона велика еще и тем, что он, немногий из водных организмов, утилизирует микроводоросли, бактерии, детрит (т.е., мельчайшие частицы) и транспортирует их энергию на более высокий трофический уровень. Сам же зоопланктон является пищевым объектом для более крупных беспозвоночных и рыб.

Зоопланктон потребляет в пищу клетки водорослей малых и средних размеров (в основном до 30-50 мкм), тогда как крупные и колониальные водоросли непосредственно не потребляются фильтраторами. Только крупные виды зоопланктона, такие как *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, и другие могут потреблять колонии размером 60-100 мкм. Пресноводные фильтраторы лучше всего потребляют водоросли округлой формы без каких либо выростов, наличие которых резко снижает их поедаемость. Максимальный

размер потребляемых частиц во многом зависит от размера рачков, пропорционально которым возрастает величина ротового отверстия [3]. Частицы большого размера, крупные клетки и колонии водорослей фильтраторы слабо используют в пищу. Кроме того, крупные и колониальные водоросли при высокой концентрации мешают процессу фильтрации, механически забивают фильтрационный аппарат ракообразных. Корма вроде бы много, а использовать его рачки не могут.

Утилизация крупных и колониальных водорослей осуществляется через бактериальное звено, после их разложения бактериями (в толще воды и на дне). Колониальные водоросли после отмирания оседают на дно, где утилизируются бентосными организмами.

Размер зоопланктонных организмов в пресных водоемах не превышает 2-3 мм. Только отдельные виды, такие, как *Daphnia magna*, достигают 5-6 мм. Эти виды, как типичные представители временных и небольших водоемов, имеют широкий пищевой размерный диапазон (от одиночных бактериальных клеток до указанных выше размеров водорослей). Основу их рациона составляют частицы, преобладающие в воде в тот или иной момент времени.

Одной из особенностей водных экосистем является высокая скорость биотического круговорота. Этому способствуют не только бактерии, водоросли, но и зоопланктон. В связи с малыми размерами зоопланктон имеет интенсивный обмен веществ [4], высокую фильтрационную активность и плодовитость [5]. Так, годовая продукция планктонных ракообразных в пресных водоемах в 10-30 раз превышает среднюю за вегетационный сезон биомассу [6]. Фильтрационная способность их настолько велика, что в эвтрофных водоемах весь объем воды проходит через фильтрационный аппарат зоопланктона всего за одни сутки. В море биомасса зоопланктона значительно меньше, чем в пресных водоемах, но и там объем воды поверхностной зоны, в которой сконцентрирован зоопланктон, за год много раз проходит через фильтрационный аппарат ракообразных [7].

В водных экосистемах зоопланктон, как основной потребитель водорослей, играет важную роль в трансформации органического вещества. В процессе жизнедеятельности планктонные животные минерализуют органическое вещество и выделяют во внешнюю среду метаболиты, которые в дальнейшем утилизируются бактериями и водорослями.

Л.М.Сушня [3] на основе анализа ряда данных показал, что пресноводные ракообразные-фильтраторы лучше всего потребляют водоросли округлой формы без каких либо выростов, наличие которых резко снижает их поедаемость. По мере увеличения размеров водорослей и усложнения их формы избирательность их рачками снижается. При этом характер избирательного потребления водорослей очень сходен у многих видов ракообразных, несмотря на их значительные морфологические и экологические различия. Максимальный размер потребляемых частиц во многом зависит от размера рачков, пропорционально которым возрастает величина ротового отверстия.

Отмечено, что во время массового развития крупных колониальных форм водорослей, несмотря на одновременное увеличение численности кормовых водорослей, снижались плодовитость и численность многих видов ракообразных. Это во многом связано с тем, что при высокой численности крупных несъедобных водорослей, возникают механические помехи, мешающие процессу фильтрации. Это снижает скорость потребления мелких съедобных водорослей [8]. Проще говоря, крупные водоросли мешают процессу фильтрации, из-за чего ракообразные не могут нормально отфильтровывать имеющиеся в водоеме мелкие съедобные частицы.

Фильтраторы, при наличии в среде большого количества пищи, потребляют ее в больших количествах, при этом слабо переваривают ее. Экскременты обладают высокой пищевой ценностью, что объясняется низкой усвояемостью потребленной пищи. Так что усвояемость пищи фильтраторами находится в обратной зависимости от ее количества в среде. Время нахождения пищи в кишечнике разных видов рачков составляет от 5-10 минут (*Daphnia galeata*) до 45 минут (*D. magna*). Первая обитает в чистых и глубоких водоемах. *D. magna* обитает в небольших и неглубоких водоемах. Она имеет длинный кишечник, приспособленный для продолжительного переваривания клеток с плотными и студенистыми оболочками. Усвояемость водорослей крайне низкая – 5-10%. Из-за этого в среду поступает слабо переваренные экскременты. При этом они выделяют пеллеты (экскременты) от нескольких десятков до сотни в сутки. Пеллеты покрыты слизью (перитрофической мембраной), которая позволяет им достаточно долго не распадаться во время пребывания в воде. Размеры пеллет достигает 0.1-0.5 мм, сильно меняются в зависимости от вида пищи, размера, пола и вида ракообразных [9, 10].

Крупные и оформленные пеллеты играют большую роль в экосистеме водоемов. Из-за своих размеров они относительно быстро оседают в толще воды. В морях они являются пищей для глубоководных ракообразных и других беспозвоночных. В пресноводных водоемах они оседают на дно, где используются в пищу донными организмами (олигохетами, моллюсками, хирономидами и другими личинками насекомых). Скорость оседания пеллет ракообразных составляет от 50 до 1000 м/сутки, и сильно варьирует в зависимости вида рачков и состава пищи. Их дальнейшее разрушение и утилизация осуществляется на больших глубинах (в морях) или на дне (в пресных водоемах). Скорость оседания отмерших водорослей (детрита) составляет около 1 м/сутки.

Основными потребителями зоопланктона являются рыбы-планктофаги, а также молодь большинства рыб. Рыбы при охоте ориентируются визуально, поедают в основном крупных ракообразных.

Зоопланктон в глубоких водоемах выработал защитное приспособление – вертикальные миграции. Днем они находятся на больших глубинах. Там темно, из-за чего рыбы их не видят. Ночью и в сумерках рачки поднимаются в верхние слои водоема, где активно поедают водоросли.

Ветвистоусые (Cladocera) выработали еще одно приспособление для защиты популяции (сообщества) от выедания – это партеногенез (размножение без участия самцов). Летом при благоприятных условиях происходит ускоренное размножение, самки рожают только самок. Численность популяции возрастает, несмотря на интенсивное выедание ее хищниками. Так они поддерживают высокую численность популяции. Однако при неблагоприятных условиях среды (понижении температуры, недостатке пищи и др.) самки рожают самцов. Затем они спариваются с ними и откладывают покоящиеся (так называемые зимние) яйца. Эти яйца имеют плотную оболочку, перезимовывают и переживают неблагоприятные условия среды.

Фильтрующий зоопланктон важен еще и тем, что он единственный, который отфильтровывает мельчайшие частицы (фитопланктон, бактерии, различный детрит и др.). Он передает запасенную энергию на более высокий трофический уровень. За счет этой энергии функционирует вся экосистема пресных и морских вод – от водорослей, через фильтрующий зоопланктон – до крупных рыб и китов. Все они живут за счет солнечной энергии запасенной в микроскопических водорослях.

Повышенное содержание биогенных веществ приводит к интенсивному развитию водорослей и «цветению» водоемов. Этот процесс называется эвтрофированием. При эвтрофировании водоемов происходит резкое увеличение биомассы фитопланктона, в основном за счет развития синезеленых водорослей (их еще называют цианобактериями). Цветсти могут любые виды водорослей, но наибольший отрицательный эффект представляют цианобактерии. Продолжительность такого «цветения» может достигать двух месяцев и более. Механизм «взрывного» характера развития цианобактерий связан с колоссальным потенциалом их размножения. Дополнительная причина, которая способствует развитию цианобактерий, это слабое перемешивание таких водоемов. Цианобактерии плохо переносят турбулентное перемешивание вод, из-за чего в реках массового их развития не наблюдается. В значительной мере по этой причине «цветут» многие равнинные южные водохранилища. Цианобактерии обладают положительной плавучестью – при цветении всплывают к поверхности воды. Это приводит к высокой концентрации цианобактерий в верхнем слое водоема [11].

При «цветении» водоемов происходят значительные структурные изменения в водных сообществах. Цианобактерии становятся доминирующей группой, вытесняя другие виды водорослей. Из сообщества выпадают диатомовые, динофитовые, золотистые, зеленые и другие водоросли. В то же время, увеличивается численность крупных эвгленовых водорослей, способных потреблять растворенные органические вещества.

Массовое развитие цианобактерий приводит к увеличению содержания в водоеме органического вещества в растворенной и взвешенной формах. Их разрушение осуществляется бактериями с интенсивным потреблением кислорода. Органического вещества становится настолько много, что в водоеме наблюдается дефицит кислорода. Если в летнее время в верхнем слое водоема недостаток кислорода сравнительно легко восстанавливается за счет газообмена с атмосферой и фотосинтеза водорослей, то зимой, в период ледостава, в придонном слое возможно полное потребление кислорода. В зимнее время заморы порой происходят во всей толще воды, что приводит к массовой гибели рыб. Недостаток кислорода способствует образованию в придонной зоне сероводорода и метана.

Развитие цианобактерий отрицательно сказывается на зоопланктонном сообществе. Это связано с тем, что зоопланктон является фильтратором, и в основном поедает мелкие водоросли. При «цветении» водоемов развиваются в основном колониальные формы, которые слабо потребляются зоопланктоном. Казалось бы, водорослей в среде много, но из-за крупных размеров они слабо используются в пищу. В результате в сообществе зоопланктона снижается плодовитость, уменьшаются размеры особей и их численность. Крупные виды выпадают из сообщества, наблюдается преобладание мелких видов, которые не могут столь интенсивно утилизировать цианобактерий.

Как уже отмечалось, наиболее активными фильтраторами являются крупные ветвистоусые и веслоногие ракообразные. Их, в свою очередь, потребляют (поедают) рыбы. Таким образом, трофическая цепь водоема, включающая «водоросли – фильтрующий зоопланктон – рыбы-планктофаги» замыкается рыбами. Последние являются основными потребителями крупного зоопланктона.

Результаты исследований

Наши исследования в высокотрофных прудах показали, что качественный и количественный состав зоопланктона во многом определяется трофическим прессом рыб-планктофагов и мальками рыб. Большинство из них относится к «сорным» видам рыб. Некоторые виды рыб-планктофагов имеют продолжительный порционный нерест в течение всего вегетационного сезона, вплоть до осени. Из-за этого в исследованных прудах постоянно присутствовали мальки и молодь рыб разного размера. Рыбы-планктофаги жестко контролировали численность и размерный состав зоопланктона. [12, 13, 14, 15].

Трофический пресс рыб в эвтрофном пруду приводит к снижению биомассы зоопланктона и обеднению его видового состава. Рыбы выедают в основном крупные виды зоопланктона, из-за чего в планктоне остаются коловратки (размером 0.1-0.5 мм) и мелкоразмерные виды рачков (размер 0.5-1 мм), которые не могут сдерживать развитие цианобактерий. Наличие в водоеме большого количества биогенных элементов приводит к цветению цианобактерий и снижению прозрачности воды.

Мелкие виды и низкая биомасса растительноядных фильтраторов не могут эффективно влиять на развитие фитопланктона. Это сказывается на структуре фитопланктона. Наличие в водоеме большого количества биогенных элементов приводит к интенсивному цветению цианобактерий и снижению прозрачности воды до 0.2 м.

Воздействие рыб приводит к изменению видового и размерного состава зоопланктона. Из планктона исследованных нами прудов исчезли крупноразмерные кладоцеры – *Daphnia longispina*, *Simocерphalus vetulus* и другие (хотя они встречались там в начале лета и осени). Размер многих видов рачков сильно уменьшился. Так, размер *Ceriodaphnia quadrangula* составлял 0.3-0.6 мм, *Chydorus sphaericus* – 0.2-0.3 мм, *Bosmina longirostris* – 0.3-0.4 мм. Размер *Diaphanosoma brachyurum* не превышал 0.9 мм. Крупноразмерные кладоцеры *Daphnia longispina* присутствовали в пруду, однако их размер не превышал 0.5-0.6 мм. Во время максимального цветения цианобактерий в августе в составе кладоцер были зарегистрированы лишь *Chydorus sphaericus* и *Daphnia longispina* длиной особей 0.3 и 0.5 мм, соответственно. Таким образом, в пруду размер этих видов был на уровне размера коловраток.

Наибольший размер *Daphnia longispina* (1.15 мм) был зарегистрирован только в конце сентября. Скорее всего, в это время из-за низкой температуры воды (около 12°C) активность рыб-планктофагов и их мальков уменьшилась. Другой крупноразмерный представитель кладоцер *Simocерphalus vetulus* также был зарегистрирован только в середине сентября, размером 1.3 мм.

Копеподы *Eudiaptomus* sp. и *Mesocyclops leuckartii* в пруду состояли в основном из науплиальных и копепоидных стадий. Взрослые копеподы выедались рыбами, а в сообществе оставались науплии и мелкие копепоиды. Размерный состав коловраток оставался на уровне 0.1 мм.

В пруду, в котором отсутствовали рыбы-планктофаги, несмотря на наличие большого количества биогенных веществ, цветение цианобактерий не наблюдалось [16]. В этом

пруду развиваются в больших количествах *D. longispina*, которая выедала водоросли и цианобактерии. Прозрачность воды по диску Секки достигала более 2 м (практически до дна).

Выедание зоопланктона рыбами-планктофагами приводит к его измельчению, а это в свою очередь сказывается на цветении цианобактерий. Мелкие виды и низкая биомасса растительноядных фильтраторов не может эффективно влиять на развитие фитопланктона. Это сказывается на структуре фитопланктона, начинают развиваться цианобактерии и колониальные водоросли. А это приводит к усилению процессов цветения.

Во второй половине лета в пруду при повышении температуры воды начинают развиваться цианобактерии, которые полностью потребляют биогенные элементы. В водоеме количество дефицитного элемента для фотосинтетиков фосфора снизилось до нулевых значений.

Потребление цианобактерий в природных водоемах зоопланктоном зависит от их размера. А это, в свою очередь, определяется физиологическим состоянием популяции цианобактерий, динамичностью водных масс и другими факторами. К примеру, показано в одном из водохранилищ Болгарии [17], что размеры колоний *M. aeruginosa* в течение сезона варьируют в широких пределах (длина 40-1300 мкм, ширина 30-1070 мкм). В начальной стадии развития *M. aeruginosa* в планктоне присутствовало много колоний, размеры которых находились в пределах, доступных для потребления многими видами зоопланктеров. По мере старения популяции размеры колоний заметно увеличиваются и превышают максимально допустимые размеры пищевых частиц.

При интенсивном цветении воды *Aphanizomenon flos-aquae* озера Глубокое размеры трихом колебались от 10 до 200 мкм и более, однако около 50% колоний имели размеры 10-125 мкм и более (8% - 10-50 мкм и 26% 50-100 мкм) [18].

В исследованном нами пруду большая часть цианобактерий (70%) *Anabaena spiroides* приходилась на «непоедаемую» фракцию (размер >100 мкм). Поедаемые фракции размерами <50 мкм и 50-100 мкм составляли 8 и 22% общей биомассы *A. spiroides*. Так что в природных водоемах только небольшая часть цианобактерий имеет «съедобные» для зоопланктона размеры.

В экспериментальной экосистеме наблюдалась иная картина. Доля нитей *A. spiroides* размерами <50 мкм и 50-100 мкм за один час возросла с 2 до 42% и с 21 до 58%, соответственно. Их биомасса увеличилась в 11 и 2 раза. Наоборот, доля биомассы нитей размерами >100 мкм снизилась с 77% до нулевых значений. А биомасса снизилась с 6.5 мг/л до нуля. Это произошло за счет разрушения (дробления) нитей *A. spiroides* дафниями в экспериментальной экосистеме. Биомасса колоний размером >100 мкм перешла в более мелкие размерные фракции, потребляемые *D. magna*.

За счет механического воздействия *D. magna* (при движении и биении плавательных антенн), а также потока воды в экспериментальной экосистеме происходит дробление крупных нитей *A. spiroides*. В результате улучшается кормовая база экосистемы. Однако этот процесс возможен лишь при высокой численности зоопланктона, когда создается, так называемая «толчая» ракообразных [19, 20].

В другом эксперименте, отделение ихтиофауны от планктонного сообщества способствовало нарастанию биомассы другого представителя фильтрующего зоопланктона *Simoccephalus vetulus* за счет поступления фитопланктона с водными массами из водоема. Молодь *S. vetulus* из водоема через сетку размером 0.5 мм проникала в экспериментальную экосистему, где продолжала развиваться.

На основе анализа размерной структуры фито- и зоопланктона установлено, что *S. vetulus* хорошо приспособлен к условиям жизни в проточной экосистеме при цветении цианобактерий *M. aeruginosa* в отсутствие пищевого пресса ихтиофауны. Это проявляется в увеличении размеров, численности и биомассы *S. vetulus*, в отличие от водоема при пищевом прессе рыб-планктофагов.

Показано, что особи *S. vetulus* снижают биомассу *M. aeruginosa* в течение всего периода его роста (т.е., в начальной стадии, в период максимального цветения и в фазе

завершения развития). За счет дробления колоний цианобактерий особями *S. vetulus* происходит разрушение крупных фракций размером > 100 мкм. *S. vetulus* «создают» для себя приемлемую фракцию для дальнейшего использования.

В период завершения цветения *M. aeruginosa* и при дефиците минерального фосфора происходит снижение на порядок концентрации хлорофилла «а» при одновременном увеличении продуктов его распада – феофитина. Это сопровождается старением колоний и их дроблением. Крупные фракции переходили в группу более мелких, которые в дальнейшем потреблялись *S. vetulus*. В это время в больших количествах появлялись одиночные клетки *M. aeruginosa*.

Таким образом, особи *S. vetulus* за счет дробления более крупных фракций *M. aeruginosa* и их потребления освобождают экосистему от цианобактерий. В результате происходит очищение водоема и улучшение качества воды [21, 22, 23, 24, 25].

Заключение и выводы

При низкой численности роль мелкого фильтрующего зоопланктона в подавлении цветения была ничтожно мала. Мелкие виды и низкая их биомасса не позволяла им эффективно влиять на развитие цианобактерий. Наличие в водоеме достаточного количества биогенных элементов приводит к интенсивному цветению цианобактерий и снижению прозрачности воды.

Изолирование рыб в экспериментальной экосистеме с помощи сетки привело к перестройке сообщества, начали развиваться крупные виды зоопланктона, которые оказывали воздействие на развитие водорослей.

В экспериментальной установке изоляция рыб способствовала развитию крупных видов зоопланктона (*Daphnia magna* и *Simoccephalus vetulus*). Численность дафний достигла 4600 экз./л. В экспериментальной экосистеме при отсутствии рыб биомасса

растительного зоопланктона была в 3 тыс. раз больше таковой в водоеме. *D. magna* в экосистеме обладала высокой плодовитостью, ее размерный состав в основном состоял из особей размером 2-3 мм. Количество эфиппальных самок было небольшим, что указывает на сносные условия среды.

Размерная структура дафний в течение исследованного периода сильно менялась. Средний размер особей варьировал от 1.5 до 2.4 мм (максимальный размер дафний достигал 3.6 мм). В составе популяции постоянно присутствовали ювенальные и размножающиеся особи. Эфиппальные самки в августе, во время цветения цианобактерий, зарегистрированы не были, что указывает на благоприятные условия среды для развития *D. magna*. Необходимо отметить, *D. magna* в самом пруду отмечена не была.

В экспериментальной установке во второй половине лета начал развиваться другой крупный вид – *Simocephalus vetulus*. Ювенальные особи из водоема проникали в установку и наращивали высокую численность и биомассу. Размер особей достигал 1.9–2.1 мм. Численность ракообразных увеличивалась до 250-480 экз./л. Биомасса *S. vetulus* в экспериментальной установке была в 320 раз выше, чем биомассы растительного зоопланктона пруда.

Кормовая база *S. vetulus* и *D. magna* увеличивалась за счет разрушения (дробления) крупных колоний цианобактерий и перевода их в более мелкие фракции, потребляемые этими ракообразными. Фильтраторы «создавали» для себя приемлемую размерную фракцию для дальнейшего потребления. Это способствовало увеличению кормовой базы экосистемы.

Таким образом, удаление ихтиофауны из экосистемы способствовало развитию крупных видов зоопланктона. Они могли дробить колонии *M. aeruginosa* и использовать их в пищу.

Высокая численность, плодовитость и широкий размерный спектр особей *S. vetulus* и *D. magna* указывают на их способность создавать высокие численности и выполнять функцию природного фильтра, очищать воду от цианобактерий и повышать ее качество.

Работа выполнена в рамках темы № 0147-2019-0002 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090104-8) государственного задания ИВП РАН, работа выполнена в рамках научной школы Московского государственного университета «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петипа Т.С.* Трофодинамика копепод в морских планктонных сообществах. Закономерности потребления и превращения вещества и энергии у особи. // Киев, Наукова Думка, 1981. – 243 с.
2. *Иванова М.Б.* Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. // Л. ЗИН АН СССР, 1985. – 222 с.
3. *Суценья Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных. // Минск, Наука и Техника, 1975. – 208 с.
4. *Заика В.Е.* Удельная продукция водных беспозвоночных. // Киев, Наукова Думка, 1972. – 143 с.
5. *Гиляров А.М.* Динамика численности пресноводных планктонных ракообразных. // М. Наука, 1987. – 191 с.
6. *Винберг Г.Г., Печень Г.А., Шушкина Э.А.* Продукция планктонных ракообразных в трех озерах разного типа. // Зоол. журн., 1965, т. 14, № 5. С. 676-687.

7. Винберг Г.Г. Особенности водных экосистем. //Журн. Общей биологии, 1967, т. 28, № 5. С. 538-545.
8. Садчиков А.П. Значение и роль зоопланктона в трансформации органического вещества. 1. Трофические взаимоотношения в планктонном сообществе (обзор). // Биол. науки, 1993, № 3-4. – С. 5-23.
9. Гутельмахер Б.Л., Садчиков А.П., Филиппова Т.Г. Питание зоопланктона // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер. Общая экология. Биоценология. Гидробиология, 1988. Т. 6. – 155 с.
10. Садчиков А.П. Гидробиология: планктон (Трофические и метаболические взаимоотношения) – М.: Изд-во ООО «ПКЦ Альтекс», 2013. – 240 с.
11. Садчиков А.П. Методы изучения пресноводного фитопланктона: методическое руководство. М.: Изд-во «Университет и Школа», 2003. 157с.
12. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Подавление цветения цианобактерий зоопланктоном: эксперименты в природных водоемах // Экологическая химия. 2019. 28(5). С. 258–263.
13. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Развитие зоопланктона в экспериментальной экосистеме // Экология промышленного производства. 2019. №3. С 55–58.
14. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Cyanobacterial Blooms by Zooplankton: Experiments in Natural Water Bodies with the Use of Flow-Through Ecosystems // Journal Russian Journal of General Chemistry. 2019. V.89 (13). P. 2840-2844.
15. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Подавление цветения

«цианобактерий» фильтрующим зоопланктоном // Вода: химия и экология. 2019. № 7–9. С. 67–71.

16. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Борьба с эвтрофированием водоемов: роль в этом процессе фильтрующего зоопланктона // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 12. С. 18-22.

17. Найденов В., Сайс Д. Влияние на планктона от язовир «Розов Кладенц» върху филтрационната ефективност на някои микросита. // Хидробиология, 1977, № 5. С 38-51.

18. Гутельмахер Б.Л. Особенности функционирования планктонного сообщества озера Глубокого. // В книге «Гидробиологические особенности самоочищения вод». // Л. ЗИН АН СССР, 1976. – С. 69-78.

19. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Подавление цветения фитопланктона водоемов фильтрующим зоопланктоном в проточных экосистемах // Вод. ресурсы. 2020. Т.47. №2. С.144–150.

20. Gerasimova T.N., Pogozhev P.I., Sadchikov A.P. Suppression of Phytoplankton Blooming in Water Bodies with the Use of Filtering Zooplankton in Flow-Through Ecosystems //Water Resources. 2020. Vol. 47. No 2, pp. 231–237.

21. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Борьба с цианобактериями использованием зоопланктона в экспериментальной экосистеме // Экологические системы и приборы. 2020. № 6. С.49–55.

22. Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П. Подавление цветения водорослей фильтраторами зоопланктона в небольших водоемах // Вод. ресурсы. 2018. Т.45. №2. С.164–170.

23. *Gerasimova T.N., Pogochev P.I., Sadchikov A.P.* Suppression of Alga Blooming by Zooplankton Filter Feeders in Small Water Bodies // *Water Resources*. 2018. Vol.45. No 2, pp. 194–204.

24. *Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П.* Изменение структуры зоопланктона в экспериментальной установке при изоляции рыб-планктофагов // *Экологическая химия*. 2020. Т.29. № 5. С.283–290.

25. *Герасимова Т.Н., Погожев П.И., Садчиков А.П.* Влияние зоопланктона на развитие водорослей и цианобактерий в экспериментальной экосистеме // *Экология промышленного производства*. 2020. № 1.(109). С.43–48.

Т.Н. Герасимова, канд. биол. наук;

П.И. Погожев, канд. биол. наук; (Институт водных проблем Российской академии наук, ул. Губкина 3, Москва, 119333)

А.П. Садчиков, д-р. биол. наук, профессор (кафедра общей экологии и гидробиологии Биологического факультета, Международный биотехнологический центр Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, дом 1, корп. 12, Москва, 119992)