

<http://b23.ru/nbtw;>

Остроумов С. А. Новый тип действия потенциально опасных веществ: разобщители пелагиально-бентального сопряжения // Доклады академии наук (ДАН) т. 283, № 1. С.138-141.

РЕФЕРАТ: Изучено воздействие ксенобиотика (бихромата калия $K_2Cr_2O_7$) на удаление взвешенного вещества из воды мидиями *Mytilus galloprovincialis*. Показано, что это вещество подавляло удаление взвешенного вещества из воды в ходе ее фильтрации мидиями. Сделан вывод, что это химическое вещество ингибировало фильтрацию воды мидиями. Эти результаты согласуются с предыдущими работами, в которых изучали воздействие других ксенобиотиков и загрязняющих веществ на скорость фильтрации воды двустворчатыми моллюсками. Сходное ингибирование ксенобиотиками и загрязняющими веществами было показано автором на морских (Остроумов, ДАН, 2001, т.378, No.2, с.283-285) и пресноводных (Остроумов, ДАН, 2001, т.380, No.5, с. 714-717) моллюсках. Статья содержит уникальную таблицу, суммирующую количественные данные о доле пищи, которая ассимилируется (и неассимилируется) представителями многих крупных таксонов водных беспозвоночных. Результаты показывают существование нового типа экологической опасности загрязнения вод, когда загрязняющие вещества разобщают связь между пелагиальной частью экосистемы и ее бентальной частью, т.е. пелагиально-бентальное сопряжение. Тем самым возникает угроза нарушения двух фундаментальных биогеохимических закономерностей, подчеркивавшихся В.И.Вернадским.

ABSTRACT: Ostroumov S.A. New type of action of potentially hazardous chemicals: uncouplers of pelagial-benthal coupling // Published in: Doklady Akademii Nauk [DAN]. 2002. v.383. No.1. p.138-141. Translated into English: A new type of effect of potentially hazardous substances: uncouplers of pelagial-benthal coupling. — Doklady Biological Sciences. 2002. Vol. 383: 127-130. Bibliogr. 15. ISSN 0012-4966. DOI 10.1023/A:1015385723150.

The effects of a xenobiotic (potassium bichromate $K_2Cr_2O_7$) on the removal of suspended matter from water by mussels *Mytilus galloprovincialis* was studied. It was shown that the chemical inhibited the removal of suspended matter from water during water filtering by mussels. It was concluded that the chemical inhibited water filtration rate by mussels. The results are in accord with previous findings on effects of other xenobiotics and pollutants on filtration rate by bivalves. The similar inhibition by xenobiotics and pollutants was shown by the author for both marine (Ostroumov, DAN, 2001, vol.378, No.2, p.283-285) and freshwater (Ostroumov, DAN, 2001, vol. 380, No.5, p. 714-717) molluscs. The results demonstrate a new type of ecological hazard from water pollution when the polluting chemicals may uncouple the link between from the pelagial part of the ecosystem and its benthal part, i.e. pelagial-benthal coupling. Organisms are mediators of "biogenic migration of atoms in the biosphere". This migration is partly implemented in the framework of pelagial-benthal coupling. Tables: the quantitative data for the average percentage of assimilated (16-90%) and non-assimilated (10-84%) food matter for 15 large taxa of invertebrates (Table 1); potassium bichromate inhibited water filtration by *Mytilus galloprovincialis* (Table 2); surfactants, detergents, pesticides inhibited filtration by filter-feeders, marine and freshwater bivalves and rotifers (Table 3). A prediction is made: "Further research and experimental studies are expected to provide new evidence that sublethal concentrations of

chemical pollutants induce a significant decrease in the filtration capacity of freshwater and marine filter feeders" (p.129). "The uncoupling process considered above is an anthropogenic violation of the two basic laws (empirical rules or biogeochemical principles) of the biosphere functioning: (1) biogenic migration of atoms of chemical elements in the biosphere always tends toward its maximum expression; (2) on the geological time scale, the evolution of species gives rise to the forms of life that are stable in the biosphere, and is so directed that the biogenic migration of atoms in the biosphere increases" (p.129).

Ключевые слова: опасность химического загрязнения, ксенобиотики, загрязняющие вещества, синтетические поверхностно-активные вещества (ПАВ), детергенты, тяжелые металлы, Cr, усвояемость пищи, трофическая активность, фильтрация воды, беспозвоночные, pellets, фильтраторы, двустворчатые моллюски, коловратки, атлантические и черноморские мидии, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, Unionidae, *Brachionus calyciflorus*, сопряжение между пелагиалью и бенталью, биогенная миграция атомов, пелагиально-бентальное, устрицы, планктон, бентос, гидробионты, взвешенное вещество, фитофаги, новые виды опасности, коллекторы, марикультура, аквакультура, Черное море, Севастополь, смесевые препараты, синтетические моющие средства, СМС, жидкие моющие средства, ЖМС, ЖМС Е, ингибиторы, фитомасса, фекалии моллюсков, псевдофекалии, антропогенное воздействие, биогеохимические принципы, функционирование биосферы, сублетальные концентрации, химия и токсикология окружающей среды, экотоксикология, личинки, каковы количественные данные об усвояемости пищи (ассимилировании пищи) представителями беспозвоночных?, - в том числе Rotatoria, Bryozoa, Gastropoda, Bivalvia, Cladocera, Copepoda, Mysidacea, Isopoda, Amphipoda, Decapoda, Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera; *Saccharomyces cerevisiae*, *Brachionus calyciflorus*, *Plumatella fungosa*; *Asellus aquaticus*, *Lymnaea stagnalis*, ТДТМА, тетрадецилтриметиламмоний бромид; СМС Lanza-automat, Benckiser; СМС IXI Bio-Plus, Cussons; dish washing liquid E, Cussons International Ltd; dish washing liquid Fairy, Procter&Gamble Ltd; АНС, Avon Hair Care; Доклады академии наук, биогеохимических закономерности В.И.Вернадского.

Key words: hazards of chemical pollution, xenobiotics, synthetic surfactants, detergents, heavy metals, Cr, assimilation of food, trophic activity, filtration of water, invertebrates, pellets, filter-feeders, bivalves, rotifers, marine mussels, *Mytilus edulis*, *Mytilus galloprovincialis*, *Crassostrea gigas*, Unionidae, *Brachionus calyciflorus*, coupling between pelagic and benthal, biogenic migration of atoms, pelagic-bental coupling, oysters, plankton, benthos, aquatic organisms, suspended substances, phytophagous, new hazards, collectors, mariculture, aquaculture, Black Sea, Sevastopol, mixtures drugs, detergents, laundry detergents, liquid detergents, inhibitors, phytomass, the feces of mollusks, pseudofaeces, man-made impact, biogeochemical principles, the functioning of the biosphere, sublethal concentrations, chemistry and environmental toxicology, ecotoxicology, larva, what are the quantitative data (percentage) on digestibility of food by invertebrates?, - including species of Rotatoria, Bryozoa, Gastropoda, Bivalvia, Cladocera, Copepoda, Mysidacea, Isopoda, Amphipoda, Decapoda, Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera; *Saccharomyces cerevisiae*, *Brachionus calyciflorus*, *Plumatella fungosa*; *Asellus aquaticus*, *Lymnaea stagnalis*, TDTMA, tetradecyltrimethylammonium bromide; laundry detergent Lanza-automat, Benckiser; detergent IXI Bio-Plus, Cussons; dish washing liquid E, Cussons International Ltd; dish washing liquid Fairy, Procter&Gamble Ltd; АНС, Avon Hair Care; Doklady Akademii Nauk, DAN, Doklady Biological Sciences; <http://scipeople.ru/users/2943391/> <http://sites.google.com/site/ostroumovsa/>

УДК 574.6: 574.64

НОВЫЙ ТИП ДЕЙСТВИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ: РАЗОБЩИТЕЛИ ПЕЛАГИАЛЬНО-БЕНТАЛЬНОГО СОПРЯЖЕНИЯ

С. А.Остроумов

© 2002 г.

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Биологический факультет,
119234 Москва, Воробьевы горы*

Представлено академиком В.Л.Касьяновым 07.11.2001 г.

Поступило 08.11.2001 г.

Гидробионты существенно способствуют "биогенной миграции атомов в биосфере" [1]. Часть этой миграции осуществляется в рамках пелагиально-бентального сопряжения. Трофическая активность донных фильтраторов ведет к усвоению ими органических веществ планктона, синтезированного в пелагиали (например, [2]). Неусвоенное фильтраторами вещество также участвует в пелагиально-бентальном сопряжении. В водных экосистемах имеет место гравитационное оседание взвешенного вещества [2, 3], в том числе пеллет беспозвоночных. Оседающие пеллеты образуются как результат экскреции беспозвоночными-фитофагами вещества неусвоенной и непереваренной пищи. Усвояемость пищи составляет для различных таксонов беспозвоночных 1-98 % [4, 5]; средний процент усвояемости для многих групп организмов 16.2-89.6 % (табл. 1). Соответственно, оставшая часть вещества пищи (около 10.4-83.8%) остается неусвоенной и оседает на дно вместе с пеллетами. Последние переносят в нижние слои водной экосистемы и в местообитания бентосных организмов (бенталь) часть органического вещества, созданного в пелагиали в результате фотосинтеза.

Цель работы – проанализировать вопрос о том, имеется ли потенциальная опасность нарушения пелагиально-бентального сопряжения при воздействии веществ, загрязняющих водоемы. Ранее на опасность подобного нарушения экосистем при воздействии поллютантов внимание не обращалось. В качестве объекта исследований служили двустворчатые моллюски, которые активно участвуют в изъятии и осаждении взвеси из водной массы и тем самым в пелагиально-бентальном сопряжении [6 - 11].

Изучали действие ксенобиотика (бихромата калия) на изъятие взвешенных частиц черноморскими мидиями *Mytilus galloprovincialis*. Методика описана в [10, 11]. Мидии (любезно предоставлены автору А. В. Пирковой и А. Я. Столбовым) были выращены на коллекторах в окрестностях г. Севастополя. Использовали мидии средней массой 6.53 г (в опыте - сосуд с добавленным бихроматом калия) и 6.59 г (в контроле) (сырая масса с раковинами). В сосуды помещали по 13 мидий. Объем морской воды (18 ‰) в сосудах - 500 мл. Начальная концентрация суспензии *Saccharomyces cerevisiae* (САФ-Момент, S.I.Lesaffre, 59703 Marcq-France) 40 мг/л (по сухой массе). Температура 23.4°C. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре СФ26 ЛОМО при длине оптического пути 10 мм. Аналогичные опыты проводили на устрицах *Crassostrea gigas*, также выращенных в условиях марикультуры.

Опыты показали, что соединение хрома способно ингибировать фильтрационную активность моллюсков (табл. 2), что приводит к снижению количества корма, доступного для пищеварительной системы. Уменьшение количества изымаемого из воды корма, то есть снижение рациона, сопровождалось визуально наблюдаемым замедлением и уменьшением образования пеллет. В сосудах, в которых в воду был добавлен раствор бихромата калия (концентрация бихромата калия 0.05 мг/л), в конце эксперимента количество пеллет было заметно меньше, чем в контроле. В условиях наших опытов чувствительность устриц *S. gigas* к бихромату калия была значительно меньше, чем чувствительность мидий *M. galloprovincialis*.

Аналогичное снижение количества изымаемой из воды взвеси (клеток планктона) было зарегистрировано в наших опытах с другими ксенобиотиками – поверхностно-активными веществами (ПАВ) и смесевыми препаратами, в том числе синтетическими моющими средствами (СМС) и жидкими моющими средствами (ЖМС) (табл. 3). Во всех случаях мы наблюдали снижение образования пеллет при воздействии веществ-ингибиторов фильтрационной активности. В табл. 3 приведены лишь некоторые примеры. Ингибирование фильтраторов выявлено также в работах J. Widdows, P. Donkin, D. Page, A. B. Митина и других исследователей - см. [9, 10].

В дополнение к опытам с изъятием взвеси планктона морскими и пресноводными двустворчатыми моллюсками, нами проводились опыты по изучению питания *Lymnaea stagnalis* отмирающей фитомассой (плавающими фрагментами листьев высших растений, моделирующими листовую опад) [10, 12, 13]. *L. stagnalis* выделяли пеллеты непереваренного органического вещества, которые быстро оседали на дно и вносили вклад в сопряжение между пелагиальной и бентальной частями экосистемы (пелагиально-бентальное сопряжение). Из данных о питании *L. stagnalis* в условиях микрокосма следовало, что на 1 г съеденной биомассы растений образовывалось 143.6-153.2 мг сухой массы пеллет, из которой 96.9-106.8 мг (67.5-69.7 %) составлял углерод. Интересно, что образование пеллет при питании фитомассой совершенно различных видов происходило с близкими скоростями. Эти опыты также показали, что загрязняющие вещества способны снижать образование массы пеллет и тем самым снижать поток вещества на дно водной системы. Поедаемая фитомасса (плавающие на поверхности листья – такие как

листовой опад на поверхности водоема) находится в верхних слоях водной массы водоема, то есть в его пелагиальной части, откуда следует, что эти опыты свидетельствуют о возможности нарушения пелагиально-бентального сопряжения.

Таким образом, трофическая активность моллюсков и связанный с этим перенос вещества и энергии по трофической цепи (фитомасса – фитофаги – pellets, экскретируемые фитофагами) ингибировались под воздействием ксенобиотиков. Поскольку pellets оседают на дно и служат существенным компонентом пелагиально-бентального сопряжения, то вышеупомянутое ингибирование вместе с другими данными [14, 15] указывает на новый вид потенциальной экологической опасности химических веществ, которые могут выступать как разобщители этого сопряжения. Результаты ранее опубликованных опытов автора [9-11] доказывают, что ПАВ и детергенты (СМС, ЖМС) являются кандидатами в примеры разобщителей пелагиально-бентального сопряжения в пресноводных и морских экосистемах. Данная работа показывает, что соединения тяжелых металлов (хрома) также способны действовать как такие разобщители. По химической природе исследованные нами вещества различаются, но общим для химически разных веществ является характер их воздействия на гидробионтов (фильтраторов), связанный с экологической опасностью указанного типа.

На основании наблюдения за поведением фильтраторов в экспериментах и проведенного анализа представляется возможным предсказать следующее. В ходе дальнейших исследований и экспериментов будут получены новые факты того, что в условиях воздействия сублетальных концентраций поллютантов на пресноводных и морских фильтраторов их фильтрационная активность, изъятие ими из воды взвешенного вещества и количество экскретируемых ими pellets (фекалий и псевдофекалий) снижается, что приводит к уменьшению накопления массы осевших pellets (и материала взвесей) на дне экспериментального сосуда или водоема по сравнению с контролем (когда воздействие поллютанта отсутствует).

Опасность указанного выше подавления активности фильтраторов, связанного с возможностью разобщения пелагиально-бентального сопряжения и снижения потока вещества от пелагиали к бентали (то есть, используя терминологию В. И. Вернадского, снижения миграции атомов от пелагиали к бентали) фундаментально значима по следующей причине. Указанное разобщение есть антропогенное нарушение двух фундаментальных

закономерностей ("эмпирических обобщений", "биогеохимических принципов" [1]) в структуре и функционировании биосферы: (1) Биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению; (2) Эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов в биосфере" [1].

Автор благодарит А. Ф. Алимова, В. В. Малахова, А.Г.Дмитриеву, Н.В.Ревкову, Н.Н.Колотилкову, других сотрудников МГУ и РАН, сотрудников ИНБЮМ НАНУ Г. Е. Шульмана, Г. А. Финенко, З. А. Романову, А. В. Пиркову, А. Я. Столбова, А. А. Солдатову, J. Widdows, N. Walz, участников конференции "Водные экосистемы и организмы – 3" (июнь 2001 г., Москва) и других за критическое обсуждение, помощь и советы, О. С. Остроумова за помощь. Часть работы поддержана the Open Society Support Foundation, grant RSS No. 1306/1999.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
2. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. Санкт-Петербург: Наука. 2000. 147 с.
3. *Израэль Ю.А., Цыбань А.В.* Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 531 с.
4. *Монаков А. В.* Питание пресноводных беспозвоночных. М.: ИПЭЭ, 1998. 321 с.
5. *Суценья Л.М.* Количественные закономерности питания ракообразных. Минск: Наука и техника, 1975. 208 с.
6. *Алимов А. Ф.* Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков. Л.: Наука, 1981. 248 с.
7. *Шульман Г.Е., Финенко Г.А.* Биоэнергетика гидробионтов. Киев: Наукова думка. 1990. 248 с.
8. *Остроумов С.А., Донкин П., Стафф Ф.* // ДАН. 1998. Т.362. № 4. С. 574-576.
9. *Остроумов С.А.* Биологические эффекты поверхностно-активных веществ в связи с антропогенными воздействиями на биосферу. М.: МАКС-Пресс, 2000. 116 с.
10. *Остроумов С.А.* Биологические эффекты поверхностно-активных веществ в связи с антропогенными воздействиями на организмы. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. М.: МГУ, 2000.
11. *Остроумов С.А.* // ДАН. 2001. т. 378. № 2. С. 283-285.
12. *Остроумов С.А., Колесников М.П.* // ДАН. 2000. Т. 373. №. 2. С. 278-280.
13. *Остроумов С.А., Колесников М.П.*//ДАН. 2001. Т. 379. №. 3. С. 426-429.
14. *Остроумов С.А.* // ДАН. 2000. Т. 375. № 6. С. 847-849.
15. *Остроумов С.А.* // ДАН. 2001. Т. 381. № 5. С. 709-712.

Таблица 1. Усвояемость пищи и средний процент неусвоенного вещества для различных групп беспозвоночных

Группа организмов	Усвояемость, интервал значений %	Усвояемость, среднее значение (рассчитано автором), %	Неусвоенное вещество, среднее значение, (рассчитано автором) %	Источник, комментарии
Rotatoria	48-80	64	36	Для <i>Brachionus calyciflorus</i> [4]
Bryozoa	41.6;	41.6	58.4	<i>Plumatella fungosa</i> ; данные И.А. Скальской - цит. по [4]
Gastropoda	42-82;	62	38	[4]. Количественная оценка переноса химических элементов с пеллетами прудовика <i>Lymnaea stagnalis</i> (L.) сделана в [12, 13]
Bivalvia	4.8 - 90	47.4	52.6	[4, 7]. В природных условиях усвояемость мидий <i>Mytilus galloprovincialis</i> ниже, чем в лабораторных опытах [7]; количественная оценка переноса химических элементов с пеллетами <i>Unionidae</i> сделана в [13]
Cladocera	50.5-85.5	68	32	[4, 5]
Copepoda	30-88	59	41	[4, 5]
Mysidacea	84.2-95	89.6	10.4	[4]
Isopoda	68	68	32	Водяной ослик <i>Asellus aquaticus</i> [4]
Amphipoda	5.5-98	51.75	48.25	[4]
Decapoda	38.7-96.1	67.4	32.6	[4]
Odonata*	20-97.2	58.6	41.4	[4]
Ephemeroptera*	41-72	56.5	43.5	[4]
Plecoptera*	9-73	41	59	[4]
Trichoptera*	5-51	28	72	[4]
Diptera*	1-31.4	16.2	83.8	<i>Cricotopus silvestris</i> ; Родова, Сорокин, 1965 – цит. по [4]
Диапазон средних значений	-	16.2-89.6	10.4-83.8	На основе данных, приведенных в таблице для конкретных групп организмов

* Личинки

Таблица 2. Воздействие бихромата калия (0.05 мг/л) на снижение оптической плотности (550 нм) суспензии *S. cerevisiae* при ее фильтрации мидиями *M. galloprovincialis*.

Измерение, №	Время, мин	Мидии + Cr А	Мидии, - Cr (контроль) В	Без мидий, - Cr (контроль) С	А/В, %
1	5	0.202	0.177	0.287	114.12
2	15	0.195	0.111	0.224	175.68
3	25	0.144	0.085	0.218	169.41
4	35	0.148	0.084	0.218	176.19
5	45	0.166	0.062	0.272	267.74

Таблица 3. Ксенобиотики, которые при воздействии на фильтраторов снижают количество изымаемой ими из воды взвеси (клеток планктона)

Организм (фильтратор)	Ксенобиотик	Источник
<i>Mytilus edulis</i>	Бихромат калия	Данная статья (табл. 2)
<i>M. edulis</i>	Пестициды	Donkin et al., 1997, цит. по [10]
<i>M. edulis</i>	ДСН	[8]
<i>M. edulis</i>	Тритон X-100	[8]
<i>Crassostrea gigas</i>	ДСН	[10, 11]
<i>C. gigas</i>	ТДТМА	[10, 11]
<i>M. galloprovincialis</i> , <i>C. gigas</i>	СМС1(L)	[10, 11]
<i>M. galloprovincialis</i> , <i>C. gigas</i>	ЖМС1 (E)	[10, 11]
<i>M. galloprovincialis</i> , <i>C. gigas</i>	ЖМС2 (F)	[10, 11]
<i>M. galloprovincialis</i>	СМС2 (I)	[10, 11]
<i>M. galloprovincialis</i>	АНС	[9, 10]
<i>M. galloprovincialis</i> x <i>M. edulis</i> (гибриды)	ТДТМА	Widdows, Ostroumov, неопубликованные результаты
Unionidae (несколько видов)	ПАВ, детергенты	[9, 10]
<i>Brachionus calyciflorus</i>	ТДТМА	Walz, Rusche, Ostroumov, неопубликованные результаты

Примечание. ТДТМА – тетрадецилтриметиламмоний бромид; СМС1(L) - Lanza-automat (Benckiser); СМС2 (I) - IXI Bio-Plus (Cussons); ЖМС1 (E) - dish washing liquid E (Cussons International Lts); ЖМС2 (F) - dish washing liquid Fairy (Procter&Gamble Ltd); АНС – Avon Hair Care. ПАВ - поверхностно-активные вещества. Таблица не претендует на полноту списка веществ и организмов-фильтраторов, для которых показано ингибирующее действие.

Комментарий и дополнение в связи с помещением статьи на сайт SciPeople (2009).

Новые исследования, проведенные после опубликования этой статьи, подтвердили ее основные выводы. Как показано дополнительными исследованиями автора данной статьи, найдены новые свидетельства того, что индивидуальные ПАВ и ПАВ-содержащие синтетические моющие средства (СМС) и другие смесевые препараты ингибировали скорость питания фильтраторов (т.е. скорость изъятия фитопланктона из воды фильтраторами). В дополнение к исследованиям бентосных фильтраторов, были получены новые факты, показавшие негативное воздействие ПАВ на скорость изъятия клеток водорослей из воды в результате активности беспозвоночных-фильтраторов из числа планктонных организмов (коловраток и ракообразных). В 2003 году была опубликована статья о том, что сублетальная концентрация ПАВ ТДТМА (0.5 мг/л) ингибировала фильтрационную активность коловраток *Brachionus calyciflorus* [16]. Затем, в 2009 году в ДАН опубликована статья, в которой показано, что низкие концентрации ПАВ додецилсульфата натрия (ДСН) ингибировали скорость питания дафний *Daphnia magna*, клетками зеленых водорослей, т.е. ПАВ ДСН ингибировал скорость изъятия клеток водорослей из воды этими планктонными фильтраторами [17].

Комментируемая статья и другие статьи автора вошли в число работ, которые были обобщены в книге [18], отмеченной Дипломом Академии проблем водохозяйственных наук и Дипломом лауреата конкурса МОИП (2007), а также получившей позитивные отзывы специалистов в опубликованной рецензии профессора Л.П.Брагинского и соавторов [19]. Новые данные суммированы в монографии [20], также получившей позитивные отклики в печати [21]. Опубликована также совместная работа с английским исследователем Дж. Виддоусом, которая изложила результаты наших исследований данные о негативного воздействия ПАВ на фильтрационную активность атлантических мидий [22, 23]. Часть более поздних исследований суммирована в монографии [24].

Таким образом, новые научные результаты подтверждают логику данной статьи и ее выводы.

Тексты некоторых из цитируемых статей размещены на сайтах:
<http://scipeople.ru/users/2943391/>
<http://sites.google.com/site/ostroumovsa/>

Дополнение к списку литературы:

16. *Остроумов С.А., Вальц Н., Руше Р.* Воздействие катионного амфифильного вещества на коловраток // Доклады РАН (ДАН) 2003. т. 390. № 3. С.423-426, таб. Библиогр. 15 назв. [ТДТМА ингибировал фильтрационную активность популяции *Brachionus calyciflorus* при питании водорослями *Nannochloropsis limnetica* (Eustigmatophyceae 1.5-6 мкм)]. Перевод на англ. яз.: S.A.O., Walz N., Rusche R. Effect of a cationic amphiphilic compound on rotifers.- Doklady Biological Sciences. 2003. Vol. 390. 252-255. (in Eng.; ISSN 0012-4966). [surfactant TDTMA 0.5 mg l⁻¹, turbidostat; the culture of rotifers *Brachionus calyciflorus* feeding on algae *Nannochloropsis limnetica*]. DOI 10.1023/A:1024417903077.
17. *Ворожун И.М., Остроумов С.А.* К изучению опасности загрязнения биосферы: воздействие додецилсульфата натрия на планктонных фильтраторов // ДАН. 2009, Т. 425, №. 2, с. 271–272.
18. *Остроумов С.А.* Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем [= Pollution, self-purification and restoration of aquatic ecosystems]. М.: МАКС Пресс. 2005. 100 с. ISBN 5-317-01213-9.
19. *Брагинский Л.П., Калениченко К.П., Игнатюк А.А.* Обобщенные механизмы самоочищения природных вод. Рец. на кн.: С. А. Остроумов. Загрязнение, самоочищение и восстановление водных экосистем. – М. : МАКС Пресс, 2005. – 100 с. // Гидробиологический журнал - 2007 – т. 43, № 6 - С. 111- 113.
20. *Ostroumov S.A.* Biological Effects of Surfactants. CRC Press. Taylor & Francis. Boca Raton, London, New York. 2006. 279 p.
21. *Ермаков В.В.* Рец. на книгу: Biological Effects of Surfactants. CRC Press. Taylor & Francis. Boca Raton, London, New York. 2006. 279 p. // Токсикологический вестник, 2009, № 2, с.40.

22. *Остроумов С.А., Виддоус Дж. (Widdows J.). Воздействие катионного поверхностно-активного вещества на мидий: ингибирование фильтрации воды // Вестник МГУ. Сер.16. Биология. 2004. № 4. С. 38 - 41. [Ингибирующее воздействие ПАВ ТДТМА 0.3 – 5 мг/л на фильтрацию воды мидиями-гибридами *Mytilus edulis* × *M. galloprovincialis* из природной популяции в Северной Атлантике].*
23. *Ostroumov S.A., Widdows J. Inhibition of mussel suspension feeding by surfactants of three classes. // Hydrobiologia. 2006. Vol. 556, No. 1. P. 381 – 386. [Effects of SDS, TDTMA, and Triton X-100 on *M. edulis* and *M. edulis* / *M. galloprovincialis*. Effects of three surfactants on the filtration rates by marine mussels were studied. The xenobiotics tested represented anionic, cationic and non-ionic surfactants (tetradecyltrimethylammonium bromide, a representative of a class of cationic surfactants; sodium dodecyl sulphate, a representative of anionic alkyl sulfates; and Triton X-100, a representative of non-ionic hydroxyethylated alkyl phenols). All three surfactants inhibited the clearance rates. The significance of the results for the ecology of marine ecosystems is discussed].*
24. *Остроумов С. А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. М. МАКС-Пресс. 2008. 200 с. ISBN 978-5-317-02625-7.*