

Биологические факторы качества воды в мезотрофной экосистеме

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, биологический факультет Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

@ ostroumov@mail.bio.msu.ru

Ключевые слова:

качество воды, фитопланктон, водоросли, бактерии, ^{14}C -гидролизат хлореллы, гетеротрофная активность, цианобактерии, растворенное органическое вещество, РОВ

Keywords:

water quality, phytoplankton, algae, bacteria, ^{14}C -chlorella hydrolyzate, heterotrophic activity, cyanobacteria, dissolved organic matter, DOM

BIOLOGICAL FACTORS OF WATER QUALITY IN A MESOTROPHIC ECOSYSTEM

Doctor of Biological Sciences, Professor **A.P. Sadchikov** – International Biotechnological Center of Lomonosov Moscow State University;

Doctor of Biological Sciences **S.A. Ostroumov** – Leading Researcher, Faculty of Biology, Lomonosov Moscow State University, ostroumov@mail.bio.msu.ru

Dissolved organic matter (DOM) is one of the important parameters of water quality in aquatic ecosystems. In the experiments, phyto- and bacterioplankton actively consumed ^{14}C -labeled chlorella hydrolyzate. Removal (by filtration) of cyanobacteria from the aquatic environment leads to an increase in the rate of DOM consumption by bacteria. This indicates the possibility of a negative effect of cyanobacterial metabolites on the physiological processes of bacterioplankton.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение факторов, влияющих на удаление растворенного органического вещества из водных экосистем, имеет существенное значение для познания процессов формирования качества воды и управления ее качеством в водоемах, что важно для рационального использования водных ресурсов, включая цели рыбного хозяйства.

Основная масса легкоусвояемого растворенного органического вещества (РОВ) в водоеме формируется за счет прижизненных и посмертных выделений водорослей. В дальнейшем это РОВ потребляется всей биотой, в первую очередь

фито- и бактериопланктоном. Несмотря на то, что основным источником получения энергии водорослями является фотосинтез, хорошо известна их способность потреблять органические вещества.

Данная проблема является актуальной, однако таких исследований в природных водоемах явно недостаточно. В связи с этим, цель нашей работы состояла в установлении роли бактерий и водорослей в потреблении РОВ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу проводили в мезотрофной экосистеме на при-

мере Можайского водохранилища (Московская область). Отбор проб осуществляли на разных горизонтах водохранилища (0-3 м, 5-7 м). Воду разливали по склянкам и добавляли меченые по углероду $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$, гидролизат хлореллы. Эксперименты проводили с естественным сообществом фито- и бактериопланктона, а также с сообществом одних только бактерий (после удаления фитопланктона путем его отфильтровывания). Склянки экспонировали 8 часов. После окончания экспозиции пробы фильтровали через мембранные фильтры (фитопланктон – через фильтры с размерами пор 1,5 мкм, бактерии – 0,2 мкм). Радиоактивность образцов анализировали на сцинтилляционном счетчике «Mark-2». Более подробно методика проведения работ описана в статьях [1; 2; 3]. Скорость потребления, меченых по углероду, веществ водорослями и бактериями рассчитывали по формуле, описанной в методическом руководстве [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Максимальная скорость потребления бикарбоната фитопланктоном наблюдается в фотическом слое (глубина 0-3 м), в котором сосредоточена большая часть водорослей. На горизонтах 0-3 м максимальная удельная скорость потребления бикарбоната натрия зависит от видового состава фитопланктона. Наибольшие значения приходились на конец июня, середину июля и начало сентября, когда фитопланктон находился на стадии активного роста (в июне развивались диатомовые и динофитовые водоросли, в августе – цианобактерии).

Гетеротрофная ассимиляция CO_2 бактериями наиболее отчетливо выражена в зоне фотосинтеза, что указывает на положительное влияние фотосинтетических процессов (в том числе прижизненных выделений водорослей) [5]. Потребление бикарбоната бактериями на свету стимулируется в присутствии водорослей, независимо от их таксономической принадлежности. Это указывает на положительное влияние выделений водорослей на развитие бактерий. Особенно хорошо это проявляется при развитии в водоеме диатомовых и динофитовых водорослей в первой половине лета.

Растворенное органическое вещество (РОВ) – один из важных параметров качества воды в водных экосистемах. В экспериментах фито- и бактериопланктон активно потреблял меченый по ^{14}C гидролизат хлореллы. Удаление (отфильтровывание) цианобактерий из водной среды приводит к повышению скорости потребления РОВ бактериями. Это указывает на возможность отрицательного воздействия метаболитов цианобактерий на физиологические процессы бактериопланктона.

Присутствие в водоеме цианобактерий (во второй половине лета) отрицательно влияет на потребление бактериями бикарбоната. В отфильтрованной от фитопланктона воде (при этом из воды удалялись цианобактерии) скорость потребления бикарбоната бактериями была выше, чем в нефильтрованной воде. Можно предполагать, что это связано с отрицательным воздействием метаболитов некоторых видов фитопланктона (в основном цианобактерий) на физиологические процессы бактериопланктона.

Исследования показали, что фито- и бактериопланктон активно потребляет органические вещества. Меченый по ^{14}C гидролизат хлореллы, в состав которого входили соединения разной молекулярной массы, в основном потреблялся бактериопланктоном, особенно во второй половине лета. На долю бактериопланктона в среднем приходилось 56-67% суммарно потребленного фито- и бактериопланктоном гидролизата хлореллы. В отдельные периоды сезона водоросли активно потребляли меченое растворенное органическое вещество, однако удельная гетеротрофная активность бактерий (приведенная к единице биомассы) во всех случаях была значительно выше гетеротрофной активности фитопланктона.

Водоросли получают энергию в основном за счет фотосинтеза, однако они в течение всего лета активно потребляли растворенные органические соединения (табл. 1). Наши эксперименты показали, что в отфильтрованной от цианобактерий воде (в августе) скорость

Таблица 1. Удельное потребление РОВ, (т.е. гидролизата хлореллы) бактериями (мкг С/мг·ч), в присутствии фитопланктона и в фильтрованной воде (в отсутствие фитопланктона, но при сохранении гетеротрофного бактериопланктона) на разных горизонтах водохранилища / **Table 1.** Specific consumption of ROV (i.e. chlorella hydrolysate) by bacteria (mcg S / mg * h) in the presence of phytoplankton and in filtered water (in the absence of phytoplankton, but with the preservation of heterotrophic bacterioplankton) at different reservoir horizons

Глубина	19 июня	27 июня	10 августа	19 августа
0-3 м	60/64	40/44	24/280	56/240
5-7 м	20/28	32/12	8/16	40/252

Примечание к таблице. Числитель – в присутствии фитопланктона (в июне это диатомовые и динофитовые водоросли, в августе – цианобактерии)
Знаменатель – в фильтрованной воде (удалены водоросли и цианобактерии, сохраняется присутствие гетеротрофных бактерий)

потребления органического вещества всегда была выше, чем в нефilterованной воде. Это указывает на отрицательное воздействие метаболитов цианобактерий на физиологические процессы бактериопланктона. При удалении доминировавших в фитопланктоне диатомовых и динофитовых водорослей (в июне) гетеротрофная активность бактерий изменялась незначительно, по сравнению с аналогичными показателями в нефilterованной воде.

Полученные результаты имеют значение для понимания того, как водные организмы участвуют в самоочищении воды (6), что важно для решения практических вопросов использования водоемов, в том числе для целей рыбного хозяйства.

ВЫВОДЫ

1. Природный фито- и бактериопланктон активно потребляет меченые органические соединения. В отдельных случаях водоросли более активно потребляют РОВ, чем бактерии.

2. В отфильтрованной от цианобактерий воде (в августе) скорость потребления органического вещества бактериями, содержащимися в природной воде, была выше, чем в нефilterованной воде (содержащей цианобактерии). Это можно объяснить отрицательным воздействием метаболитов цианобактерий на физиологические процессы бактериопланктона.

3. В число биологических факторов, существенно влияющих на судьбу растворенного органического вещества в изученной водной экосистеме, входят в том числе: (а) гетеротрофный бактериопланктон, (б) эукариотические водоросли фитопланктона, (в) цианобактерии. При этом имеет значение не только прямое участие этих организмов в выделение или поглощение РОВ, но и взаимодействия между указанными биологическими факторами.

Работа выполнена в рамках научной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

ЛИТЕРАТУРА

1. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Совершенствование методик изучения выделения растворенного органического вещества фитопланктоном и дальнейшей утилизации этого вещества бактериальным сообществом и водорослями. / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Водочистка, водоподготовка, водоснабжение. – 2020. – №8. – с.30-36.
1. Sadchikov A. P., Ostroumov S. A. Improvement of methods for studying the release of dissolved organic matter by phytoplankton and further utilization of this substance by the bacterial community and algae. // Water treatment, water treatment, water supply. - 2020. - No. 8. - p. 30-36.
2. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Совершенствование методики оценки гетеротрофной активности пресноводных бактерий. Вопросы качества воды. / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Рыбное хозяйство. – 2020. – №2. – с.61-65. DOI 10.37663/0131-6184-2020-2-61-66.
2. Sadchikov A. P., Ostroumov S. A. Improving the methodology for assessing the heterotrophic activity of freshwater bacteria. Questions of water quality. / A. P. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Fisheries. - 2020. - No. 2. - p. 61-65. Doi 10.37663/0131-6184-2020-2-61-66.
3. Садчиков А.П. Продукция и трансформация органического вещества размерными группами фито- и бактериопланктона (на примере водоемов Подмосквья): Автореф. дисс. на соискание уч. степени докт. биол. наук. – М., 1997. – 53 с.
3. 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): Abstract. diss. for the degree of Doctor of Science. biol. nauk - M., 1997. - 53 p.
4. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. / В.И. Романенко, С.И. Кузнецов // Л. Наука, 1974. – 194 с.
4. Romanenko V. I., Kuznetsov S. I. Ecology of microorganisms of fresh water bodies. / V. I. Romanenko, S. I. Kuznetsov // L. Nauka, 1974 – - 194 p.
5. Садчиков А.П., Остроумов С.А. Водоросли и цианобактерии, как факторы формирования фонда растворенных органических веществ и качества воды в водоеме при отмирании клеток. / А.П. Садчиков, С.А. Остроумов // Рыбное хозяйство. – 2020. – № 6. – С. 53–58. DOI 10.37663/0131-6184-2020-6-53-58.
5. Sadchikov A. P., Ostroumov S. A. Algae and cyanobacteria, as factors of formation of the fund of dissolved organic substances and water quality in the reservoir during cell death. / A. P. Sadchikov, S. A. Ostroumov // Rybnoe khozyaistvo. - 2020. - No. 6. - pp. 53-58. Doi 10.37663/0131-6184-2020-6-53-58.
6. On the biotic self-purification of aquatic ecosystems: elements of the theory. / Ostroumov S.A. Dokl Biol Sci., 2004, 396:206-211. <https://www.academia.edu/40842047/>
6. On biotic self-purification of aquatic ecosystems: elements of theory. / Ostroumov S. A. Dokl. Biol. Sciences, 2004, 396:206-211. <https://www.academia.edu/40842047/>



Фундаментальное изложение основ речной гидрологии и гидробиологии

Богатов В.В., Федоровский А.С. Фундаментальные результаты изучения речных экосистем. Основы речной гидрологии и гидробиологии. / В.В. Богатов, А.С. Федоровский // Владивосток: Дальнаука, 2017. – 384 с.

Bogatov V.V., Fedorovsky A.S. Fundamental results of studying river ecosystems. Fundamentals of river hydrology and Hydrobiology. / V.V. Bogatov, A.S. Fedorovsky // Vladivostok: Dalnauka, 2017. – 384 p.



Рецензируемая книга посвящена области науки, необходимой для управления водными ресурсами и устойчивого использования пресных вод. Монография состоит из двух больших частей и заполняет существенный пробел в научной литературе.

Первая часть (с. 11-187) – речная гидрология. В ней 4 раздела: река и ее бассейн (с. 12-107); источники данных о реках (топографические карты, аэрофотоснимки, дистанционное зондирование, водный кадастр; с. 108-137); полевые исследования (топографо-геодезические работы, гидрометрические работы, оценка стока переносимых водой веществ; с. 138-175); сведения о гидрологических расчетах (годовой, минимальный и максимальный сток, с. 176-187).

Вторая часть – речная гидробиология (с. 188-353). В этой части 6 разделов.

Раздел 1 – речные организмы (с. 190-215). Подразделы посвящены бактериям, водным растениям, водным беспозвоночным и рыбам.

Раздел 2 – методы изучения речных экосистем (с. 216-243, количественный учет, первичная продукция, химический анализ воды, вторичная продукция, рост и возраст животных, количественная оценка дрейфа бентоса).

Раздел 3 – круговорот веществ и трофические связи (с. 244-267). Рассмотрены движение питательных веществ в реке, аллохтонное органическое вещество, трофические уровни и функциональные группы, динамика трофических сетей.

Раздел 4 – дрейф речного бентоса (с. 268-294). Анализируются суточная периодичность дрейфа, вертикальное распределение гидробионтов, миграционная активность, дистанция и время дрейфа, соотношение дрейфа и биомассы беспозвоночных, соотношение дрейфа и их продукции.

Раздел 5 – рассматривает концепции функционирования речных экосистем. Авторами выделены

и систематизированы следующие концепции: 1) концепция речного континуума (с. 295-298); 2) дисконтинуальные модели речных сообществ (с. 298-300); 3) комбинированная концепция (с. 301-302); 4) концепция синтеза речных и прибрежно-речных экосистем (с. 302-305); 5) вспомогательные концепции (с. 305-306); 6) дренажно-транзитная концепция (с. 306-311); 7) концепция градиента речного биома (с. 311-314); 8) концепция реобиома, как открытой природной системы (с. 315-322).

В разработку ряда этих концепций внес вклад первый из авторов рецензируемой книги, академик В.В. Богатов.

Завершает вторую часть книги очень важный в современных условиях раздел 6 (с.323-353) «Функционирование реобиомов в условиях экстремальных природных воздействий», где кратко анализируются высоко актуальные вопросы: факторы устойчивости и выносливости реобиомов (с. 327-335); структура речных экосистем зоны муссонного климата (с. 336-344); речные экосистемы в условиях глобального изменения климата (с. 345-353).

Завершает книгу подробная библиография (с. 354-383).

Книга заполняет существенный пробел в современной русскоязычной литературе по пресноводным экосистемам и водным ресурсам. Впервые в российской гидробиологической литературе освещены многие концептуально важные вопросы и сделаны соответствующие обобщения.

Книга безусловно интересна и полезна специалистам и исследователям во многих областях – гидробиологии, лимнологии, ихтиологии, водных и водно-биологических ресурсов. Есть все основания рекомендовать книгу к переизданию. В новом издании книги можно было бы расширить освещение некоторых вопросов – в том числе проблем самоочищения воды (которые активно изучаются отечественными учеными, есть инновационные публикации) и проблем речных экосистем в связи с вопросами рыбных ресурсов. Актуальность освещенных в монографии проблем нарастает с каждым годом. Среди причин этого – нарастание ценности ресурсов пресной воды и то, что гидробионты речных экосистем находятся среди наиболее уязвимых к антропогенным воздействиям групп организмов.

В заключение еще раз подчеркнем главный вывод рецензии о том, что книга полезная, ценная для исследователей, специалистов и преподавателей высшей школы и заслуживает переиздания.

*Д-р биол. наук С.А. Остроумов – ведущий научный сотрудник, Биофак МГУ им. М.В. Ломоносова;
д-р биол. наук, профессор, член-корреспондент РАН
Г.С. Розенберг – Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти*