

РЕДКИЕ И РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОГЕННОМ ДЕТРИТЕ: НОВАЯ СТОРОНА РОЛИ ОРГАНИЗМОВ В БИОГЕННОЙ МИГРАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ

© 2009 С.А. Остроумов¹, Г.М. Колесов²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Поступила 04.03.2008

Впервые измерены концентрации детрите ряда металлов. Концентрация была измерена с помощью НАА и уменьшались в следующем порядке: Ca > Zn > Ba > Na > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > S > Cs > Au.

Ключевые слова: детрит, поверхностно-активные вещества, детергенты, моллюски, ПАВ.

Изучение биогенной миграции элементов – важное направление исследований биосферы [1]. Биогенная миграция элементов в водных экосистемах связана с самоочищением воды и формированием ее качества [2, 3].

Ранее сообщалось о концентрации некоторых элементов в детритном материале, производимом водными моллюсками [4, 5]. Сведения о содержании редких и рассеянных элементов элементов (например, U, Au, Ce, Se, La, Sb, Hf, Th, Sc, Sm, Cs и др.) в детритном материале, образуемом в модельных экосистемах после инкубации в них массовых видов водных организмов, таких как *Viviparus viviparus* L., *Unio pictorum* L. и *Ceratophyllum demersum* L., авторам не известны.

Цель статьи – сообщить о результатах изучения биогенного детрита в экспериментальных экосистемах в виде лабораторных микрокосмов, в которых инкубировано три вида массовых пресноводных организмов. В сформированном в этих системах детрите был определен ряд элементов с использованием метода нейтронно-активационного анализа (НАА). Эти данные важны, поскольку помогают лучше понять роль биогенного органического материала осадков в миграции элементов в экосистемах.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Микрокосмы формировались с участием следующих массово встречающихся видов пресноводных организмов – *Viviparus viviparus* L., *Unio pictorum* L. и *Ceratophyllum demersum* L. В микрокосмы вносили водные организмы и отстоянную водопроводную воду (ОВВ). Моллюсков *V. viviparus* и *Unio pictorum* собирали в верхнем течении р. Москвы (выше г. Звенигорода). *Viviparus viviparus* собраны 07.07.2007 г., *Unio pictorum* – 28.8.2007 г. *Ceratophyllum demersum* собраны в пруду в пойме р. Москвы на территории г. Москвы.

Использованные в опыте микрокосмы охарактеризованы в табл. 1. Инкубацию микрокосмов проводили в течение семи с половиной месяцев (в период конец августа – середина апреля 2007-2008 г.г.). Микрокосмы находились в это время в условиях постоянной аэрации путем подачи воздуха аквариумными компрессорами. К концу инкубации моллюски погибли и на дне микрокосмов образовался осадок биогенного детрита. Осадок был отобран фильтрованием, высушен, растерт и проведен НАА. Метод НАА в приложении к вопросам геохимии окружающей среды охарактеризован в [6]. Метод ранее мы использовали для определения концентрации элементов в моллюсках [7].

Образцы для анализа предварительно высушивали при 105°C, отбирали пробы массой по 15-25 мг и вместе с образцами сравнения (КН, ST-1, SGD-1, FFA, RUS-1, Allende, BCR и др.) и эталонами упаковывали пакеты из алюминиевой фольги, помещали в алюминиевый пенал и облучали 15-20 ч в тепловом канале ядерного реактора МИФИ с нейтронным потоком $2,8 \cdot 10^{13}$ н/см². После облучения образцы охлаждали, переупаковывали в чистые ампулы для уменьшения фона и измеряли активность 2-3 раза (через 5-7 и 15-30 дней после облучения) в течение 1000-5000 с на полупроводниковых (высокоразрешающих) германиевых детекторах (ORTEC) и 4096-канальном анализатором импульсов NUC-8192 (EMG, Hungary). Идентификацию спектров и расчет содержаний элементов проводили в автоматическом режиме с использованием компьютерных программ, разработанных в ГЕОХИ РАН. Для нескольких элементов расчет содержания был получен экстраполяцией, что соответствует сложившейся и многократно апробированной практике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные приведены в табл. 2. Содержание некоторых элементов в детрите (усредненные данные) убывает в последовательности: Ca > Zn > Ba > Na > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > S > Cs > Au.

Заметим, что содержание некоторых элементов (например, Se, U, Th, Hf, Au) сильно варьировало, что затрудняло расчет их среднего значения.

Остроумов Сергей Андреевич, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник биологического факультета, ar55[at]yandex.ru; saostro [at]online.ru; Колесов Геннадий Михайлович, заведующий лабораторией, drkolesov[at]mail.ru.

Таблица 1. Состав микрокосмов

Организмы	Микрокосм № 1(3)	Микрокосм № 2 (4)
<i>Viviparus viviparus</i>	39 экз.	15 экз.
<i>Unio pictorum</i>	12 экз.	32 экз.
<i>Ceratophyllum demersum</i> L. (сыр. вес)	2,4 г	2,4 г
Вода (ОВВ)	3 л	3 л

Полученные данные послужили основой для расчета приблизительного потенциала детрита в роли депо для содержания иммобилизованных в нем элементов на участках дна пресноводных экосистем таких размеров, на которых скопилось, например, 1000 г или 1000 кг детрита (в расчете на сухой вес). Расчеты носят ориентировочный характер. Речь идет об оценке только потенциала детрита в качестве депо ряда элементов и не означает автоматического переноса экспериментальных данных на природные экосистемы. Данные расчета представлены в табл. 3.

Таблица 2. Концентрация элементов по результатам НАА осадка детрита в экспериментальных микрокосмах (Na, Ca – в %, остальные элементы в 10⁻⁴%)

Элементы	Микрокосм 1 (3)	Микрокосм 2 (4)	Среднее значение
La	3,69	8,96	6,325
Ce	8,52	16,2	12,36
Pr*	1,1	1,71	1,405
Nd	4,9	8,18	6,54
Sm	1,32	1,41	1,365
Eu	0,2	0,48	0,34
Gd*	1,72	1,74	1,73
Tb	0,25	0,25	0,25
Dy*	1,45	1,47	1,46
Ho*	0,31	0,32	0,315
Er*	0,81	0,82	0,815
Tm*	0,12	0,12	0,12
Yb	0,61	0,62	0,615
Lu	0,095	0,097	0,096
Na	0,12	0,15	0,135
Cs	0,26	1,82	1,04
Ca	15,2	15,4	15,3
Ba	1 530	1 250	1 390
Sc	0,92	1,69	1,305
Zn	1 680	1 310	1 495
Se	13,8	4,36	9,08
Sb	2,33	1,44	1,885
Th	0,33	3,16	1,745
U	4,61	2,1	3,355
Br	76,0	75,0	75,5
Hf	0,68	3,34	2,01
Au	0,27	0,025	0,1475

Примечание.* - данные, полученные экстраполяцией (из тренда кривой распределения элементов в координатах содержание – ионный радиус или порядковый номер для редкоземельных элементов).

Особенность проведенного эксперимента в том, что детрит сформировался за определенный отрезок времени из известных организмов (моллюсков двух массовых видов при участии также массового вида макрофитов).

Содержание элементов в изученном новообразованном биогенном детрите дает некоторую информацию о возможном базисном содержании элементов в этом важном компоненте экосистем.

Необходимо дальнейшее изучение особенностей элементного состава детрита, поскольку в его базисный состав в реальных условиях загрязняемых экосистем могут вносить некоторый вклад элементы, дополнительно сорбируемые детритом в результате антропогенного воздействия на экосистему.

Наши предварительные опыты показали, что при внесении в воду тяжелых металлов (таких, как Co, Zn, Cu, Cd, Cr) происходило нарастание содержания этих элементов в биогенном детрите по сравнению с контрольной пробой. Для адекватной оценки и интерпретации содержания металлов в детрите в условиях загрязняемой водной системе, необходимы сведения о базисном элементном составе детрита. В данной работе такая информация получена для детрита, образованного тремя массовыми видами водных организмов.

Таблица 3. Оценка приблизительного потенциала содержания элементов в биогенном детрите по данным НАА

Элемент	Приблизительный потенциал в пересчете на	
	1000 г детрита	на 1000 кг детрита
Ca	153 г	153 кг
Ba	1,390 г	1,39 кг
Na	1,35 г	1,35 кг
Ce	12,36 мг	12,4 г
Se	9,08 мг	9,1 г
La	6,325 мг	6,3 г
U	3,50 мг	3,5 г
Sb	2,00 мг	2 г
Hf	2,00 мг	2 г
Th	1,70 мг	1,7 г
Sc	1,40 мг	1,4 г
Sm	1,355 мг	1,4 г
Cs	1,04 мг	1,04 г
Au	0,1475 мг	0,1 г

В литературе сообщалось об элементном составе растений и их отмирающей массы, но элементный состав детрита, образованного моллюсками или при участии моллюсков, по-видимому, не изучался, за исключением предыдущих работ одного из авторов (см. табл. 4).

Таким образом, в работе впервые определена концентрация ряда элементов в биогенном детрите, полученном в условиях контролируемого эксперимента при совместной инкубации в микрокосме трех видов массовых пресноводных организмов (*V. viviparus*, *U. pictorum* и *C. demersum*), что способствует пониманию роли этих организмов в биогенной миграции элементов. Полученные данные позволяют полнее оценить роли биогенного детрита, образуемого конкретными вышеуказанными видами организмов, как факторов концентрирования элементов в водной системе.

Одним из таких существенных факторов, влияющих на образование детрита водными организмами, фильтрующими воду, является скорость извлечения ими взвешенного органического вещества из воды. Эта скорость, в свою очередь, зависит от другого фактора – от концентрации в воде некоторых загрязняющих компонентов –

синтетических поверхностно-активных веществ, детергентов [9-11]. Можно заключить, что на образование детрита может оказывать влияние наличие в воде загрязняющих химических ве-

ществ. Дальнейшие исследования помогут выявить новые факты о связях между загрязнением водной среды и детритом, как важным компонентом водных экосистем.

Таблица 4. Изучение содержания элементов в детрите водных организмов (примеры)

Виды организмов	Элементы	Примечания
<i>Lymnaea stagnalis</i> , <i>Unio tumidus</i> , <i>U. pictorum</i> ; <i>Crassiana crassa</i> , <i>Anodonta cygnea</i>	C, N, P, Si, Al	Состав pellets <i>Lymnaea stagnalis</i> : C- 69.74%; N - 2.3-2.9%; P- 0.4-0.5%; Si - 1.1-1.7%; Al - 0.054-0.059%. Катионный ПАВ ТДТМА 2 мг/л, анионный ПАВ ДСН 1-2 мг/л, ингибировали трофическую активность <i>L. stagnalis</i> и связанное с этим образование детритного материала (pellet). Перенос вещества в трофической цепи [4]
<i>Lymnaea stagnalis</i> , <i>Unio tumidus</i> , <i>U. pictorum</i> , <i>Crassiana crassa</i> , <i>Anodonta cygnea</i>	C, N, P, Si, Al	Состав pellets выборки природного сообщества двустворчатых моллюсков при питании природным сестоном: C (64.3%), N (2.73%), P (0.39%), Si (1.14%), Al (0.071%). СМС Tide-Lemon 75 мг/л: ингибировал трофическую активность <i>L. stagnalis</i> и связанное с этим образование детритного материала (pellet). Ингибировании переноса вещества через данное звено трофической цепи [5]
<i>Lymnaea stagnalis</i>	Элементный состав pellets, образуемых моллюсками	ПАВ тормозил образование детрита перенос вещества [8]
<i>Viviparus viviparus</i> , <i>Unio pictorum</i> и <i>Ceratophyllum demersum</i>	U, Au, Ce, Se, La, Sb, Hf, Th, Sc, Sm, Cs и другие элементы	Новые результаты авторов

Примечание. ПАВ – поверхностно активное вещество, СМС – синтетическое моющее средство. ТДТМА - тетрадецилтриметиламмоний бромид, ДСН - додецилсульфат натрия

Полученные в настоящей работе данные о концентрации ряда элементов в детрите, образованном массовыми видами организмов *V. viviparus*, *U. pictorum* и *C. demersum* дополняют имеющуюся информацию о роли биоты в биогеохимических процессах [12-14].

Благодарность. Авторы благодарны Ю.А. Моисеевой, Е.А. Соломоновой, А.В. Клепиковой за помощь в сборе моллюсков и макрофитов, а также обсуждение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Биосфера. М.: «Ноосфера». 2001. 243 с.
2. Остроумов С.А. О полифункциональной роли биоты в самоочищении водных экосистем // Экология. 2005. № 6. с. 452-459.
3. Ostroumov S.A. Polyfunctional role of biodiversity in processes leading to water purification: current conceptualizations and concluding remarks // Hydrobiologia. 2002. V. 469. P. 203-204.
4. Остроумов С.А., Колесников М.П. Пеллеты моллюсков в биогеохимических потоках С, N, P, Si, Al // ДАН. 2001. Т. 379. № 3. С. 426–429.
5. Остроумов С.А., Колесников М.П. Моллюски в биогеохимических потоках (С, N, P, Si, Al) и самоочищении воды: воздействие ПАВ // Вест. МГУ. Сер. 16. Биол. 2003. № 1. С.15-24.

6. Kolesov G.M. Determination of microelements: neutron activation analysis in geochemistry and cosmochemistry // J. Anal. Chem. 1994. V.49. No.1. P.50-58.
7. Остроумов С.А., Колесов Г.М., Сапожников Д.Ю. К разработке вопросов гидробиологического мониторинга водной среды: изучение содержания элементов в моллюсках *Unio* методом нейтронноактивационного анализа// Пробл. экологии и гидробиологии. 2008. М.: МАКС Пресс. С.47-53.
8. Остроумов С.А., Колесников М.П. Биокатализ переноса вещества в микрокосме ингибируется контаминантом: воздействие ПАВ на *Lymnaea stagnalis* // ДАН 2000. Т. 373. № 2. С.278-280.
9. Ostroumov, S.A. Biological Effects of Surfactants. Boca Raton, London, New York: CRC Press. Taylor & Francis, 2006. 279 p.
10. Ostroumov S. A., Widdows J. Inhibition of mussel suspension feeding by surfactants of three classes // Hydrobiologia. 2006. V.556. P.381-386.
11. Остроумов С.А. Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов. М.: МАКС Пресс 2008. 200 с.
12. Добровольский Г.В. К 80-летию выхода в свет книги В.И. Вернадского «Биосфера» // Экологическая химия. 2007. т.16(3). С.135–143.
13. Добровольский Г.В. О развитии некоторых концепций учения о биосфере (к 80-летию выхода в свет книги В.И.Вернадского "Биосфера") // Вода: технология и экология. 2007. № 1. С. 63-68.
14. Kapitsa A.P. Formulation of fundamental principles for foundation of the theory of the apparatus of the biosphere // Environment Ecology and Safety of Life Activity. 2007. No. 1 (37). P. 68-71.

RARE AND DISPERSED ELEMENTS IN THE BIOGENIC DETRITUS: A NEW ASPECT OF THE ROLE OF ORGANISMS IN BIOGENIC MIGRATION OF ELEMENTS

© 2010 S.A Ostroumov¹, G.M. Kolesov²

¹Moscow state university named after M.V. Lomonosov, Moscow

²Institute of geochemistry and analytic chemistry named after V.I. Vernadskiy, RAS, Moscow

For the first time some metals concentrations in detritus have been measured (by using atomic absorption spectroscopy (NAA)). They decreased as follows: Ca > Zn > Ba > Na > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > S > Cs > Au.

Key words: detritus, surfactants, detergents, shellfish, bivalves, xenobiotics, pollutants, pollution.

Ostroumov Sergey Andreevich, Doctor of Biology, professor, leading scientific employee of biological faculty, ar55[at]yandex.ru; saostro [at]online.ru; *Kolesov Gennagiy Mikhailovich*, head of laboratory, drkolesov[at]mail.ru.