

О роли биогенного детрита в аккумуляции элементов в водных системах

С. А. ОСТРОУМОВ, Г. М. КОЛЕСОВ*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
биологический факультет
119234, Москва, Ленинские горы
E-mail: saostro@online.ru

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН
119991, Москва, ул. Косыгина, 19

АННОТАЦИЯ

Биогенный детрит, образовавшийся за время более 7 мес. в микрокосмах с *Viviparus viviparus*, *Unio pictorum*, *Ceratophyllum demersum*, содержал ряд элементов. Впервые с помощью нейтронно-активационного анализа измерены концентрации в таком детрите некоторых элементов. Концентрации уменьшались в следующем порядке: Ca > Zn > Ba > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > S > Cs > Au. Полученные данные дополняют представления о полифункциональной роли биоты в функционировании водных экосистем.

Ключевые слова: детрит, моллюски, качество воды, редкие и рассеянные элементы, *Viviparus*, *Unio*, *Ceratophyllum*.

Функционирование водных экосистем связано с перемещением ряда элементов [1, 2] через толщу воды, с переносом веществ на границе вода – донные отложения, с биогеохимическими потоками элементов [1–13]. Изучение биогенной миграции элементов – важное направление исследований биосферы [1–13]. Биогенная миграция элементов в водных экосистемах – как пресноводных, так и морских – связана с самоочищением воды и формированием ее качества [14–16]. Существенно, что роль водных организмов в миграции элементов не проста и может проявляться и в поглощении, и в выделении вещества, и в оказании воздействия на многие другие процессы в экосистеме [3–16].

Для анализа фактов участия организмов в биогенной миграции элементов в водных экосистемах необходимы сведения не только о накоплении элементов водными организмами, но и о содержании элементов в образуемом гидробионтами детритном материале [15, 16], который поступает на дно водных систем и вносит вклад в формирование донных осадков.

В предыдущих работах определены концентрации некоторых элементов в детритном материале, производимом водными моллюсками [15, 16]. Однако они касаются ограниченного круга химических элементов и не включают в себя сведения о содержании, например, U, Au, Ce, Se, La, Sb, Hf, Th, Sc, Sm и Cs.

Авторы данной статьи не обнаружили в литературе сведений о содержании этих элементов в детритном материале, образуемом

Остроумов Сергей Андреевич
Колесов Геннадий Михайлович

в модельных экосистемах после инкубации в них массовых видов водных организмов – *Viviparus viviparus* L., *Unio pictorum* L. и *Ceratophyllum demersum* L.

Цель работы – исследовать биогенный детрит в экспериментальных экосистемах в виде лабораторных микрокосмов, в которых инкубированы три вида указанных массовых пресноводных организмов. В сформированном в этих системах детрите методом нейтронно-активационного анализа (НАА) определен ряд элементов. Сведения о концентрации этих элементов вносят вклад в познание роли биогенного органического материала осадков в распределении химических элементов в водных системах.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводились в пресноводных микрокосмах. Микрокосмы созданы с участием трех 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). Растения *Ceratophyllum demersum* собраны в пруду в пойме р. Москвы на территории г. Москвы. Моллюсков *V. viviparus* и *Unio pictorum* собирали в верхнем течении р. Москвы (Московская область, выше г. Звенигорода). Используемые в опыте микрокосмы охарактеризованы в табл. 1.

После формирования микрокосмов их инкубировали при комнатной температуре в течение 7,5 мес. (в период конец августа – середина апреля). 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 отобран фильтрованием, высушен, растерт, и проведен НАА. Метод НАА в приложении к вопросам геохимии окружающей среды охарактеризован в работе [17]. Мы использовали его ранее для определения концентрации элементов в моллюсках [18], причем подтвердилась его эффективность для анализа содержания элементов в образцах биологического происхождения.

Пробоподготовку вели следующим образом. Образцы для анализа предварительно высушивали при 105 °С, 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 в пакеты из алюминиевой фольги.

Затем образцы помещали в алюминиевый пенал и облучали 15–20 ч в тепловом канале ядерного реактора МИФИ. 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) на полупроводниковых (высокоразрешающих) германиевых детекторах (“ОРТЕС”) и 4096-канальном анализаторе импульсов NUC-8192 (EMG, Венгрия). Идентификацию спектров и расчет содержаний элементов проводили в автоматическом режиме с использованием компьютерных программ, разработанных в ГЕОХИ РАН. Для нескольких элементов расчет содержания получен экстраполяцией, что соответствует сложившейся и многократно апробированной практике.

Состав ОВВ, использованной при формировании микрокосмов, проанализирован методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) на ИСП-спектрометре ICP-9000 (Thermo Jarrel Ash). Состав воды указан в табл. 2.

Видно, что по всем проанализированным показателям использованная вода удовлетворяет требованиям утвержденных гигиенических нормативов, что имеет значение в условиях длительной инкубации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения элементов с помощью НАА показаны в табл. 3. Содержание

Т а б л и ц а 1
Состав микрокосмов

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

Т а б л и ц а 2

Состав воды в микрокосмах. Для сравнения приведены нормативы ПДК в соответствии с Гигиеническими нормативами ГН 2.1 5.689-98. Минздрав России, Москва, 1998

Элемент	Содержание	ПДК
	мг/л	
Al	0,06	0,5
B	0,01	0,5
Ba	0,03	0,1
Ca	49,4	–
Cd	<0,001	0,001
Co	<0,001	0,1
Cr	<0,01	0,05
Cu	<0,001	1,0
Fe	0,007	0,3
K	2,3	–
Li	<0,01	0,03
Mg	12,6	–
Mn	0,016	0,1
Mo	<0,01	0,25
Na	10,7	–
Ni	<0,002	0,1
Pb	<0,005	0,03
Si	5,1	10,0
Sr	0,14	7,0
Ti	<0,001	0,1
Zn	<0,001	1,0

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

Содержание кальция составляло 15,2–15,4 % (в среднем 15,3 %). Содержание ряда исследованных элементов в детритном материале (усредненные данные) убывает в последовательности: Ca > Zn > Ba > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > Cs > Au.

Изученный биогенный детритный материал отличается по своему генезису от обычно изучаемого суммарного осадочного материала, который накапливается в водных экосистемах – водоемах и водотоках и в который входит сумма и биогенного детритного материала, и различных других составляющих, например минеральной взвеси. Возможно, с этим в определенной мере можно связать то, что элементный состав изученного в данной

Т а б л и ц а 3

Содержание элементов в осадке биогенного детрита в экспериментальных микрокосмах (на сухую массу, по результатам ННА, мкг/г)

Элемент	Микрокосм		Среднее значение
	№ 1	№ 2	
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
Cs	0,26	1,82	1,04**
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**

П р и м е ч а н и е. * – Данные, полученные экстраполяцией (из тренда кривой распределения элементов в координатах содержание – ионный радиус или порядковый номер для редкоземельных элементов); ** – наблюдалась существенная вариабельность измеренных концентраций этих элементов. Дальнейшие исследования могут внести заметные уточнения полученных средних значений.

работе материала отличается от элементного состава суммарных осадков, которые исследовались в работах других авторов.

Так, содержание Sb в биогенном детритном материале было выше, чем в суммарных донных отложениях [9], где оно составляло 0,05–0,11 мкг/г сухой массы донных отложений.

Содержание цинка в биогенном детритном материале также было выше, чем в суммар-

ных донных отложениях, например, индийской р. Гомти (Gomti – приток Ганга), где оно составляло 15,72–99,35 мкг/г сухой массы донных отложений [10]. Относительно высокое содержание цинка в биогенном детритном материале, возможно, объясняется тем, что этот материал образуется в значительной степени из тканей погибших организмов, которые в течение своей жизни накапливали этот эссенциальный элемент, необходимый для многих ферментов.

Отметим, что потоки биогенного осадочного материала, формируемые водными организмами, имеют весьма значительные масштабы. Например, сделаны оценки для ряда водных экосистем (см. обзор [19]). По этим данным, потоки С, создаваемые водными моллюсками, достигали 11,9 кг на 1 м² площади дна экосистемы в год. Общций поток элементов, оседающих на дно вместе с биодепозитами двустворчатых моллюсков для одной из водных экосистем площадью 60 км², составлял 1711 т углерода и 235 т азота в год.

На основе полученных данных сделана оценка приблизительного потенциала детрита в аккумуляции иммобилизованных в нем элементов на участках дна экосистем таких размеров, на которых скопилось, например, 1 кг или 1000 кг детрита (в расчете на сухую массу) (табл. 4). Расчеты носят ориентировочный характер. Речь идет об оценке только потенциала детрита в аккумуляции ряда эле-

ментов и не означает автоматического переноса экспериментальных данных на природные экосистемы.

Особенность проведенного эксперимента в том, что детрит сформировался за определенный отрезок времени из известных организмов массовых видов (в этот комплекс организмов входили моллюски двух видов и один вид макрофитов). Содержание элементов в изученном новообразованном биогенном детрите дает некоторую информацию о возможном базисном содержании элементов. Необходимо дальнейшее изучение особенностей элементного состава детрита, поскольку в его базисный состав в реальных условиях загрязняемых экосистем могут вносить некоторый вклад элементы, дополнительно аккумулируемые детритом в результате антропогенного воздействия на экосистему.

Наши предварительные опыты показали, что при внесении в воду тяжелых металлов (таких как Cr, Co, Zn, Cu, Cd) 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 системы необходимы сведения о базисном элементном составе детрита. В данной работе такая информация получена для детрита, образованного тремя массовыми видами водных организмов.

В научной литературе сообщалось об элементном составе водных 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. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, впервые определена концентрация ряда элементов в биогенном детрите, полученном в условиях контролируемого эксперимента при совместной инкубации в микрокосме трех видов массовых пресноводных организмов (*Vivi parus vivi parus*, *Unio pictorum* и *Ceratophyllum demersum*), что способствует пониманию их роли в био-

Т а б л и ц а 4

Оценка приблизительного потенциала аккумуляции элементов в биогенном детрите (по данным НАА)

Элемент	На 1000 г детрита	На 1000 кг детрита
Ca	153 г	153 кг
Ba	1,39 г	1,39 кг
Ce	12,4 мг	12,4 г
Se	9,08 мг	9,1 г
La	6,33 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	1,36 мг	1,4 г
Cs	1,04 мг	1,04 г
Au	0,148 мг	0,1 г

Изучение содержания элементов в детрите водных организмов (примеры)

Вид	Элемент	Примечания, ссылки
<i>Viviparus viviparus</i> , <i>Unio pictorum</i> и <i>Ceratomyxum demersum</i>	U, Au	Содержание урана в биогенном детрите варьировало от 2,1 до 4,61 (среднее – 3,4) мкг/г детрита (на сух. массу). Содержание золота в биогенном детрите варьировало от 0,025 до 0,27 (среднее – 0,15) мкг/г детрита (на сух. массу) (новые результаты авторов)
<i>Viviparus viviparus</i> , <i>Unio pictorum</i> и <i>Ceratomyxum demersum</i>	Ce, Se, La, Sb, Hf, Th, Sc, Sm, Cs и другие элементы	Новые результаты авторов
<i>Cardium edule</i>	N	Вместе с биодепозитами оседало 199 т азота на площади 60 км ² (Лахолм-Бэй) (см. обзор [19])
<i>Mytilus edulis</i>	C	Вместе с биодепозитами оседало 60–80,7 г С на площади 1 м ² (см. обзор [19])
<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 пеллет <i>Lymnaea stagnalis</i> , %: С – 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 (пеллет). Показано снижение переноса вещества через звено трофической цепи, представленное моллюсками, и снижение поступления детрита на дно системы [15]
<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 пеллет выборки природного сообщества двустворчатых моллюсков при питании природным сестоном, %: С (64,3), N (2,73), P (0,39), Si (1,14), Al (0,071). Химический поллютант (смесевой препарат) ингибировал трофическую активность гидробионтов <i>L. stagnalis</i> и связанное с этим образование детритного материала (пеллет). Показано снижение переноса вещества через звено трофической цепи, представленное указанным видом гидробионтов, и уменьшение поступления детритного материала на дно системы [16]
Пресноводные двустворчатые моллюски	Pt, Pd	Новые данные одного из авторов (С.А.О.)

П р и м е ч а н и е. ПАВ – поверхностно-активное вещество, СМС – синтетическое моющее средство. ТДТМА – тетрадецилтриметиламмоний бромид, ДСН – додецилсульфат натрия.

генной миграции элементов. Полученные данные позволяют полнее оценить роль биогенного детрита, образуемого конкретными видами организмов, как факторов концентрирования элементов в водной системе.

Среди таких существенных факторов, влияющих на образование детрита водными организмами, фильтрующими воду, – скорость извлечения ими взвешенного органического вещества (ВОВ) из воды, которая зависит от другого фактора – от наличия и концентрации в воде некоторых загрязняющих компонентов – синтетических поверхностно-актив-

ных веществ, детергентов и др. [21–22]. Показано, что на образование детрита могут оказывать влияние загрязняющие воду химические вещества [20–22]. Дальнейшие исследования помогут выявить новые факты, свидетельствующие о связях между загрязнением водной среды и детритом как важным компонентом водных экосистем – водоемов и водотоков.

Как писал В. И. Вернадский, “...значение ... живых масс несравненно... Они образуют места сильнейшей миграции атомов в биосфере” [2]. И далее: “Жизнь – живое вещество...

вызываемая ею биогенная миграция атомов представляет форму организованности перво-степенного значения в строении биосферы» [2]. Полученные данные подтверждают эти высказывания В. И. Вернадского, с новой стороны дополняют имеющуюся информацию о роли биоты в биогеохимических процессах, о формировании элементного состава осадков в водных системах, о сопряжении геохимических и гидробиологических процессов в биогенной миграции элементов [3–13, 23–37].

Авторы благодарны Ю. А. Моисеевой, Е. А. Солмоновой, Г. Ю. Казакову, А. В. Клепиковой, сотрудникам МГУ им. М. В. Ломоносова и Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН за помощь и обсуждение. Авторы благодарят рецензента статьи за внимательное отношение и высказанные замечания и предложения.

ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В. И. Биосфера. М.: Издательский дом "Ноосфера", 2001. 243 с.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 374 с.
- Добровольский Г. В. К 80-летию выхода в свет книги В. И. Вернадского "Биосфера". Развитие некоторых важных разделов учения о биосфере // Экологическая химия. 2007. Т. 16(3). С. 135–143.
- Добровольский Г. В. О развитии некоторых концепций учения о биосфере // Вода: технология и экология. 2007. № 1. С. 63–68.
- Башкин В. Н., Касимов Н. С. Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004. 582 с.
- Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей, 2000. 763 с.
- 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. N 1 (37). P. 68–71.
- Леонова Г. А., Бобров В. А., Шевченко В. П., Прудковский А. А. Сравнительный анализ микроэлементного состава сестона и донных осадков Белого моря // ДАН. 2006. Т. 406, № 4. С. 516–520.
- Grahn E., Karlsson S., Düker A. Sediment reference concentrations of seldom monitored trace elements (Ag, Be, In, Ga, Sb, Tl) in four Swedish boreal lakes – comparison with commonly monitored elements // Sci. Total Environ. 2006. Vol. 367. P. 778–790.
- Singh V. K., Singh K. P., Mohan D. Status of heavy metals in water and bed sediments of river Gomti – a tributary of the Ganga River, India // Environ. Monit. Assess. 2005. Vol. 105(1–3). P. 43–67.
- Леонова Г. А., Аношин Г. Н., Бычинский В. А. и др. Ландшафтно-геохимические особенности распределения тяжелых металлов в биологических объектах и донных отложениях озер Алтайского края // Геология и геофизика. 2002. Т. 43, № 12. С. 1080–1092.
- Леонова Г. А. Биогеохимическая индикация загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 2. С. 215–222.
- Леонова Г. А., Аношин Г. Н., Бычинский В. А. Биогеохимические проблемы антропогенной химической трансформации водных экосистем // Геохимия. 2005. № 2. С. 182–196.
- Ostroumov S. A. Polyfunctional role of biodiversity in processes leading to water purification: current conceptualizations and concluding remarks // Hydrobiologia. 2002. Vol. 469. P. 203–204.
- Остроумов С. А., Колесников М. П. Пеллеты моллюсков в биогеохимических потоках С, N, P, Si, Al // ДАН. 2001. Т. 379, № 3. С. 426–429.
- Остроумов С. А., Колесников М. П. Моллюски в биогеохимических потоках (С, N, P, Si, Al) и самоочищении воды: воздействие ПАВ // Вестник МГУ. Сер. 16. Биология. 2003. № 1. С. 15–24.
- Kolesov G. M. Determination of microelements: neutron activation analysis in geochemistry and cosmochemistry // J. Anal. Chem. 1994. Vol. 49, N 1. P. 50–58.
- Остроумов С. А., Колесов Г. М., Сапожников Д. Ю. К разработке вопросов гидробиологического мониторинга водной среды: изучение содержания элементов в моллюсках *Unio* методом нейтронно-активационного анализа // Проблемы экологии и гидробиологии. М.: МАКС Пресс, 2008. С. 47–53.
- Ostroumov S. A. Suspension-feeders as factors influencing water quality in aquatic ecosystems // The Comparative Roles of Suspension-Feeders in Ecosystems / eds. R. F. Dame, S. Olenin. Dordrecht: Springer, 2004. P. 147–164.
- Остроумов С. А., Колесников М. П. Биокатализ переноса вещества в микрокосме ингибируется контактинантом: воздействие ПАВ на *Lymnaea stagnalis* // ДАН. 2000. Т. 373, № 2. С. 278–280.
- Ostroumov S. A. Some aspects of water filtering activity of filter-feeders // Hydrobiologia. 2005. Vol. 542. P. 275–286.
- Ostroumov S. A., Widdows J. Inhibition of mussel suspension feeding by surfactants of three classes // Ibid. 2006. Vol. 556. P. 381–386.
- Христофорова Н. К., Шулькин В. М., Кавун В. Я., Чернова Е. Н. Тяжелые металлы в промышленных и культивируемых моллюсках залива Петра Великого. Владивосток: Дальнаука, 1994. 296 с.
- Леонова Г. А., Богуш А. А., Бобров В. А. и др. Химические формы тяжелых металлов в рапе соляного озера Большое Яровое, оценка их биодоступности и экологической опасности // Экология промышленного производства. 2006. № 2. С. 39–46.
- Леонова Г. А., Бобров В. А., Богуш А. А., Бычинский В. А., Аношин Г. Н. Геохимическая характеристика современного состояния соляных озер Алтайского края // Геохимия. 2007. № 10. С. 1114–1128.
- Ивантер Э. В., Медведев Н. В. Экологическая токсикология природных популяций. М.: Наука, 2007. 229 с.
- Ермаков В. В., Тютиков С. Ф. Геохимическая экология животных. М.: Наука, 2008. 315 с.
- Аникиев В. В., Дударев О. В., Касаткина А. П., Колесов Г. М. Влияние терригенных и биогенных факторов на формирование седиментационных потоков химических элементов в прибрежной зоне Японского моря // Геохимия. 1996. № 1. С. 59–72.

29. Кубракова И. В., Варшал Г. М., Погребняк Ю. Ф., Кудинова Т. Ф. Формы миграции платины и палладия в природных водах // Химический анализ морских осадков. М.: Наука, 1988. С. 104–119.
30. Ильин В. Б. Геохимическая ситуация на территории Обь-Иртышского междуречья // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1442–1451.
31. Бахнов В. К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. 192 с.
32. Янин Е. П. Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). М.: ИМГРЭ, 2002. 100 с.
33. Опекунов А. Ю. Аквальный техноседиментогенез. СПб.: Наука. Ленингр. отд-ние, 2005. 278 с.
34. Донченко В. К., Иванова В. В., Питулько В. М. Эколого-химические особенности прибрежных акваторий. СПб.: НИЦЭБ РАН, 2008. 544 с.
35. Vetrov A. A., Romankevich E. A. Carbon Cycle in the Russian Arctic Seas. Berlin: Springer, 2004. 331 p.
36. Luo W., Gu B. Dissolution and mobilization of uranium in a reduced sediment by natural humic substances under anaerobic conditions. // Environ. Sci. Technol. 2009. Vol. 43(1). P. 152–156.
37. Остроумов С. А., Шестакова Т. В., Котелевцев С. В., Соломонова Е. А., Головня Е. Г., Поклонов В. А. Присутствие макрофитов в водной системе ускоряет снижение концентраций меди, свинца и других тяжелых металлов в воде. // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 58–67.

On the Role of Biogenic Detritus in Accumulation of Elements in Aquatic Systems

S. A. OSTROUMOV, G. M. KOLESOV

*M. V. Lomonosov Moscow State University, Department of Biology
119234, Moscow, Leninskie gory
E-mail: saostro@online.ru*

**V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS
119991, Moscow, Kosygin str., 19*

The biogenic detritus that accumulated for more than 7 months in the microcosms with *Viviparus viviparus*, *Unio pictorum*, *Ceratophyllum demersum*, contained several elements. The concentrations of those elements in the detritus of this type were measured for the first time using neutron activation analysis (NAA). The concentrations of the elements decreased in the order: Ca > Zn > Ba > Br > Ce > Se > Nd > La > U > Hf > Sb > Th > Sm > S > Cs > Au. The new data added some new information to the modern vision of the polyfunctional role of the biota in the functioning of water systems.

Key words: detritus, mollusks, bivalves, water quality, rare and dispersed elements, *Viviparus*, *Unio*, *Ceratophyllum*.