

Утилизация растворенного органического вещества микроорганизмами: формирование качества воды в высокотрофном пруду

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:
 планктон, водоросли,
 бактерии, гидролизат
 белка, растворенное
 органическое вещество,
 гетеротрофная активность,
 деструкционные
 процессы, минерализация
 органического вещества

Keywords:
 plankton, algae, bacteria,
 protein hydrolyzate, dissolved
 organic matter, heterotrophic
 activity, destruction processes,
 mineralization of organic
 matter

USE OF DISSOLVED ORGANIC MATTER BY MICROORGANISMS: FORMATION OF WATER QUALITY IN A POND OF A HIGH TROPHIC LEVEL

Sadchikov A.P., Doctor of Sciences, Professor – International Biotechnology Center of MSU
Ostroumov S.A., Doctor of Sciences – Moscow State University, ar55@yandex.ru

The role of algae and bacteria in the consumption and mineralization of dissolved organic matter (DOM) in a highly trophic aquatic ecosystem was studied. The phytoplankton and bacterioplankton community consumed 60% of added DOM in August and 56% of DOM in September. Of the uptaken DOM, a significant amount of organic carbon was mineralized. In August 42.7% and in September 29% of organic carbon (of the consumed organic matter) were used for respiration.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов, важных для качества воды, имеет большое значение для рыбного хозяйства, поскольку рыбопродуктивность водоемов в большей мере зависит от чистоты воды. Многие из водоемов, в которых выращивается рыба, характеризуются высокой степенью трофности, поэтому изучение формирования качества воды в высокотрофных экосистемах представляет повышенный интерес.

Потребление органического вещества микроорганизмами является важной частью функциональной активности водных сообществ, которое

способствует повышению качества воды [1; 2; 3; 4; 5; 6]. По мере повышения трофности водоемов, количество гидробионтов в них повышается. Соответственно, возрастает интенсивность потребления и минерализации органического вещества. В конечном счете это положительно сказывается на качестве воды.

Известно, что мелкие по размеру водоросли обладают более высокой физиологической активностью, чем крупные [2]. В связи с этим, их фотосинтетическая активность и скорость потребления органического вещества, а, соответственно, и его транс-

формация разными размерными группами фитопланктона сильно различается [2; 7]. Интенсивность деструкционных процессов бактерий зависит не только от их численности, но и присутствия в толще воды взвешенных частиц, в первую очередь – детрита. Наличие в воде детрита и иной взвеси резко ускоряет скорость разрушения органического вещества [8; 9; 10]. Данная проблема является актуальной, так как раскрывает разные стороны экологической роли водорослей и бактерий в природе. Однако таких исследований в природных водоемах явно недостаточно, поэтому цель нашей работы состояла в установлении роли микробиоты (водорослей и бактерий) в потреблении органического вещества в высокотрофном водоеме, в котором присутствовали большое количество мелких размерных групп водорослей, бактерий и детрита.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводили в небольшом высокотрофном пруду, расположенном вблизи д. Блазново Можайского района (Московская область). Пруд располагается недалеко от животноводческой фермы, куда периодически поступали ее стоки. Из-за этого в нем наблюдалась высокая численность бактерий и небольших по размеру зеленых водорослей.

С периодичностью три раза в месяц определяли потребление низкомолекулярных органических веществ (гидролизата белка) сообществом фито- и бактериопланктона. Пробы воды отбирали в поверхностном слое водоема (на глубине около 0,25 м), разливали в темные склянки (в 6 повторностях – для повышения статистической значимости результатов), добавляли ^{14}C -гидролизат белка фирмы Amersham (США) из расчета, чтобы в склянке количество белка было около 30 мкг С/л (рассчитывали исходя из его концентрации, указанной в техническом паспорте препарата). Сосуды экспонировали на глубине отбора проб в течение 8 часов.

После экспозиции из склянок отделяли водоросли и бактерии (фильтровали через сита разного размера и мембранные фильтры) [11; 12; 13; 14; 15]. Из освобожденного от водорослей фильтрата отфильтровывали бактерий (в 6 повторностях) через фильтры с порами 0,2 мкм. В дальнейшем полученный фильтрат подкисляли до величины рН3 и продували воздухом в течение 30 мин для удаления, выделенного при дыхании микроорганизмов $^{14}\text{CO}_2$, и измеряли его радиоактивность [1; 12; 13; 14; 15]. Интенсивность барботации пробы составляла 100-150 мл/мин. Также измеряли радиоактивность фильтрата до его подкисления и барботации. Подсчет радиоактивности образцов проводили на сцинтилляционном счетчике «Rackbeta 1217» (фирма LKB).

Интенсивность дыхания (деструкции) планктонного сообщества находили по разнице

Установлена роль водорослей и бактерий в потреблении и минерализации растворенного органического вещества (РОВ) в высокотрофном водоеме. Сообщество фито- и бактериопланктона потребляет в августе 60%, в сентябре – 56% растворенного органического вещества (РОВ). Из поглощенного РОВ значительная часть была минерализована. На дыхание было использовано 42,7% в августе и 29% в сентябре (от потребленного органического вещества).

между количеством внесенного в экспериментальные сосуды меченого РОВ, потребленного фито- и бактериопланктоном и оставшегося в фильтрате после барботации [16].

Для дальнейших расчетов использовали среднее значение радиоактивности шести фильтров фракции водорослей и бактерий (для повышения статистической значимости результатов). Потребление меченого РОВ водорослями и бактериями пересчитывали на один час.

В экспериментах, в качестве аналога легкоусвояемого РОВ, использовали меченый по ^{14}C -гидролизат белка, содержащий набор аминокислот. Его концентрация составляла доли процента той, которая обычно наблюдается в водоемах [17; 18], поэтому по интенсивности включения в клетки микроорганизмов меченого РОВ можно с небольшими допущениями судить о процессах, протекающих в водоемах.

Необходимо отметить особенности употребления некоторых терминов в данной статье. Работа велась с различными размерными фракциями планктона.

Процесс фильтрации осуществлялся следующим образом. Вначале сообщество планктона фильтровали через мельничное сито размером 20 мкм. Далее работали с фракцией, прошедшей через это сито. Затем от этой фракции отделяли более мелкие размерные фракции, согласно методике [13; 14; 15]. При дальнейшей работе вначале фракцию фильтровали через фильтр с порами 4 мкм. То, что прошло через этот фильтр, далее фильтровали через другой фильтр с порами 0,2 мкм. Та фракция, которая прошла через фильтр с порами 4 мкм, но не прошла через поры 0,2 мкм, рассматривалась как бактериопланктон-содержащая фракция. Для краткости в данной статье бактериопланктон-содержащая фракция именуется «бактериопланктон».

Что касается другой фракции, которая прошла через сито 20 мкм, но задержалась фильтром с порами 4 мкм, то она рассматривалась как фитопланктон-содержащая фракция. Для краткости фитопланктон-содержащая фракция именуется в данной статье как «фитопланктон».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокотрофный пруд находится недалеко от животноводческой фермы. Его глубина была

Таблица 1. Потребление меченого по ^{14}C органического вещества фито- и бактериопланктоном в высокотрофном пруду (в процентах от внесенного в экспериментальные сосуды). В каждом эксперименте измерения делали в шести повторностях. В таблице приведены цифры, усредненные по всем повторностям / **Table 1.** Consumption of labeled C^{14} organic matter by phyto- and bacterioplankton in high trophic pond (in percent, averaged). Each value was measured sixfold.

Месяцы	Диапазон измеренных значений (по трем экспериментам в разные дни)	Среднее по трем экспериментам в разные дни
Август	36,2 – 75,5	60,0
Сентябрь	52,1 – 60,2	56,2

1,5-2 м, прозрачность в течение сезона была в пределах 0,7-1,1 м (в среднем за сезон 0,8 м). Органическое вещество, поступающее с животноводческими стоками, является одной из причин массового развития водорослей и бактерий. Пруд имеет низкую прозрачность из-за развития водорослей и большого содержания взвешенных глинистых частиц (животные периодически заходят в воду и взмучивают ил). В отдельные периоды сезона прозрачность не превышала 0,2 м. Значения pH в среднем за сезон составляли 7,9 [11].

Численность бактерий достигала 50 млн кл/мл, изменение их численности в основном зависело от температуры воды и поступления стоков с фермы вместе с дождевыми водами. В пруду в течение всего лета доминировал *Aphanizomenon flos-aquae*, который присутствовал в двух размерных фракциях – колонии до 20 мкм и более крупные. В состав наннопланктона (размер до 20 мкм) входили и играли ведущую роль мелкие зеленые и иные водоросли (*Chlamydomonas* sp., *Cryptomonas* sp., *Chlorella* sp., небольшие колонии *Aphanizomenon flos-aquae*). Кроме того, присутствовали крупные и колониальные водоросли (размер более 50 мкм) *Aphanizomenon flos-aquae*, *Euglena* sp., *Pandorina morum*, *Microcystis* sp., *Phacus pleuronectes* и др. Наличие большого количества зеленых водорослей указывает на высокую трофность этого водоема и содержание большого количества растворенного органического вещества (РОВ). В этом водоеме по биомассе в основном доминировала фракция водорослей размером до 20 мкм. На ее долю в течение сезона приходилось от 29 до 100% биомассы водорослей (в среднем за сезон – 85% массы фитопланктона). В первой половине лета на долю этой фракции приходилось более 90% биомассы фитопланктона, во второй – 45% фитопланктонного сообщества.

Как уже отмечалось, в экспериментальные сосуды вносили меченый по ^{14}C гидролизат белка в концентрации около 30 мкг С/л (см. методику), в конце опыта в сосуде осталось всего 0,1-0,4 мкг С/л этого РОВ. Это показывает, что фито- и бактериопланктон способен потреблять легкоусвояемое органическое вещество до ничтожно малых концентраций. Причем, интенсивность потребления РОВ зависит не только от общего количества

фито- и бактериопланктона и температуры среды, но и присутствия агрегированных бактерий и детрита. Когда в водоемах преобладали одиночные бактериальные клетки, концентрация неиспользованного меченого РОВ в экспериментальных сосудах было на уровне 1,5-2,5 мкг С/л, а когда повышалась доля агрегатов – снижалась почти в 6-10 раз (до 0,1-0,4 мкг С/л). Это можно объяснить, с одной стороны, высокой физиологической активностью агрегированных бактерий (колониальных и обитающих на детрите) и сорбционной способностью детрита. На детрите происходит концентрирование РОВ, которое в дальнейшем потребляется обитающими там бактериями [16].

В течение исследованного периода значительная часть внесенного в экспериментальные сосуды меченого РОВ потреблялась сообществом фито- и бактериопланктона. По этим показателям можно судить о деструкционных процессах, протекающих в водоемах. Наиболее активно потребление меченого РОВ осуществлялось в середине лета, чему способствовало интенсивное развитие микроорганизмов (водорослей и бактерий), а также поступление органического вещества в процессе жизнедеятельности водорослей (в том числе и при их отмирании) и прогрев водоема.

В августе и сентябре в высокотрофном пруду меченый гидролизат белка потреблялся сообществом водорослей и бактерий достаточно интенсивно, в различные дни от 36 до 75% (табл. 1). В среднем за август потребление РОВ составило 60%, в среднем за сентябрь – 56,2%. В сентябре снижение температуры не очень сильно сказалось на гетеротрофной активности водорослей и бактерий.

Большая часть потребленного органического вещества сообществом водорослей и бактерий использовалась на дыхание и минерализовалась.

В высокотрофном пруду, в среднем, в августе минерализовалось 42,7% поглощенного растворенного органического вещества, а в сентябре – 29% поглощенного растворенного органического вещества (в этих расчетах все количество поглощенного РОВ принималось за 100%). Для сравнения отметим, что в среднем за вегетационный сезон в мезотрофном Можайском водохранилище и в эвтрофном водоеме минерализовалось, соответственно, 65%

и 41% поглощенного РОВ [9]. Эти результаты соизмеримы с другими нашими данными, полученными с использованием кислородного метода [8; 19; 20].

Наиболее интенсивно деструкционные процессы осуществлялись во время развития фитопланктона и появления в среде легкоусвояемого РОВ. В высокотрофном пруду, несмотря на высокие численности бактерий (до 50 млн кл/мл), также, как и в двух других водоемах, около 70% потребленного меченого РОВ приходилось на долю водорослей. В этом водоеме доминировала размерная фракция до 20 мкм (около 85% биомассы фитопланктона); на ее долю приходилось 85% потребленного гидролизата белка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В трех исследованных водоемах сообщество фито-и бактериопланктона активно потребляет легкоусвояемое органическое вещество до ничтожно малых концентраций. В экспериментальные сосуды вносили около 30 мкг С/л, а в конце эксперимента в них РОВ оставалось в пределах 0,1-0,4 мкг С/л. На интенсивность потребления меченого РОВ влияло не только общее количество микроорганизмов (водорослей и бактерий), но и присутствие в среде детрита и агрегированных бактерий. Когда в среде преобладали одиночные бактериальные клетки, в экспериментальных сосудах оставалось 1,5-2,5 мкг С/л, а если повышалась доля агрегатов, то количество меченого РОВ уменьшалось до 0,1-0,2 мкг С/л. Это, скорее всего, связано с высокой физиологической активностью агрегированных бактерий и сорбционной способностью детрита.

С увеличением трофности водоемов гетеротрофная активность фито-и бактериопланктона возрастает, что в значительной степени связано с общим количеством в них потребителей этого РОВ, наличием взвеси (детрита) и высоким содержанием органического вещества. В мезотрофном водоеме сообщество фито-и бактериопланктона потребляло в среднем 43%, внесенного в сосуды, меченого РОВ, в эвтрофном пруду – 61%. [9]. Как указано выше в данной публикации, потребление РОВ в высокотрофной (гипертрофной) экосистеме в августе составляло в среднем 60%. Интенсивность потребления органического вещества во многом зависит от развития водорослей и бактерий.

Значительная часть потребленного РОВ использовалась при дыхании и минерализовалась организмами: в мезотрофном Можайском водохранилище эти показатели были в среднем 65%, в эвтрофном пруду – 41%. В высокотрофной (гипертрофной) экосистеме минерализация РОВ составляла в августе 42,7%, в сентябре – 29%. То есть, по мере увеличения трофности водоемов минерализация органического вещества, по сравнению с мезотрофной экосистемой, уменьшалась.

Изученные аспекты функционирования во-

дорослей и бактерий существенны для формирования качества воды и ее самоочищения [3; 21; 22; 23]. Подчеркнем, что в последнее время приобретает большое значение еще один аспект функционирования водных экосистем и живущих в воде организмов (включая водоросли и бактерии) – а именно, экосистемные услуги по улучшению и поддержанию качества воды, предоставление чистой воды [5; 24]. Понимание роли водорослей и бактерий в удалении органического вещества из воды вносит вклад в понимание вышеуказанных важных вопросов.

Изучение высокотрофных пресноводных экосистем [25; 26] представляет повышенный интерес для рыбного хозяйства и разработки научных основ аквакультуры, поскольку водоемы для рыборазведения часто характеризуются повышенным уровнем трофности.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивность потребления растворенного органического вещества во многом зависит от развития водорослей и бактерий. В августе и сентябре в высокотрофном пруду РОВ (меченый гидролизат белка) потреблялся сообществом фитопланктона и бактериопланктона достаточно интенсивно – в различные дни от 36 до 75%. В среднем за август потребление РОВ составило 60%, в среднем за сентябрь – 56,2%.

2. В высокотрофной экосистеме минерализация РОВ составляла в августе 42,7%, в сентябре – 29%.

3. Приведенные в статье количественные данные о роли фитопланктона и бактериопланктона в потреблении низкомолекулярного РОВ в экосистемах разной трофности получены впервые.

Авторы благодарят аспирантов, стажеров и студентов МГУ за участие в работе, оказании помощи в сборе и обработке части материалов. Приносим благодарность сотрудникам кафедры гидробиологии МГУ биологического факультета за консультации и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Садчиков А.П., Макаров А.А. Потребление и трансформация низкомолекулярного растворенного органического вещества фито-и бактериопланктоном в двух водоемах разной трофности // Водные ресурсы. – 2000. Том 27, № 1. – С. 72-75.
1. Sadchikov A.P., Makarov A.A. Potreblenie i transformaciya nizkomolekulyarnogo rastvorennogo organicheskogo veshchestva fito-i bakterioplanktonom v dvuh vodoemah raznoj trofnosti // Vodnye resursy. – 2000. V. 27, № 1. – Pp. 72-75.
2. Садчиков А.П. Продукция и трансформация органического вещества размерными группами фито-и бактериопланктона: Автореф. дисс. ...докт. биол. наук. – М., МГУ, 1997. – 53 с.
2. Sadchikov A.P. Producirovanie i transformaciya organicheskogo veshchestva razmernymi gruppami fito-i bakterioplanktona: Avtoref. diss. ...dokt. biol. nauk. – М., МГУ, 1997. – 53 p.
3. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. Москва, МАКС-Пресс. 2008, 200 с. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>

3. Ostroumov S.A. *Gidrobionty v samoochishchenii vod i biogennoj migracii elementov*. Moskva, MAKS-Press. 2008, 200 p. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>
4. Остроумов С.А. О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории. Доклады Академии наук. 2004. Т. 396. № 1. – С. 136-141. <https://www.researchgate.net/publication/265294672>
4. Ostroumov S.A. O bioticheskom samoochishchenii vodnyh ekosistem. Elementy teorii. Doklady Akademii nauk. 2004. V. 396. № 1. – Pp. 136-141. <https://www.researchgate.net/publication/265294672>
5. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. Москва, МАКС-Пресс. 2008, 200 с. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>
5. Ostroumov S.A. Hidrobionty v samoochishchenii vod i biogennoj migracii elementov. Moskva, MAKS-Press. 2008, 200 p. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>
6. Остроумов С.А. Качество и кондиционирование воды в природных экосистемах разработка теории биологических механизмов самоочищения воды // Экологическая химия 2017, 26(4); 175–182. <https://www.researchgate.net/publication/319955185>
6. Ostroumov S.A. Kachestvo i kondicionirovanie vody v prirodnyh ekosistemah razrabotka teorii biologicheskikh mekhanizmov samoochishcheniya vody // Ekologicheskaya himiya 2017, 26(4); 175-182. <https://www.researchgate.net/publication/319955185>
7. Кузьменко М.И. Миксотрофизм синезеленых водорослей и его экологическое значение. – Киев: Наукова Думка, 1981. – 210 с.
7. Kuz'menko M.I. Miksotrofizm sinezelenyh vodoroslej i ego ekologicheskoe znachenie. – Kiev: Naukova Dumka, 1981. – 210 p.
8. Садчиков А.П., Каниковская А.А. Роль бактериопланктона в деградации органического вещества Можайского водохранилища // Микробиол. журн. – 1984. – Т. 46, вып. 4. – С. 10-14.
8. Sadchikov A.P., Kanikovskaya A.A. Rol' bakterioplanktona v destrukcii organicheskogo veshchestva Mozhajskogo vodohranilishcha // Mikrobiol. zhurn. – 1984. – V. 46, Issue 4. – Pp. 10-14.
9. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Формирование качества воды в пресноводной экосистеме и потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями // Рыбное хозяйство. – 2019. – № 2. – С. 65-69.
9. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Formirovanie kachestva vody v presnovodnoj ekosisteme i potreblenie nizkomolekulyarnogo organicheskogo veshchestva vodoroslyami i bakteriyami // Rybnoe hozayajstvo. – 2019. – № 2. – Pp. 65-69.
10. Ostroumov S.A., Sadchikov A.P. 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. // Russian Journal of General Chemistry, 2018. Vol. 88 (13), P. 2912-2917. <https://www.researchgate.net/publication/331099556>
11. Садчиков А.П., Козлов О.В. Продукция нано- и сетного фитопланктона в трех разных по трофности водоемах // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, № 1. – С. 3-9.
11. Sadchikov A.P., Kozlov O.V. Produktiya nanno- i setnogo fitoplanktona v trekh raznyh po trofnosti vodoemah // Gidrobiol. zhurn. – 1993. – V. 29, № 1. – Pp. 3-9.
12. Садчиков А.П., Макаров А.А. Прижизненное выделение органического вещества фитопланктоном в трех водоемах разной трофности (методические аспекты) // Гидробиол. журн. – 1997. – Т. 33, № 2. – С. 104-108.
12. Sadchikov A.P., Makarov A.A. Prizhiznennoe vydelenie organicheskogo veshchestva fitoplanktonom v trekh vodoemah raznoj trofnosti (metodicheskie aspekty) // Gidrobiol. zhurn. – 1997. – V. 33, № 2. – Pp. 104-108.
13. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Методические аспекты изучения продукционно-деструкционных процессов в водных экосистемах // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 a. Vol.25. – P.139-146.
13. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Metodicheskie aspekty izucheniya produkcionno-destrukcionnyh processov v vodnyh ekosistemah // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 a. Vol.25. – Pp. 139-146.
14. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями (на примере мезотрофной экосистемы) // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 b. Vol.25. –P.146-153.
14. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Potreblenie nizkomolekulyarnogo organicheskogo veshchestva vodoroslyami i bakteriyami (na primere mezotrofnoj ekosistemy) // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 b. Vol.25. – Pp. 146-153.
15. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Совершенствование методологии при изучении гетеротрофной активности водорослей и бактерий // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 c. Vol.25. –P.153-160.
15. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Sovershenstvovanie metodologii pri izuchenii geterotrofnoj aktivnosti vodoroslej i bakterij // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018 c. Vol.25. – Pp. 153-160.
16. Садчиков А.П., Куликов А.С. Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном органического вещества // Гидробиол. журн. – 1990. – Т. 26, № 6. – С. 13-16.
16. Sadchikov A.P., Kulikov A.S. Transformaciya prizhiznennogo vydelennogo fitoplanktonom organicheskogo veshchestva // Gidrobiol. zhurn. – 1990. – V. 26, № 6. – Pp. 13-16.
18. Енаки Г.А. О количественном составе органического вещества вод днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. – 1972. – Т. 8, № 1. С. 38-42.
18. Enaki G.A. O kolichestvennom sostave organicheskogo veshchestva vod dneprovskih vodohranilishch // Gidrobiol. zhurn. – 1972. – V. 8, № 1. Pp. 38-42.
19. Кораблева А.И. Взаимосвязь компонентов РОВ и планктона в водоемах интенсивного комплексного использования // Водные ресурсы. – 1989. – № 2. – С. 171-174.
19. Korableva A.I. Vzaimosvyaz' komponentov ROV i planktona v vodoemah intensivnogo kompleksnogo ispol'zovaniya // Vodnye resursy. – 1989. – № 2. – Pp. 171-174.
20. Садчиков А.П., Каниковская А.А. Сезонные изменения взаимоотношений фито- и бактериопланктона в толще воды мезотрофного водоема. // журнал Научные доклады высшей школы. Биологические науки. Деп. ВИНТИ, № 3360-85 от 17.05.1985 (62 с.), – с.1-62.
20. Sadchikov A.P., Kanikovskaya A.A. Sezonnnye izmeneniya vzaimootnoshenij fito-i bakterioplanktona v tolshe vody mezotrofno go vodoema. // zhurnal Nauchnye doklady vysshej shkoly. Biologicheskie nauki. Dep. VINITI, № 3360-85 ot 17.05.1985 (62 p.), – Pp. 1-62.
21. Каниковская А.А., Садчиков А.П. Изучение сезонных изменений взаимоотношений фито- и бактериопланктона Можайского водохранилища. 1. Сезонные изменения численности и биомассы планктона в зависимости от основных гидробиологических характеристик. // В журнале Научные доклады высшей школы. Биологические науки, 1985, № 7. – С. 55-62.
21. Kanikovskaya A.A., Sadchikov A.P. Izuchenie sezonnyh izmenenij vzaimootnoshenij fito- i bakterioplanktona Mozhajskogo vodohranilishcha. 1. Sezonnnye izmeneniya chislennosti i biomassy planktona v zavisimosti ot osnovnyh gidrobiologicheskikh harakteristik. // V zhurnale Nauchnye doklady vysshej shkoly. Biologicheskie nauki, 1985, № 7. – Pp. 55-62.
22. Ostroumov S.A. On the biotic self-purification of aquatic ecosystems: elements of the theory. // Doklady Biological Sciences, 2004, Vol. 396, Numbers 1-6, p. 206-211. <https://www.researchgate.net/publication/200567576>; <https://www.researchgate.net/publication/259579685>
23. Ostroumov S.A. Biocontrol of water quality: Multifunctional role of biota in water self-purification // Russian Journal of General Chemistry, 2010, 80(13): 2754-2761; <https://www.researchgate.net/publication/227303635>
24. Ostroumov S.A. Water quality and conditioning in natural ecosystems: biomachinery theory of self-purification of water. // Russian Journal of General Chemistry, 2017, Vol. 87, No. 13, pp. 3199–3204. <https://www.researchgate.net/publication/323122008>
25. Остроумов С.А., Котелевцев С.В. Анализ концепции "услуги экосистем", "устойчивое развитие" // Изучение биосферы и окружающей среды. — 2017. — С. 113–117.
25. Ostroumov S.A., Kotelevcev S.V. Analiz koncepcii "uslugi ekosistem", "ustojchivoe razvitiye" // Izuchenie biosfery i okruzhayushchej sredy. — 2017. — Pp. 113–117.
26. Schiaffino M.R., Diovisalvi N., Molina D.M., Fermani P., Puma C.L., Lagomarsino L., Quiroga M.V., and Perez G.L., 2019. Microbial food-web components in two hypertrophic human-impacted Pampean shallow lakes: interactive effects of environmental, hydrological, and temporal drivers. // Hydrobiologia, Vol. 830(1), pp.255-276.
27. Modley L.A.S., Rampedi I.T., Avenant-Oldewage A., and Van Dyk C., 2020. A comparative study on the biotic integrity of the rivers supplying a polluted, hyper-eutrophic freshwater system: A multi-indicator approach. // Ecological Indicators, Vol. 111, p.105940.