

ВНУТРЕННИЕ ВОДОЕМЫ

Потребление органического вещества планктонными организмами в мезотрофной экосистеме: радиоактивность (на мембранных фильтрах) планктона и детрита, меченого по углероду (^{14}C)

DOI

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

@ ostroumov@mail.bio.msu.ru

Ключевые слова:

качество воды, водоросли, бактерии, цианобактерии, растворенное органическое вещество (РОВ), гетеротрофная активность, взвешенное органическое вещество (ВОВ), детрит, пресноводная экосистема, мембранные фильтры, радиоуглеродный метод

Keywords:

water quality, algae, bacteria, cyanobacteria, dissolved organic matter (DOM), heterotrophic activity, particulate organic matter, detritus, freshwater ecosystem, membrane filters, radiocarbon method

ORGANIC MATTER CONSUMPTION BY PLANKTON ORGANISMS IN MESOTROPHIC ECOSYSTEM: RADIOACTIVITY (ON MEMBRANE FILTERS) OF PLANKTON AND DETRITUS LABELED WITH CARBON (^{14}C)

Doctor of Biological Sciences **S.A. Ostroumov** – leading researcher at the Laboratory of Physical Chemistry of Biomembranes, Lomonosov Moscow State University;
 Doctor of Biological Sciences, Professor **A.P. Sadchikov** – International Biotechnology Center, Lomonosov Moscow State University

To understand the mechanisms of formation of water quality in an aquatic ecosystem, the processes of formation of funds of dissolved organic matter (DOM) and detritus are essential. When the algae die off, the bulk of their contents enter the aquatic environment within one week. Detritus settles at a rate of about one meter per day. In deep water bodies, the destruction of detritus occurs to a significant extent in the water column; in shallow water bodies, it occurs mainly at the bottom. DOM is consumed by bacteria and algae. This article presents the results of an experimental study of the quantitative aspects of DOM transformation and metabolism using natural water samples immediately after they were taken from a mesotrophic freshwater ecosystem. The total heterotrophic activity of various fractions of plankton in natural water was determined. The specific heterotrophic activity (per a unit of biomass) was also determined. It was found that the specific heterotrophic activity of bacteria (per a unit of biomass) in all cases is higher than the activity of phytoplankton. The new results provide a detailed understanding of chemical-biotic interactions in aquatic ecosystems, which is important for the analysis of water self-purification processes.

ВВЕДЕНИЕ

Для состояния и продуктивности популяций рыб и других водных организмов большое значение имеет качество воды в водоемах. Качество воды определяется многими параметрами, в том числе количеством и составом, растворенного в воде, органического вещества.

Основная масса природного органического вещества (ОВ) в водоемах формируется за счет прижизненных и посмертных выделений организмов, в первую очередь фитопланктона. Водоросли прижизненно выделяют в среду до 30-50% синтезированного органического вещества, временами значительно больше [1].

Водоросли, в том числе отмершие, вносят существенный вклад в формирование взвешенного

органического вещества (ВОВ) и растворенного органического вещества (РОВ). ВОВ и РОВ являются важными параметрами качества воды.

При отмирании фитопланктона его клетки лизируются, а их содержимое поступает в среду и утилизируется микроорганизмами. Скорость разрушения водорослей имеет большое значение для жизнедеятельности гидробионтов. С одной стороны, поступление в среду легкоусвояемого ОВ приводит к увеличению численности микроорганизмов, с другой, при низкой скорости лизиса, происходит захоронение отмерших клеток вместе с их содержимым в донных отложениях. Наиболее ярко это проявляется в неглубоких водоемах.

Показано, что скорость оседания детрита составляет около одного метра в сутки и зависит от размера частиц. За одну неделю он успевает опуститься до отметки 7-10 м [1].

Цель данной статьи – установить, в экспериментальных исследованиях, судьбу углерода из биогенных частиц детрита в пресноводной экосистеме на примере мезотрофного Можайского водохранилища (Московская область).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу проводили в мезотрофном Можайском водохранилище; пробы отбирали с глубины 0,5 м в склянки объемом по 250 мл. В них 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. Затем содержимое склянок фильтровали (по 50 мл) через мембранные фильтры (диаметр пор 1,5 мкм). То есть, отфильтровывали имеющиеся там водоросли (и иные частицы) и готовили из них меченый по углероду детрит (далее в данной статье его называли «экспериментальный детрит»).

Часть фильтров с мечеными водорослями помещали в сцинтилляционный счетчик «Rackbeta 1271» (Швеция) для определения исходной радиоактивности. Другую серию нагревали до 50°C (в течение 3 ч) и затем замораживали (6 ч). Получали, таким образом, убитые водоросли, которые условно называли «экспериментальным детритом» [2-5].

Затем к фильтру с меченым «экспериментальным детритом» приклеивали тонкую капроновую нить и подвешивали в склянке, заполненной стерильной водой из водоема. Опытные склянки осторожно помешивали на качалке в течение 30 минут, затем помещали в темный шкаф, где инкубировали их в течение всего эксперимента; склянки периодически осторожно перемешивали.

Отбор проб для дальнейших экспериментов проводили на 1-, 3-, 7- и 15-й день. Из серии склянок с меченым «экспериментальным детритом» отбирали аликвоту воды и фильтровали ее через мембранный фильтр (диаметр пор 0,2 мкм) для удаления взвеси. Фильтрацию проб осуществляли при разрежении 300 мм рт. столба [6; 7]. Полученный фильтрат подкисляли до величины pH3, барботировали в течение 30 минут и определяли его радиоактивность на сцинтилляционном счетчике. Таким образом получали количество, выделившегося при разрушении «экспериментального детрита» (т.е. убитых водорослей), меченого РОВ. При расчетах учитывали сорбцию ^{14}C фильтром [8].

В других экспериментах на Можайском водохранилище в течение лета, с периодичностью три раза в месяц, определяли потребление низкомолекулярного органического вещества (гидролизата белка) бактериальным сообществом. Параллельно в водоеме регистрировали видовой состав фитопланктона.

Пробы воды отбирали в поверхностном слое водоема (на глубине около 0,5 м), разливали в темные склянки (в 6 повторностях), добавляли ^{14}C -гидролизат белка фирмы Amersham (США) из расчета, чтобы в склянке количество белка было

Для понимания механизмов формирования качества воды в водной экосистеме существенное значение имеют процессы формирования фондов растворенного органического вещества (РОВ) и детрита. При отмирании водорослей основная масса их содержимого поступает в среду в течение одной недели. Детрит оседает со скоростью около одного метра в сутки. В глубоких водоемах разрушение детрита происходит в существенной мере в толще воды, в мелких водоемах – преимущественно на дне. РОВ потребляется бактериями и водорослями. В данной статье излагаются результаты экспериментального изучения количественных аспектов трансформации и метаболизма РОВ с использованием образцов природной воды сразу после их взятия из мезотрофной пресноводной экосистемы. Определяли суммарную гетеротрофную активность различных фракций планктона природной воды. Определяли также удельную гетеротрофную активность (приведенную к единице биомассы). Выявлено, что удельная гетеротрофная активность бактерий (приведенная к единице биомассы) во всех случаях выше активности фитопланктона. Новые результаты детализируют понимание химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах, что важно для анализа процессов самоочищения воды.

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 [3-5].

После экспозиции из склянок отделяли бактерии (фильтровали через сита разного размера и мембранные фильтры). Из освобожденного от водорослей фильтрата отфильтровывали бактерий (в 6 повторностях) через фильтры с порами 0,2 мкм и измеряли его радиоактивность. Подсчет радиоактивности образцов проводили на сцинтилляционном счетчике «Rackbeta 1217» (фирма LKB) [3-5, 9].

Интенсивность потребления меченого органического вещества сообществом водорослей и бактерий находили по разнице между количеством внесенного в экспериментальные сосуды меченого РОВ и потребленного фито- и бактериопланктоном. Для дальнейших расчетов использовали среднее значение радиоактивности шести фильтров фракций водорослей и бактерий. Потребление меченого РОВ пересчитывали на один час.

Концентрация меченого по ^{14}C -гидролизат белка составляла доли процента той, которая обычно наблюдается в водоемах, поэтому по интенсивности включения в клетки организмов меченого РОВ можно, с некоторыми допущениями, судить о процессах, протекающих в водоемах.

Как мы уже отмечали в наших предыдущих статьях по данной теме, используется следующая терминология. Размерная фракция планктона, обогащенная бактериями, для краткости называется фракцией бактерий. Размерная фракция планктона, обогащенная фитопланктонными водорослями, для краткости называется фракцией водорослей.

В статье используется термин «фито- и бактериопланктон». Этот термин обозначает суммарную фракцию, содержащую и фитопланктон, и бактериопланктон.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поступление в среду содержимого водорослей («экспериментального детрита»), при их отмирании, осуществляется сразу же, начиная с первого дня опыта. Основная масса органического вещества терялась клетками в течение первой недели после начала опыта (табл. 1). В большинстве экспериментов наибольшие значения выделения РОВ приходились на 3-7-й день опыта. Выделение РОВ в среду в первую неделю было линейным; в течение второй недели поступление в среду органического вещества существенно замедлилось.

Каждое из чисел является средним значением, при усреднении результатов трех экспериментов в течение указанного месяца. Каждое измерение делали в шести повторностях. Таким образом, каждое число является средним значением для 18 измерений.

В первый день опыта экспериментальный детрит выделял в среду около 0,5 мкг С/л. В первую очередь разрушались водоросли с нежными стенками. В последующие дни в среду выделялось несколько больше органического вещества. В планктоне водохранилища преобладали динофитовые водоросли, которые имеют жесткую оболочку, из которых РОВ выделялось значительно медленнее. На 7-й день опыта в среду выделялось максимальное количество меченого РОВ – от 1,8 до 2,3 мкг С/л. Затем выделение РОВ в среду резко уменьшилось. Это, по-видимому, связано с тем, что в это время в водохранилище наблюдался пик в развитии фитопланктона. Плотный слой водорослей на фильтре затруднял лизис клеток и выделение их содержимого в среду.

Скорость потери РОВ клетками отмершего фитопланктона во многом зависит от его видового состава. В течение всего лета в планктоне преобладали динофитовая водоросль *Ceratium hirundinella* и цианобактерии (*Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena* sp.). Зеленые и диатомовые водоросли были представлены незначительно.

Таким образом, разрушение отмерших водорослей и поступление их содержимого в среду происходит в основном в течение одной недели.

Исследования в Можайском водохранилище показали, что отмерший фитопланктон за одну неделю успевает опуститься до отметки 7-10 метров. В неглубоком водоеме, в частности, в пруду глубиной 3 метра (в нем также проводили исследова-

ования), детрит оседает на дно менее разложившимся, чем в водохранилище. Детрит пруда, собранный в ловушки, установленные у дна водоема, содержал в 3-5 раз больше азота и углерода, чем аналогичный детрит водохранилища (глубиной 10-12 м). Дальнейшее разложение детрита осуществляется на дне пруда, что приводило к заморным явлениям и резкому уменьшению содержания кислорода в воде [1].

Как уже отмечалось, в водохранилище в начале лета преобладали диатомовые водоросли, в июле и августе – цианобактерии и динофитовые. На долю динофитовых в августе приходилось до 90% биомассы фитопланктона. Прозрачность воды по диску Секки, в течение периода исследований, изменялась от 0,7 до 3,7 м, величины рН 8.0-9.9 [10].

Численность бактерий, в течение исследованного периода, достигала 3,7 млн кл./мл, из которых, в среднем, на долю одиночных клеток приходилось около 90% бактерий, остальное – на долю агрегированных (колониальные и детритно-бактериальные ассоциации). Наибольшее количество агрегированных бактерий – 15-20% наблюдали в середине августа во время отмирания фитопланктона. Количество частиц планктонного детрита достигало 20 тыс./мл воды. Размер частиц не превышал 50 мкм; скорость его оседания в толще воды составляла 0,8-1,0 м в сутки [11]. Детрит в водохранилище имеет, в основном, альгогенное происхождение, поэтому увеличение его количества наблюдалось в период отмирания фитопланктона.

Для изучения гетеротрофной активности микроорганизмов использовали меченый по ¹⁴C гидролизат белка, содержащий набор аминокислот.

Результаты количественной характеристики гетеротрофной активности планктонных микроорганизмов (бактерии, водоросли) показаны в таблице 2.

В колонке А за 100% принимается суммарное количество метки, внесенное в систему, в колонках Б и В за 100% принимается общее количество метки, поглощенной данной фракцией планктона. Каждое число является средним значением для трех экспериментов в течение данного месяца. Каждое измерение делали в шести повторностях. Таким образом, каждое число является средним значением для 18 измерений.

Наблюдения показали, что фито- и бактериопланктон Можайского водохранилища в течение вегетационного сезона потребляет 20-60% меченого гидролизата белка (от внесенного в экспериментальные сосуды) (табл. 2). Наибольшее количество РОВ потреблялось микроорганизмами в июле, когда численность бактерий достигала 3

Таблица 1. Выделение растворенного органического вещества (РОВ) экспериментальным детритом (мкг С/л) в мезотрофной экосистеме / **Table 1.** Isolation of dissolved organic matter (ROV) by experimental detritus (mcg/l) in a mesotrophic ecosystem

Месяц	Мезотрофная экосистема – выделение РОВ детритом (мкг С/л)	
	1 день	7 день
июнь	0,47	2,32
июль	0,55	1,78

Таблица 2. Трансформация гидролизата белка фито- и бактериопланктоном Можайского водохранилища (в процентах) / **Table 2.** Transformation of protein hydrolysate by phyto- and bacterioplankton of Mozhaisk reservoir (in percent)

Месяцы	Трансформация утилизированного меченого органического вещества (%)				
	А Неиспользованное РОВ (%)	Б Минерализованное РОВ (минерализовано суммарно водорослями и бактериями)	В РОВ, пошедшее на конструктивный обмен водорослей и бактерий (т.е. вошло в состав биомассы водорослей и бактерий)	Включение метки в бактерии размером 0,85-4 мкм (из общего количества РОВ, указанного в предыдущей колонке В)	Включение метки во фракцию водорослей размером более 4 мкм (из общего количества РОВ, указанного в колонке В)
июль	40,7	66,2	33,8	17,1	82,9
август	52,0	52,3	47,7	18,3	81,7

млн кл/мл. Наименьшая гетеротрофная активность наблюдалась в сентябре, когда температура воды понизилась до 12° С.

Более 50-75% потребленного фито- и бактериопланктоном меченого гидролизата белка было минерализовано, а остальное использовалось на конструктивный обмен. Наибольшие показатели (около 48%) наблюдались в августе. В это время температура в толще воды была выше 20°С. Кроме того, наблюдалось отмирание водорослей и, соответственно, обогащение воды растворенным органическим веществом. Как известно, разнообразие продукты стимулируют рост бактерий и водорослей. Меченый по ¹⁴С гидролизат, в состав которого входили соединения разной молекулярной массы, потреблялся не только бактериями, но и водорослями. На их долю в среднем приходилось немногим более 80% потребленного РОВ. Однако, как показал дополнительный анализ, удельная гетеротрофная активность бактерий (приведенная к единице биомассы) во всех случаях была выше активности фито- и бактериопланктона.

Наиболее активно потребление меченого РОВ осуществлялось в середине лета, чему способствовало интенсивное развитие водорослей и бактерий в это время, поступление органического вещества в процессе жизнедеятельности водорослей (в том числе и при их отмирании) и прогрев водоема.

Полученные результаты имеют существенное значение для более полного и глубокого понимания процессов формирования качества воды. И ВОВ (в том числе частицы биогенного детрита), и РОВ являются важными параметрами качества воды. Удаление ВОВ и РОВ из воды [12; 13] входит в комплекс биологических процессов улучшения качества воды и ее самоочищения [14-23].

В течение периода исследований водоросли и бактерии потребляли легкоусвояемое органическое вещество, причем активными потребителями были как бактерии, так и водоросли. Водоросли не только потребляют органическое вещество, они выделяют в среду свои метаболиты (органическое вещество) и тем стимулируют развитие бактерий и потребление ими трудноусвояемого органического вещества [11; 12; 13].

Полученные результаты дополняют и детализируют понимание процессов формирования качества воды и ее самоочищения в природных

экосистемах [14-23]. Новые результаты детализируют понимание химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах.

ВЫВОДЫ

1. Проведен большой объем измерений, характеризующих судьбу радиоактивного углерода частиц детрита, которые были инкубированы в образцах природной воды, содержащей бактерии, цианобактерии и водоросли. Получена новая количественная информация, характеризующая гетеротрофную активность бактерий и водорослей в воде изучавшейся мезотрофной экосистемы.

2. Полученная впервые информация вносит дополнительный вклад в понимание экологических взаимодействий водорослей и бактерий, химико-биотических взаимодействий в водных экосистемах, а также в понимание механизмов формирования качества воды в пресноводных экосистемах.

Благодарность. Авторы благодарят аспирантов и студентов, которые участвовали в работе на отдельных этапах ее проведения. Приносим благодарность Е.А. Криксунову и другим ученым МГУ и РАН за консультации и обсуждение.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Садчиков А.П. Продукция и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона: На примере водоемов Подмосковья: Автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.18 // МГУ им. М.В.Ломоносова. – Москва, 1997. – 53 с.
1. Sadchikov A.P. Production and transformation of organic matter by size groups of phyto- and bacterioplankton: On the example of reservoirs of the Moscow region: Abstract of the dissertation. ... Doctors of Biological Sciences: 03.00.18 // Lomonosov Moscow State University. – Moscow, 1997. – 53 p.
2. Cole J.J., Likens G.E., Hobbie J.E. Decomposition of planktonic algae in an oligotrophic lake. //Oikos, 1984. Vol 42. N 3. – Pp. 257-266.
3. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Методические аспекты изучения продукционно-деструкционных процессов в водных экосистемах / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2018. Vol. 25. – Pp.139-146.
3. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Methodological aspects of the study of productive and destructive processes in aquatic ecosystems / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // Environmental Studies, Hazards, Solutions. 2018. Volume 25. – Pp.139-146.

4. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Потребление низкомолекулярного органического вещества водорослями и бактериями (на примере мезотрофной экосистемы) / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Ecological Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Vol.25. – Pp.146-153.
4. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Consumption of low-molecular organic matter by algae and bacteria (on the example of a mesotrophic ecosystem) / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Environmental Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Volume 25. – Pp.146-153.
5. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Совершенствование методологии при изучении гетеротрофной активности водорослей и бактерий / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // *Ecological Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Vol.25. – Pp.153-160.
5. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. Improving methodology in the study of heterotrophic activity of algae and bacteria / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Environmental Studies, Hazards, Solutions*. 2018. Volume 25. – Pp.153-160.
6. Садчиков А.П., Куликов А.С. Трансформация прижизненно выделенного фитопланктоном органического вещества бактериальным сообществом. / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиологический журнал*. – 1990. – т. 26. – № 6. – С. 13-16.
6. Sadchikov A.P., Kulikov A.S. Transformation of organic matter isolated by phytoplankton in vivo by bacterial community. / A.P. Sadchikov, A.S. Kulikov // *Hydrobiological Journal*. – 1990. – vol. 26. – No. 6. – Pp. 13-16.
7. Садчиков А.П., Куликов А.С. Утилизация посмертных выделений фитопланктона бактериальным сообществом. / А.П. Садчиков, А.С. Куликов // *Гидробиологический журнал*. – 1992. – т. 28. – № 5. – С. 16-21.
7. Sadchikov A.P., Kulikov A.S. Utilization of postmortem secretions by the bacterial community of phytoplankton. / A.P. Sadchikov, A.S. Kulikov // *Hydrobiological journal*. – 1992. – vol. 28. – No. 5. – Pp. 16-21.
8. Садчиков А.П., Френкель О.А. Сорбция меченых соединений мембранными фильтрами. / А.П. Садчиков, О.А. Френкель // *Информ. Бюлл. Биология внутренних вод АН СССР*. – 1990. – № 89. – С. 81-83.
8. Sadchikov A.P., Frenkel O.A. Sorption of labeled compounds by membrane filters. / A.P. Sadchikov, O.A. Frenkel // *Inform. Byull. Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences*. - 1990. – No. 89. – Pp. 81-83.
9. Садчиков А.П., А.А. Макаров Потребление и трансформация низкомолекулярного РОВ фито- и бактериопланктоном в двух водоемах разной трофности. / А.П. Садчиков, А.А. Макаров // *Водные ресурсы*. – 2000. – т.27. – № 1. – С. 72-75.
9. Sadchikov A.P., A.A. Makarov Consumption and transformation of low molecular weight MOAT by phyto- and bacterioplankton in two reservoirs of different trophic capacity. / A.P. Sadchikov, A.A. Makarov // *Water resources*. – 2000. – Issue 27. – No. 1. – Pp. 72-75.
10. Садчиков А.П., Каниковская А.А. Роль бактериопланктона в деструкции органического вещества Можайского водохранилища. / А.П. Садчиков, А.А. Каниковская // *Микробиологический журнал*. – 1984. – т. 46. – вып. 4. – С. 10-14.
10. Sadchikov A.P., Kanikovskaya A.A. The role of bacterioplankton in the destruction of organic matter of the Mozhaik reservoir. / A.P. Sadchikov, A.A. Kanikovskaya // *Microbiological Journal*. – 1984. – vol. 46. – issue 4. – Pp. 10-14.
11. 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), Pp. 2912-2917. <https://www.researchgate.net/publication/331099556> ;
12. Садчиков А.П., Остроумов С.А. 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.
12. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. 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.
13. Садчиков А.П., Остроумов С.А. 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.
13. Sadchikov A.P., Ostroumov S.A. 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 the eutrophic ecosystem. / A.P. Sadchikov, S.A. Ostroumov // *Fisheries*. – 2019. – No.5. – Pp. 60-65.
14. Остроумов С.А. Биологический механизм самоочищения в природных водоемах и водотоках: теория и практика // *Успехи современной биологии*. – 2004. – Т.124. – №5. С. – 429-442. <https://www.academia.edu/790429/>; <http://scipeople.ru/publication/67095/>; www.scribd.com/doc/57695131/.
14. Ostroumov S.A. Biological mechanism of self-purification in natural reservoirs and watercourses: theory and practice // *The successes of modern biology*. - 2004. – Vol.124. – No. 5. – Pp 429-442. <https://www.academia.edu/790429/> ; <http://scipeople.ru/publication/67095/> ; www.scribd.com/doc/57695131/ .
15. Остроумов С.А. О некоторых вопросах поддержания качества воды и ее самоочищения // *Водные ресурсы*. – 2005. – т. 32. – № 3. – С. 337-347. <https://www.researchgate.net/publication/266736152>;
15. Ostroumov S.A. On some issues of maintaining water quality and its self-purification // *Water resources*. - 2005. – vol. 32. – No. 3. – Pp. 337-347. <https://www.researchgate.net/publication/266736152>;
16. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. – М.: МАКС-Пресс, 2008. – 200 с. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>.
16. Ostroumov S.A. Hydrobionts in water self-purification and biogenic migration of elements. – M.: MAKS-Press, 2008. – 200 p. <https://www.researchgate.net/publication/266200066>.
17. Остроумов С.А. Качество и кондиционирование воды в природных экосистемах разработка теории биологических механизмов самоочищения воды // *Экологическая химия*. – 2017. – т.26(4). – С. 175-182. <https://www.academia.edu/43223672/>; <https://www.researchgate.net/publication/319955185>.
17. Ostroumov S.A. Water quality and conditioning in natural ecosystems development of the theory of biological mechanisms of water self-purification // *Environmental chemistry*. – 2017. – vol.26(4). – Pp. 175-182. <https://www.academia.edu/43223672/> ; <https://www.researchgate.net/publication/319955185>
18. Ostroumov S.A. Ecological theory of improving water quality in healthy aquatic ecosystems: theory of water self-purification. // *Green Economy in the Era of Fourth Industrial Revolution*. (Editors: Jovanović L. et al.), 2021. – Pp. 69–92. <https://www.academia.edu/77972322/>.
19. Ostroumov S.A. On the biotic self-purification of aquatic ecosystems: elements of the theory // *Doklady Biological Sciences*. – 2004. – Vol.396. – Pp. 206-211; <https://www.academia.edu/40842047/> ; DOI:10.1023/B:DOBS.0000033278.12858.12.
20. Ostroumov S.A. Biomachinery for maintaining water quality and natural water self-purification in marine estuarine systems: elements of qualitative theory. // *Int. Journal of Oceans Oceanography*. – 2006. – Vol.1. – No.1. – Pp. 111-118. <https://www.academia.edu/44091281/>.
21. Ostroumov S.A. Basics of the molecular-ecological mechanism of water quality formation and water self-purification. // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2008. – Vol.1. – Pp. 147–152. <https://www.academia.edu/1892721/>.
22. Ostroumov S.A. Biocontrol of water quality: Multifunctional role of biota in water self-purification // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2010. – Vol. 80(13). – Pp. 2754-2761. <https://www.academia.edu/1892485/>; <https://www.researchgate.net/publication/227303635>.
23. 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.academia.edu/44021682/>. <https://www.researchgate.net/publication/323122008>.