

**Keywords:**

bacterioplankton, cyanobacteria, algae, dissolved organic matter, MOAT, cell death, heterotrophic activity, destruction processes, mineralization of organic matter, radioisotope method

## Водоросли и цианобактерии, как факторы формирования фонда растворенных органических веществ и качества воды, в водоеме при отмирании клеток

DOI

Д-р биол. наук, профессор **А.П. Садчиков** – Международный биотехнологический центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова;  
д-р биол. наук **С.А. Остроумов** – ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химии биомембран, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

@ ar55@yandex.ru

**Ключевые слова:**

бактериопланктон, цианобактерии, водоросли, растворенное органическое вещество, РОВ, отмирание клеток, гетеротрофная активность, деструкционные процессы, минерализация органического вещества, радиоизотопный метод

### ALGAE AND CYANOBACTERIA AS FACTORS IN THE FORMATION OF THE POOL OF DISSOLVED ORGANIC SUBSTANCES AND WATER QUALITY IN THE RESERVOIR DURING CELL DEATH

Doctor of biology, Professor **A.P. Sadchikov** – International biotechnological center of Lomonosov Moscow state University;  
doctor of biology **S.A. Ostroumov** – leading researcher at the Laboratory of physical chemistry of biomembranes, Lomonosov Moscow state University  
ar55@yandex.ru

Using the radioisotope method, new quantitative characteristics of the role of phytoplankton in the formation of the pool of dissolved organic substances (ROS) in the freshwater ecosystem were obtained.

The destruction of dead phytoplankton is carried out within one week. In natural reservoirs, detritus settles at a rate of about one meter per day. In deep reservoirs, most of the MOAT is released in the water column rich in oxygen, where it is destroyed by bacterioplankton. In shallow reservoirs (such as fish ponds), detritus particles do not have time to decompose in the water column. Their further destruction is carried out at the bottom of the reservoir when there is a lack of oxygen, which leads to overseas phenomena.

**ВВЕДЕНИЕ**

Эвтрофирование и загрязнение водоемов приводит к ухудшению качества воды, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности всех организмов, в том числе и рыб. Существенное воздействие на гидробионты происходит при отмирании фитопланктона, включая цианобактерий. Их разрушение протекает быстро и, соответственно, в среде одновременно (как бы «зал-

пом») поступает до 60-80% их содержимого [1; 2].

Однако процессы разрушения цианобактерий при их отмирании в водоемах изучены недостаточно, что во многом связано с методическими сложностями.

Изучение этих процессов имеет большое значение для понимания взаимодействия факторов, от которых зависит качество воды в водоеме. Таких факторов, как растворенное органическое

вещество (РОВ), взвешенное в воде органическое вещество, численность и активность фитопланктона, численность и активность гетеротрофных бактерий.

Использование радиоизотопной методики позволило повысить чувствительность методов изучения динамики РОВ, сократить время проведения эксперимента и, главное, – приблизить условия опыта к естественным. Данный метод позволяет измерять скорость разрушения экспериментального детрита, интенсивность выделения содержимого клеток, и его потребление бактериальным сообществом [3].

Цель данной публикации – продолжить предыдущие работы авторов о гидробионтах пресноводных экосистем и взаимодействии факторов, существенных для формирования качества воды.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводили, изучая образцы природной воды (с природным сообществом фитопланктона и бактериопланктона) из небольшого эвтрофного пруда (Московская область, Можайский район). Пробы отбирали в верхнем 0,5-метровом слое пруда в две серии склянок объемом по 250 мл. В одну серию добавляли  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  с таким расчетом, чтобы в 1 мл было около 100 тыс. имп /мин и экспонировали в люминостате в течение одних суток; другую серию склянок экспонировали без  $^{14}\text{C}$ . Затем содержимое обеих склянок фильтровали (по 50 мл) через мембранные фильтры. Вначале фильтрацию проводили через фильтры с порами 4 мкм. Полученный фильтрат затем фильтровали через фильтр с порами меньшего размера (размер пор 1,5 мкм). В результате на фильтрах задерживалась фракция фитопланктона, которая содержала водоросли и цианобактерии.

Часть фильтров с меченым фитопланктоном помещали в сцинтилляционный счетчик «Rackbeta 1271» (Швеция) для определения исходной радиоактивности. Другую серию – нагревали до 50°C (в течение 3 ч.) и затем замораживали до -18°C (6 ч.). Получали, таким образом, убитые водоросли (с меткой  $^{14}\text{C}$ ), которые условно назвали «экспериментальным детритом». Аналогичным образом готовили и немеченый «экспериментальный детрит». Методика получения водорослевого «экспериментального детрита» описана в работах [3; 4; 5; 6].

Затем фильтр с меченым детритом помещали в склянку, заполненную профильтрованной водой из водоема. Фильтры с немеченым детритом помещали в склянки с водой из водоема с естественным сообществом бактерий (предварительно отфильтровывали водоросли через фильтры с порами 4 мкм). Опытные склянки осторожно перемешивали на качалке в течение 30 мин., затем помещали в темный шкаф, где хранили в течение всего эксперимента; склянки периодически осторожно перемешивали.

Отбор проб для дальнейших экспериментов проводили на 1-й, 3-й, 7-й день. Из серии склянок с меченым «экспериментальным детритом» отбирали аликвоту воды и фильтровали ее через мембранный фильтр (размер пор 0,2 мкм) для удаления взвеси

из воды. Фильтрацию проб осуществляли при разрежении 300 мм рт. столба [3; 7; 8]. Полученный фильтрат подкисляли до величины pH 3, продували воздухом в течение 30 мин. и определяли его радиоактивность на сцинтилляционном счетчике. Таким образом, получали количество выделившегося при разрушении «экспериментального детрита» меченого РОВ. При расчетах учитывали сорбцию  $^{14}\text{C}$  фильтром и детритом [9; 10].

В склянках с немеченым «экспериментальным детритом» в течение эксперимента (т.е. на 1-й, 3-й, 7-й день) определяли общую численность бактерий (также отдельно одиночных и агрегированных клеток). Бактерий отфильтровывали на мембранных фильтрах (размер пор 0,2 мкм) и окрашивали акридиновым оранжевым. Подсчет клеток проводили с помощью эпилюминесцентного микроскопа ЛЮМАМ-1И (увеличение 1200x). Этих бактерий использовали для наблюдения за скоростью трансформации РОВ, образовавшегося при разрушении «экспериментального детрита», а также удельной гетеротрофной активности микроорганизмов. Для этого фильтрат с меченым РОВ, полученным в процессе эксперимента (на 1-й, 3-, 7-й день), добавляли к бактериям, выращенным в склянках с немеченым «экспериментальным детритом». Пробы инкубировали в течение 6 час., после чего бактерий фильтровали через фильтры для определения, потребленного ими, меченого РОВ. А в собранном фильтрате (после подкисления до величины pH 3 и барботации) определяли конечное количество меченого РОВ.

В результате расчетов [3] получали величину, выделившегося из «экспериментального детрита», РОВ, его потребление бактериями, минерализацию потребленного органического вещества, удельную активность бактерий, а также количество неусвоенного бактериями РОВ.

Удельную активность бактерий рассчитывали следующим образом: величину потребленного меченого РОВ делили на численность бактерий, в результате получали величину (мкгС/кл. • ч), (где: кл. – в расчете на одну клетку; ч – в час)

Размерную фракции планктона, содержащую фитопланктон, в данной статье для краткости называют фитопланктоном. Размерную фракции планктона, содержащую бактерии, в данной статье для краткости называют бактериями.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты показали, что разрушение клеток водорослей и цианобактерий и поступление в среду их содержимого начинается с первого дня эксперимента (т.е. после обработки клеток нагревом и замораживанием, как описано в методике). Наибольшее количество выделившегося РОВ наблюдалось на 3 и 7-сутки эксперимента (табл. 1). В таблице 1 дана информация о нескольких параметрах изученной водной системы, в том числе информация о следующих двух параметрах.

1) Утилизация РОВ бактериями (мкгС/л • ч) (РОВ, потребленное бактериями). При этом охарактеризована скорость потребления РОВ по углероду (С), т.е. потребление бактериями в одном литре природной воды за период времени 1 час.



**Таблица 1.** Трансформация бактериальным сообществом посмертных выделений фитопланктона в изученной эвтрофной пресноводной экосистеме (вторая половина июля). За 100% принимается потребленное бактериями органическое вещество. Каждая цифра получена при усреднении трех повторностей / **Table 1.** Transformation of postmortem phytoplankton secretions by the bacterial community in the studied eutrophic freshwater ecosystem (second half of July). The organic matter consumed by the bacteria is taken as 100%. Each digit is obtained by averaging three repetitions

Изученные характеристики процессов в водоеме	1-е сутки	3-е сутки	7-е сутки
Количество РОВ, выделившееся из детрита (мертвых клеток фитопланктона) (мкг С/л)	0,5	1,6	1,8
Утилизация РОВ бактериями (мкг С/л·ч) (РОВ потребленное бактериями)	0,045	0,038	0,12
Минерализованное органическое вещество (мкгС/л ·ч)	0,025	0,021	0,10
Удельная активность бактерий (10-11 мкг С/кл. · ч)	1,7	2,4	7,1

2) Минерализованное органическое вещество (мкг С/л · ч). При этом охарактеризована скорость минерализации органического вещества водными бактериями в одном литре природной воды за период времени 1 час.

Серия таких экспериментов проводилась в течение всего вегетационного сезона, и во всех случаях наблюдалась аналогичная картина. В пруду во второй половине лета преобладали цианобактерии (в основном, *Aphanizomenon flos-aquae*) и зеленые водоросли. В другие дни сезона видовой состав фитопланктона был более разнообразным и не наблюдалось явного преобладания одного вида водорослей над другим. В относительно больших количествах присутствовали зеленые водоросли. Интенсивность выделения РОВ во многом зависела от видового состава фитопланктона. Наибольшее количество РОВ выделялось в среду, когда преобладали цианобактерии. Большая часть отмерших клеток и лизис их содержимого осуществляется в течение одной недели.

Оседание детрита в природных водоемах осуществляется со скоростью около 0,8-1 м/сутки. Таким образом, за одну неделю отмершие клетки водорослей и цианобактерий оказываются на глубине 7 метров [3; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19]. В глубоких водоемах, соответственно, они будут выделять РОВ в богатых кислородом слоях воды [20; 21; 22]. В водоемах на глубине 5-7 м образуется термоклин, где скорость оседания детрита еще больше замедляется. Наличие достаточного количества кислорода способствует повышению деструкционных процессов. В результате, осевший на дно водоема детрит, содержит небольшое количество органического вещества [23; 24]. В наших экспериментах высокие значения утилизации РОВ осуществлялись в первую неделю опыта (скорее всего это связано с выделением в среду легкоусвояемого органического вещества) (табл. 1).

В небольших водоемах, в частности, рыбоводных прудах глубиной до 3-х метров, на дне оказывается неразложившийся детрит. Дальнейшее его разрушение происходит в условиях дефицита кислорода с появлением нежелательных продуктов. Заморные явления могут наблюдаться уже во второй половине августа и сентябре.

В водоемах основными разрушителями органического вещества являются бактерии. Они представлены в виде одиночных клеток и агрегирован-

ных ассоциаций (колониальных микроорганизмов и детритно-бактериальных ассоциаций, ДБА). В пресных водоемах на долю одиночных клеток приходится до 70-80% всех бактерий, остальное – на долю агрегатов. Часть бактерий находится в малоактивном состоянии и не принимает участия в деструкционных процессах. Использование с помощью красителя флуоресцеиндиацетата (ФДА) в качестве тест-метода определения физиологически активных бактерий позволило установить, что в верхнем 3-метровом слое Можайского водохранилища численность физиологически активных бактерий составляла в среднем за сезон от 72 до 88% [3; 25; 26; 27]. В эвтрофном пруду численность бактерий достигала 5 млн кл./мл. Доля физиологически активных бактерий составляла в среднем за сезон 76%, что несколько меньше, чем в водохранилище.

В период наибольшей численности (во второй половине августа) доля физиологически активных бактерий была наименьшей и составляла 62%. В водохранилище увеличение доли малоактивных клеток наблюдалось в сентябре (слой 0-3 м) – 28% общей численности бактерий. Это связано с тем, что при исчерпании доступных пищевых ресурсов часть бактерий переходит в малоактивное состояние, а как результат этого – снижение их продукции и численности. Вероятно, именно этим можно объяснить причину уменьшения удельной продукции бактерий при их максимальной концентрации в водоемах [3].

В начале эксперимента в сосуде общая численность бактерий была в пределах 0,2-0,3 млн кл./мл. В первый день опыта она возросла до 2,0-2,2 млн кл./мл, причем это были, в основном, одиночные клетки. Агрегированных бактерий было совсем немного 0,2 млн кл./мл. На третий день эксперимента общая численность бактерий увеличилась до 3,5 млн кл./мл, а на 7-й день она уменьшилась до 1,3 млн кл./мл и оставалась на этом уровне. Численность агрегированных бактерий увеличилась к 3 дню опыта, затем постепенно снижалась, вплоть до конца эксперимента.

РОВ, выделенное из экспериментального детрита, потреблялось бактериями, причем в первый день эксперимента использовалось 40%, на 3-й день – 15%, на 7-й день – 38%. На конструктивный обмен (прирост бактериальной массы) тратилось 5-18% потребленного РОВ, 10-25% было минера-

лизовано. Наибольшая удельная активность бактерий (в пересчете на одну клетку) наблюдалась на 7-й день эксперимента ( $7,1 \cdot 10^{11}$  мкг С/кл. ч), когда в среду поступило наибольшее количество органического вещества.

Что касается абсолютных величин, то наибольшее количество меченого РОВ бактерии потребляли опять же на 7-й день опыта, когда в среде находилось наибольшее его количество, выделившееся в процессе разрушения водорослевого детрита. Физиологическая активность бактерий была наибольшей на 7-й день опыта, когда в среде наблюдалось повышенное количество меченого РОВ. В другие дни опыта эти показатели были несколько ниже. Исключение составляет середина июля, когда в водоеме происходило отмирание водорослей. В это время удельная активность бактерий была выше аналогичного показателя третьего дня в 3 раза. Интересно, что концентрация меченого РОВ в первый день опыта была несколько выше, чем в третий день.

Полученные результаты близки к аналогичным показателям, опубликованным другими исследователями [28], при потреблении природным бактериопланктоном прижизненных выделений фитопланктона. По данным этих авторов, физиологическая активность в течение сезона изменялась от  $5,0 \cdot 10^{12}$  до  $2,3 \cdot 10^8$  мкг С/кл. • час. При работе с выделениями *Chlorella vulgaris* [7; 29], наибольшее количество РОВ выделялось молодой культурой водорослей (до 10 суток), различия составляли  $9^{11} \cdot 10^{11}$  мкг С/кл. • ч. Эти показатели были в 30-37 раз выше, чем у старой культуры (возраст 36 суток).

Отмирающие клетки фитопланктона вносят вклад не только в формирование фонда РОВ, но и в формирование детрита в столбе воды. Анализ экологической роли оседающего детрита проведен авторами в отдельных публикациях [11; 12; 19; 24; 30].

Вопросы анализа факторов, которые важны для формирования фонда РОВ и детритных частиц в воде экосистем, тесно связаны с вопросами самоочищения воды и поддержания качества воды [31; 32; 33; 34; 35; 36; 37]. Поэтому сфера возможного

применения результатов данной статьи включает:

1) проведение дальнейших исследований факторов, влияющих на качество воды в водных экосистемах, включая водоемы, которые служат средой обитания промысловых рыб и видов рыб, используемых в аквакультуре;

2) экологическое образование, включая образование специалистов в области рыбного хозяйства и использования водно-биологических ресурсов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что фитопланктон в водоемах при отмирании разрушается в основном в течение одной недели. В природных водоемах детрит оседает со скоростью около одного метра в сутки, поэтому в относительно глубоких водоемах большая часть РОВ выделяется в толще воды, богатой кислородом, где и происходит его разрушение бактериопланктоном. Присутствующий в металимнионе термоклин задерживает в этом слое частицы детрита, оседающие без того с низкой скоростью. Взвешенный детрит, численность которого достигает несколько десятков тысяч частиц в одном миллилитре воды, является хорошим сорбентом. В неглубоких водоемах (частности, рыбоводных прудах) частицы детрита не успевают разложиться в толще воды. Их дальнейшее разрушение осуществляется на дне водоема при дефиците кислорода, что порой приводит к заморным явлениям.

Необходимо отметить, что в данной статье освещены лишь некоторые аспекты влияния фитопланктона, включая цианобактерий, на качество воды. Существуют и многие другие аспекты, анализ которых не был целью этой работы. В том числе, существуют важные аспекты влияния цианобактерий на качество воды, связанные с образованием цианобактериями токсинов. Эти вопросы составляют отдельное направление исследований, результатам которых посвящена обширная научная литература.

Результаты, полученные в этой работе, вносят вклад в изучение комплекса процессов трансформации веществ в водоеме, того комплекса процессов,





который в книге [38] был назван интегральным метаболизмом водной экосистемы. Познание интегрального метаболизма полезно для более глубокого анализа процессов формирования качества воды.

### ВЫВОДЫ

1. Изучены факторы, влияющие на фонд растворенных органических веществ (РОВ) в воде пресноводной экосистемы. В данной работе более детально, чем это было известно ранее, изучена судьба углерода органических веществ, входящих в состав клеток фитопланктона. Установлено, что после смерти этих клеток существенная часть органических веществ выходит из погибших клеток в водную среду и вносит вклад в формирование растворенного органического вещества (РОВ). Часть этих органических веществ далее потребляется бактериопланктоном. Клетки бактериопланктона поглощают РОВ. Часть поглощенного РОВ подвергается минерализации в результате окислительной деструкции бактериями. Указанные процессы были охарактеризованы количественно.

2. При отмирании водорослей большая часть РОВ выделяется в среду в течение одной недели.

3. Бактерии потребляют более половины выделенного отмирающим фитопланктоном РОВ в течение трех дней.

4. На прирост бактериальной массы в изученной водной экосистеме тратилось 18% потребленного бактериями РОВ.

*Авторы благодарят студентов, аспирантов и стажеров, которые участвовали в работе. Благодарим сотрудников МГУ имени М.В. Ломоносова за консультации.*

### ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Storch T.A. Phytoplankton extracellular release and its relations to the seasonal cycle of dissolved organic carbon in an eutrophic lake [Text] / T.A. Storch, G.W. Saunders // *Limnol. and Oceanogr.* 1978. - v. 23. - N 1. - P. 112-119.
2. Wetzel R.G. Metabolism of dissolved and particulate detrital carbon in a temperate hard water lake [Text] / R.G. Wetzel, M.K. Miller, H.L. Allen // *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 1972. - V. 29. - P. 185-243.
3. Садчиков А.П. Совершенствование методики оценки гетеротрофной активности пресноводных бактерий. Вопросы качества воды [Текст] / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Рыбное хозяйство*. - 2020. - № 2. - с. 61-66. DOI 10.37663/0131-6184-2020-2-61-66.
3. Sadchikov A. P. Improvement of methods for evaluating the heterotrophic activity of freshwater bacteria. Water quality issues [Text] / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Fish farming*. - 2020. - No. 2. - pp. 61-66. DOI 10.37663/0131-6184-2020-2-61-66.
4. Садчиков А.П. Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном органического вещества [Текст] / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиол. журн.* - 1990. - Т. 26. - № 6. - С. 13-16.
4. Sadchikov A. P. Transformation of organic matter extracted by phytoplankton in vivo [Text] / A. p. Sadchikov, A. S. Kulikov // *Hydrobiol. Journ.* - 1990. - Vol. 26. - No. 6. - Pp. 13-16.
5. Cole J.J. Decomposition of planktonic algae in an oligotrophic lake / J.J. Cole, G.E. Likens, J.E. Hobbie // *1984*. - Vol. 5. - N 4. - 257-266.
6. Садчиков А.П. Продукция и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона (на примере водоемов Подмоскovie): дис. ... д-ра биол. наук. - М., МГУ, 1997. - том 1, 2. - 591 с.
6. Sadchikov A. P. production and transformation of organic matter by size groups of phyto-and bacterioplankton (on the example of

reservoirs in the Moscow region): dis. ... doctor of biology, Moscow, MSU, 1997, vol. 1, 2, 591 p.

7. Садчиков А.П. Утилизация прижизненных и посмертных выделений *Chlorella vulgaris* бактериальным сообществом / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Биологич. науки*. - 1992. - № 7. - С. 29-36.
7. Sadchikov A. P. Recycling in vivo and post-mortem secretions of *Chlorella vulgaris* bacterial community / A. P. Sadchikov, A. S. Kulikov // *Biological. science*. - 1992. - No. 7. With 29-36.
8. Садчиков А.П. Утилизация посмертных выделений фитопланктона бактериальным сообществом / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиол. журн.* - 1992. - т. 28. - № 5. - С. 16-21.
8. Sadchikov A. P. Recycling of post-mortem secretions of phytoplankton bacterial community / A. P. Sadchikov, A. S. Kulikov // *Gidrobiol. Zhurnal-1992*. - vol. 28. - no. 5. - C. 16-21.
9. Садчиков А.П. Прижизненное выделение растворенного органического вещества фитопланктоном (методические аспекты) / А.П. Садчиков, О.А. Френкель // *Гидробиол. журнал*. - 1990. - т. 26. - № 1. - С. 84-87.
9. Sadchikov A. P. Lifetime isolation of dissolved organic matter by phytoplankton (methodological aspects) / A. p. Sadchikov, O. A. Frenkel // *Hydrobiol. journal*. - 1990. - vol. 26. - no. 1. - Pp. 84-87.
10. Садчиков А.П. Сорбция меченых соединений мембранными фильтрами / А.П. Садчиков, О.А. Френкель // *Информ. бюл. Биология внутренних вод АН СССР*. - 1990. - № 89. - С. 81-83.
10. Sadchikov A. P. Sorption of labeled compounds by membrane filters / A. p. Sadchikov, O. A. Frenkel // *inform. bull. Biology of internal waters of the USSR Academy of Sciences*, 1990, no. 89, Pp. 81-83.
11. Садчиков А.П. Некоторые вопросы изучения детрита в водных экосистемах / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Экологическая химия*, 2017, том 26, № 5. С. 262-270.
11. Sadchikov A. P. Some questions of studying detritus in water ecosystems / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Ecological chemistry*, 2017, volume 26, no. 5. Pp. 262-270.
12. Садчиков А.П. Экологическое и трофическое значение детрита в водоемах / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Рыбное хозяйство*. - 2017. - № 2, - с. 65-69.
12. Sadchikov A. P. Ecological and trophic significance of detritus in reservoirs / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Fish farming*. - 2017. - No. 2, - pp. 65-69.
13. Садчиков А.П. Эпилимнион, металимнион и гиполимнион мезотрофной экосистемы: функциональная роль вертикальной структуры экосистемы водоема по гидрохимическим и биологическим параметрам / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Экологическая химия*. - 2019. - Том 28. - № 6. - с. 291-296
13. Sadchikov A. P. Epilimnion, metalimnion and hypolimnion of mesotrophic ecosystem: the functional role of the vertical structure of the reservoir ecosystem by hydrochemical and biological parameters / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Ecological chemistry*. - 2019. - Volume 28. - No. 6. - pp. 291-296
14. Остроумов С.А. Качество воды и выявление роли термоклина в функционировании и интегральном метаболизме водных экосистем / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение*. - 2020. - № 5. - с. 14-19
14. Ostroumov S. A. water Quality and identification of the role of the thermocline in the functioning and integral metabolism of aquatic ecosystems / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Water treatment, water treatment, water supply*. - 2020. - No. 5. - pp. 14-19
15. Садчиков А.П. Выявление и количественная оценка существенного вклада водорослей и бактерий в формирование качества воды и удаление растворенного органического вещества из воды эвтрофной экосистемы / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Рыбное хозяйство*. - 2019. - № 5. - с. 60-65.
15. Sadchikov A. p. Identification and quantitative assessment of the significant contribution of algae and bacteria to the formation of water quality and removal of dissolved organic matter from the water of a eutrophic ecosystem / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *Fisheries*. - 2019. - no. 5. - p. 60-65.
16. Садчиков А.П. Содержание кислорода в воде и стратификация водных экосистем на примере мезотрофного озера / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *The Caucasus*. - 2019. - Том 34. - № 7. - с. 14-17.
16. Sadchikov A. P. oxygen Content in water and stratification of water ecosystems on the example of a mesotrophic lake / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // *The Caucasus*. - 2019. - Tom 34. - No. 7. - S. 14-17.
17. Садчиков А.П. Изучение альгогенного происхождения планктонного детрита / А.П. Садчиков, С.В. Котелевцев, С.А. Остро-

- умов // Black Sea Scientific Journal of Academic Research. – 2017. – Том 19. – № 4. – с. 31-36.
17. Sadchikov A. P. Study allogennogo origin of planktonic detritus / A. P. Sadchikov, S. V. Kotelevtsev, S. A. Ostroumov // the Black Sea Scientific Journal of Academic Research. – 2017. – Том 19. – No. 4. – p. 31-36.
18. Садчиков А.П. Изучение количества детритных частиц и размерной структуры детрита в пресноводных водоемах / А.П. Садчиков, С.В. Котелевцев, С.А. Остроумов // The Caucasus. – 2017. – Том 18. – № 3. – с. 50-53.
18. Sadchikov A. P. a Study of the amount of detritic particles and dimensional structure of detritus in freshwater / A. P. Sadchikov, S. V. Kotelevtsev, S. A. Ostroumov // The Caucasus. – 2017. – Volume 18. – No. 3. – p. 50-53.
19. Садчиков А.П. Количественные исследования детрита в водной среде пресноводных экосистем в связи с вопросами качества воды / А.П. Садчиков, С.В. Котелевцев, С.А. Остроумов // Вода Magazine. – 2017. – № 7 (119). – с. 8-11.
19. Sadchikov A. P. Quantitative studies of detritus in the aquatic environment freshwater ecosystems in connection with water quality issues / A. P. Sadchikov, S. V. Kotelevtsev, S. A. Ostroumov // Water Magazine. – 2017. – № 7 (119). – pp. 8-11.
20. Садчиков А.П. Утилизация растворенного органического вещества микроорганизмами: формирование качества воды в высококотрофном пруду / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Рыбное хозяйство. 2020. – № 3. – с. 58-62. – DOI 10.37663-6184-2020-3-58-62.
20. Sadchikov A. P. Utilization of dissolved organic matter by microorganisms: formation of water quality in a highly trophic pond / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Fish industry. 2020. - No. 3. - pp. 58-62. - DOI 10.37663-6184-2020-3-58-62.
21. Садчиков А.П. Формирование качества воды в пресноводной экосистеме и потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 2. – с. 65-69.
21. Sadchikov A. P. Formation of water quality in a freshwater ecosystem and consumption of low-molecular organic matter by algae and bacteria / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Fisheries. - 2019. - No. 2. - pp. 65-69.
22. Остроумов С.А. Динамика содержания азота, фосфора и углерода в частицах детрита, взвешенного в водной фазе экосистем: рассмотрение в связи с формированием качества воды и экзометаболизмом / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Экологическая химия. – 2018. – том 27. – № 4. – с. 201-208.
22. Ostroumov S. A. Dynamics of nitrogen, phosphorus and carbon content in detritus particles suspended in the water phase of ecosystems: consideration in connection with the formation of water quality and exometabolism / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Ecological chemistry. - 2018. - volume 27. - no. 4. - pp. 201-208.
23. Садчиков А.П. Качество воды в экосистемах – источниках водоснабжения: изменения содержания фосфора в частицах взвешенного в воде вещества / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Экология промышленного производства. – 2018. – № 2. – с. 22-25.
23. Sadchikov A. P. water Quality in ecosystems - sources of water supply: changes in the content of phosphorus in particles of suspended matter in water / A. p. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Ecology of industrial production, 2018, no. 2, pp. 22-25.
24. Садчиков А.П. Эколого-биохимические аспекты изучения качества вод: внеклеточная ферментативная активность в воде водной экосистемы / А.П. Садчиков, С.В. Котелевцев, С.А. Остроумов // Рыбное хозяйство. – 2017. – № 6. – с. 52-57
24. Sadchikov A. P. Ecological and biochemical aspects of water quality study: extracellular enzymatic activity in water of the aquatic ecosystem / A. p. Sadchikov, S. V. Kotelevtsev, S. A. Ostroumov // Fish farming. - 2017. - No. 6. - pp. 52-57
25. Куликов А.С. Общая активность бактерий седиментационного детрита, измеренная с помощью флуоресцеиндиацетата / А.С. Куликов, А.П. Садчиков, В.Н. Максимов // Микробиол. журнал. – 1989. – т. 51. – № 5. – с. 7-11.
25. Kulikov A. S. Total activity of sedimentation detritus bacteria measured using fluoresceindiacetate / A. S. Kulikov, A. P. Sadchikov, V. N. Maksimov // Microbiol. journal. - 1989. - vol. 51. - no. 5. - p. 7-11.
26. Садчиков А.П. Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном органического вещества / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // Гидробиол. журн. – 1990. – Т. 26. – № 6. – С. 13-16.
26. Sadchikov A. P. Transformation of organic matter extracted in vivo by phytoplankton / A. p. Sadchikov, A. S. Kulikov // Hydrobiol. Zhurnal. - 1990. - Vol. 26. - No. 6. - P. 13-16.
27. Садчиков А.П. Прижизненное выделение растворенного органического вещества фитопланктоном Можайского водохранилища и его утилизация бактериальным сообществом / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // Информ. бюлл. Биология внутренних вод АН СССР. – 1990. – № 89. – С. 34-37.
27. Sadchikov A. P. Lifetime isolation of dissolved organic matter by phytoplankton of the Mozhaisk reservoir and its utilization by the bacterial community / A. p. Sadchikov, A. S. Kulikov // inform. bull. Biology of internal waters of the USSR Academy of Sciences, 1990, no. 89, Pp. 34-37.
28. Faust M.A Photosynthesis, extracellular release, and heterotrophy of dissolved organic matter in Rhode river estuarine plankton / M.A. Faust, R.J. Chrost // In: Neilson B.F., Cronin L.E. (eds), Estuaries and nutrients, humana press Ins. Californ. N.J. –1981. – P. 465-479.
29. Садчиков А.П. Прижизненное выделение растворенного органического вещества фитопланктоном Можайского водохранилища и его утилизация бактериальным сообществом / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // Информ. бюлл. Биология внутренних вод АН СССР. – 1990. – № 89. – С. 34-37.
29. Sadchikov A. P. in Vivo selection of dissolved organic matter by phytoplankton of the Mozhaisk reservoir and its utilization by the bacterial community / A. P. Sadchikov, A. S. Kulikov // inform. bull. Biology of internal waters of the USSR Academy of Sciences, 1990, no. 89, Pp. 34-37.
30. Ostroumov S.A. Dynamics of the content of nitrogen, phosphorus, and carbon in the detrital particles suspended in water phase of ecosystems: consideration of water quality formation and exometabolism / S.A. Ostroumov, A.P. Sadchikov // Russian Journal of General Chemistry. – 2018. – Vol. 88 (13), – P. 2912-2917. – <https://www.researchgate.net/publication/331099556>.
31. Ostroumov S.A. On the Biotic Self-purification of Aquatic Ecosystems: Elements of the Theory / S.A. Ostroumov // Doklady Biological Sciences. – 2004. –v.396, – pp.206-211. – <https://www.academia.edu/40842047>.
32. Ostroumov S. A. On the Multifunctional Role of the Biota in the Self-Purification of Aquatic Ecosystems / S.A. Ostroumov // Russian Journal of Ecology. – 2005. – 36(6). – 414-420. – <https://www.academia.edu/1893226>.
33. Ostroumov S.A. On some issues of maintaining water quality and self-purification / S.A. Ostroumov // Water Resources. – 2005. – 32(3). – pp.305-313. – <https://www.academia.edu/790308>.
34. Ostroumov S.A. Biomachinery for maintaining water quality and natural water self-purification in marine and estuarine systems: elements of a qualitative theory / S.A. Ostroumov // International Journal of Oceans and Oceanography. – 2006. – 1(1). – pp.111-118.
35. Ostroumov S.A. Biocontrol of Water Quality: Multifunctional Role of Biota in Water Self-Purification / S.A. Ostroumov // Russian Journal of General Chemistry. – 2010. – Vol. 80. – p. 2754-2761. – <https://www.academia.edu/1892485>. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S1070363210130086>.
36. Ostroumov S.A. Water quality and conditioning in natural ecosystems: biomachinery theory of self-purification of water / S.A. Ostroumov // Russian Journal of General Chemistry. – 2017. – 87(13). – pp. 3199-3204. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S107036321713014X>.
37. Остроумов С. А. Качество и кондиционирование воды в природных экосистемах: разработка теории биологических механизмов самоочищения воды / С.А. Остроумов // Экологическая химия. – 2017. – 26(4). – С. 175-182. – <https://www.academia.edu/38001239>.
37. Ostroumov S. A. the Quality and conditioning of water in natural ecosystems: development of the theory of the biological mechanisms of water self-purification / S. A. Ostroumov // Ecological chemistry. – 2017. – 26(4). – Pp. 175-182. – <https://www.academia.edu/38001239>.
38. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов / С.А. Остроумов // М.: МАКС. Пресс. – 2008. – 200 с. (Серия «Наука. Образование. Инновации». – том 9). – <http://scipeople.com/publication/68016/>; <https://istina.msu.ru/publications/book/610206>
38. Ostroumov S. A. Hydrobionts in water self-purification and biogenic migration of elements / S. A. Ostroumov // Moscow: MAX. Press. - 2008. - 200 p. (Series " Science. Education. Innovations". - volume 9). – <http://scipeople.com/publication/68016/>; <https://istina.msu.ru/publications/book/610206>