

ОБЗОРНЫЕ РАБОТЫ

Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии.
2012. – Т. 21, № 4. – С. 5-19.

УДК 550.4.574

ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ ХИМИКО-БИОТИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В БИОСФЕРЕ

© 2012 С.А. Остроумов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва (Россия)

Поступила 11.01.2012

Рассмотрены две проблемы, связанные с современной типологией видов вещества в биосфере. Согласно традиционным представлениям, в биосфере представлено живое и неживое вещество. Для внесения вклада в решение этих проблем, автор выдвинул концепцию третьего вида вещества, 'ex-living matter' (ELM). Автор обсуждает свои эксперименты (проведенные и опубликованные вместе с соавторами) и данные научной литературы, которые создают эмпирическую основу для новой концепции третьего типа вещества. Сформулированы и рассмотрены основные функции ELM в биосфере, а также варианты названий нового типа вещества.

Ключевые слова: биосфера, В.И. Вернадский, окружающая среда, биогеохимия, экология, живое вещество, типы вещества, ex-living matter, тяжелые металлы;

Ostroumov S.A. STUDYING ISSUES OF CHEMICO-BIOTIC INTERACTIONS IN THE BIOSPHERE – The main challenges to the current conceptualization of the types of matter in the biosphere are addressed. To meet and respond to the challenges, the author suggested a new conceptualization which is based on his suggestion to identify so called 'ex-living matter' (ELM). The author discusses his experiments (carried out together with his co-authors) which provide a solid factual foundation to this conceptualization, as well as other data available in literature. The main functions of ELM in the biosphere were also formulated and considered by the author. Some alternatives and variants in verbal expression to be used as a name for the new type of matter are also included in the publication.

Key words: biosphere, V.I.Vernadsky, environment, biogeochemistry, ecology, living matter, types of matter, ex-living matter, heavy metals

ВВЕДЕНИЕ

В.И. Вернадский (2001) показал важность связей между параметрами геохимической среды и активностью живого вещества, подчеркивал важность различных способов воздействий живого вещества на окружающую природу, говоря современным языком, на геохимическую среду. Накопление данных о геохимической среде и факторах, воздействующих на концентрации химических элементов (Доб-

Остроумов Сергей Андреевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, ar55@yandex.ru

ровольский, 2007а,б; Добровольский, Никитин, 2010; Ермаков В.В., Тютиков, 2008; Ермаков, 2003; Ковальский, 1982; Липатникова, 2011; Моисеенко и др., 2006; Остроумов и др., 2009а,б; Остроумов С.А., Шестакова, 2009; Остроумов, 1986, 2010, 2011; Остроумов, Демина, 2009; 2010; Остроумов, Колесов, 2009а,б, 2010а, б, в; Панин, 2002; Перельман, Касимов, 2006; Ostroumov, 2006; Stark., Rayson, 2000; Vernadsky, 1944) и биогеохимические потоки в биосфере (Остроумов, 2004; Липатникова, 2011; Ostroumov, 2006) ведет к необходимости дополнительного анализа этих данных и формулировке соответствующих обобщений. Цель данной работы – с учетом новых данных рассмотреть вопрос о типологии видов вещества в биосфере.

Данная работа написана на основе научного доклада автора в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН на Биогеохимических чтениях памяти члена-корреспондента Виктора Владиславовича Ковальского (1899-1984) 28 июня 2011 года.

Работа основана на серии предыдущих публикаций, в том числе (Остроумов, 2010, 2011).

Существует две основные концепции при рассмотрении типологии основных видов вещества.

Традиционная типология выделяет два типа вещества: 1) неживое вещество и 2) живое вещество.

В.И. Вернадский (1883 - 1945), разрабатывая учение о биосфере, предложил другую типологию. Он выделял три основных типа вещества:

- 1) живое вещество;
- 2) неживое (косное) вещество;
- 3) биокосное вещество (Вернадский, 2001).

Эта типология сыграла значительную роль в развитии комплекса наук о Земле, а также биологических наук, повлияла на формирование экологических наук.

Изучение химико-биотических взаимодействий (Добровольский, 2007а,б; Добровольский, Никитин, 2010; Ермаков В.В., Тютиков, 2008; Ермаков, 2003; Ковальский, 1982; Липатникова, 2011; Моисеенко и др., 2006; Остроумов и др., 2009а,б; Остроумов С.А., Шестакова, 2009; Остроумов, 1986, 2010, 2011; Остроумов, Демина, 2009; 2010; Остроумов, Колесов, 2009а,б, 2010а, б, в; Панин, 2002; Перельман, Касимов, 2006; Ostroumov, 2006; Stark., Rayson, 2000; Vernadsky, 1944) накопление большого объема сведений о геохимической среде (например, Ермаков, 2003; Ермаков, Тютиков, 2008; Перельман, Касимов, 2006; Донченко, 2008 и др. работы) привело к выявлению новых фактов и нерешенных вопросов, что привлекает внимание к необходимости заново рассмотреть вопрос об основных типах вещества в биосфере.

Цель дальнейшего анализа – рассмотреть некоторые нерешенные вопросы и предлагаемый автором подход для вклада в их решение.

1. НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ И ПРОБЛЕМЫ.

В области изучения роли живого вещества в биосфере есть две нерешенные проблемы.

1.1. Проблема 1. Противоречие по вопросу о соотношении живого и неживого вещества в публикациях В.И. Вернадского.

В работах В.И. Вернадского осталась некоторая неоднозначность по вопросу о соотношении живого и неживого («косного», по терминологии В.И.Вернадского) вещества. С одной стороны, он ввел понятие биокосного вещества – в чем-то интегрирующего два других типа вещества, в чем-то занимающего промежуточное положение. С другой стороны, В.И.Вернадский подчеркивал полное различие и противоположность живого и неживого вещества - например, в своей статье, переведенной на английский язык и изданной в США (Vernadsky , 1944). Какова же ситуация? Насколько противоположны два типа вещества - живое и неживое?

1.2. Проблема 2. Противоречие между диапазоном концентраций токсичных элементов в минералах и диапазоном толерантности.

Разработка предложенной учеником В.И.Вернадского академиком А.П.Виноградовым концепции биогеохимических провинций выявила большой объем фактов о вариабельности концентраций элементов в почвах и растениях в различных районах биосферы. Факты об измеренных концентрациях тяжелых металлов в компонентах экосистем и об их воздействии на организмы привлекают внимание к следующей проблеме, существенной и для биогеохимии, и для экологии. В экологии есть понятие диапазона толерантности. В приложении к тяжелым металлам (Cu, Co и другие) в почвах это преломляется следующим образом. Для таких металлов, как медь, кобальт и другие, установлены нижняя и верхняя граница приемлемых для жизни концентраций в почве. Большую роль сыграли работы члена-корреспондента Виктора Владимировича Ковальского (1899-1984) (например, (Ковальский, 1982 и др.) и работы В.В. Ермакова с сотрудниками(2008 и др.). Меньше нижней границы - нехватка микроэлемента, необходимого для метаболизма, для создания ферментов. Больше верхней границы – проявление токсичности. «Геохимический базис жизни» (выражение акад. М.А. Федонкина) связан с необходимостью для живых организмов вписаться в две границы допустимых концентраций многих химических элементов – в интервал между нижней и верхней допустимыми концентрациями.

Приведем примеры для двух тяжелых металлов – кобальта и меди.

Так, для кобальта (Co) установлено следующее. При концентрации его в почвах ниже 4 ppm наблюдается частичная или ярко выраженная недостаточность. У овец, которые пасутся на таких пастбищах, проявляется гипо- и авитаминоз В₁₂, отмечены заболевания анокальтозами. При содержании кобальта в почве более 30 ppm у овец может достигаться верхняя пороговая чувствительность (Ковальский, 1982). Таким образом, основной диапазон толерантности составляет 4 - 30 ppm, то есть допустимая концентрация кобальта может изменяться в 7 раз.

При концентрации меди (Cu) в почве ниже 10 ppm у пасущихся овец наблюдается недостаточность, которая проявляется в анемии и лизихе. При концентрации меди в почве выше 60 ppm у многих из пасущихся овец достигается верхняя пороговая чувствительность. Это проявляется в гемолитической желтухе, поражениях печени, а также анемии (Ковальский, 1982). Следовательно, основной диапазон толерантности составляет 10 - 60 ppm. Отсюда вытекает, что допустимая концентрация меди может изменяться в шесть раз.

Сходным образом, установлены диапазоны толерантности и для других тяжелых металлов. Подробнее информация по этому вопросу излагается в докладах и публикациях члена-корр. В.В. Ковальского (1982) и В.В. Ермакова (2003, 2008 и др.). Эти работы указывают на относительную узость коридора допустимых кон-

концентраций – на фоне того, что в почвообразующих породах варибельность концентраций этих металлов гораздо шире.

Так, почвообразующие породы, только главные, по среднему содержанию в них меди отличаются в 34 – 58 раз; по среднему содержанию кобальта отличаются в 2000 раз (Ковальский, 1982). Содержание цинка в различных типах почв и в отдельных образцах почв изменяется в 1000 раз – например, содержание цинка в черноземах может колебаться от 0.1 до $99 \cdot 10^{-5}$ (Ковальский, 1982). Аналогичным образом, и для других элементов концентрации в почвообразующих породах и почвах варьируют в пределах относительно широких диапазонов, которые значительно шире, чем диапазоны толерантности. Один из интересных примеров – селен (Se). Он необходим для биохимических механизмов защиты живых клеток от угрозы рака и других нарушений на молекулярном уровне; однако, избыток селена ведет к проявлениям токсичности.

В результате мы видим проблему: как оказывается возможным, что организмы выживают в столь варибельных условиях геохимической среды – когда металла то слишком мало, то слишком много? Этот вопрос относится не только к традиционно широко известным тяжелым металлам (железо, медь, цинк, кобальт, молибден, марганец и др.), но и к внушительному списку редкоземельных элементов, многие из которых обладают токсичностью.

Работы чл.-корр. РАН Т.И. Моисеенко (2006), чл.-корр. Э.В.Ивантера (2007) и многих других авторов подчеркивают еще один аспект важности проблемы выживания организмов в среде, содержащей токсичные элементы – аспект, связанный с нарастанием концентраций этих элементов в силу техногенного загрязнения среды.

Далее обсуждается некоторое расширение концептуального аппарата, которое может внести вклад в решение этих проблем.

2. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ УКАЗАННЫХ ПРОБЛЕМ.

Некоторый вклад в решение указанных выше проблем достигается, если модифицировать наши представления о типологии вещества в биосфере. Автор предлагает третью типологию при анализе основных видов вещества в биосфере. Предлагается выделять следующие типы вещества (список не претендует на полноту и не исчерпывает всех возможных типов вещества; вполне возможно, этот список будет дополнен в будущем):

- 1) живое вещество (living matter);
- 2) неживое (косное) вещество;
- 3) бывшее живое вещество (экс-живое вещество, ex-living matter) и продукты его биохимической и химической трансформации (Остроумов, 2010, 2011);
- 4) биокосное вещество в интерпретации В.И. Вернадского.

По своему составу вещество третьего типа разнородно, но обладает общими чертами в своей роли в биосфере. К этому типу вещества можно отнести то вещество, которое прошло через статус живого и находится в окружающей среде, в том числе в водной, в виде частиц, раствора или коллоидов. Одна из особенностей вещества этого типа – то, что оно вносит существенный вклад в иммобилизацию ряда химических элементов, в снижение их биодоступности, частичное торможение или прерывание циркуляции этих элементов в геохимической среде. Выделение важной роли вещества этого типа дает еще один яркий пример того, о чем писал В.И.Вернадский (1991): «В ходе геологического времени *растет мощность выяв-*

ления живого вещества в биосфере, увеличивается его в ней значение и его воздействие на косное вещество биосферы» (курсив В.И.Вернадского). Учитывая явление иммобилизации токсичных элементов, можно отметить, что в некоторых случаях живое вещество, создавая для себя благоприятные условия, воздействует на косное вещество биосферы не прямо, а через посредство того, что в данной работе предложено называть веществом третьего типа или ELM. Примеры выявленной в опытах иммобилизации токсичных элементов даны ниже.

Примеры объектов биосферы, которые могут рассматриваться как представители вещества третьего типа (некоторые из приведенных ниже классов объектов могут частично пересекаться и накладываться друг на друга):

(а) органическое вещество пеллет, выделенных почвенными и водными беспозвоночными, в том числе бентосными (например, моллюсками) и зоопланктоном;

(б) вещество погибших организмов;

(в) листвоной опад, растительная мортмасса (общее содержание в биосфере, по углероду, около $1200 \cdot 10^{15} - 1600 \cdot 10^{15}$ г С (Summerhayes, Thorpe, 1996);

(г) биогенный детрит (detrital PAC, particulate organic carbon) в водных экосистемах (общее содержание в биосфере, по углероду, около $30 \cdot 10^{15}$ г С [30]);

(д) растворенное органическое вещество (DOC, dissolved organic carbon) в воде пресноводных и морских экосистем (общее содержание в биосфере, по углероду - около $1000 \cdot 10^{15}$ г С (Summerhayes, Thorpe, 1996); к этой категории примыкают вещества, называемые экзометаболитами и органическими лигандами;

(е) гумус (как почвенный, так и водный);

(ж) биогенные неорганические частицы, представленные, например, панцирями кремнистых организмов, с размерами панцирей в мм: панцири диатомовых водорослей (0,2 - 0,02), радиолярий (0,25 - 0,05), силикофлагеллят (0,1 - 0,02), карбонатных планктонных фораминифер (0,25 - 0,05), кокколитофорид (мельче 0,01); удельная поверхность этих естественных сорбентов 5 - 120 м² на 1 г [32];

(з) органическое вещество донных отложений Мирового океана и континентальных водоемов (по оценкам, около 10^{22} г углерода) (Summerhayes, Thorpe, 1996);

(и) различные биополимеры, выделяемые организмами во внешнюю среду и др., а также продукты биохимических и химических трансформаций этого вещества (продукты микробиологической переработки, окисления кислородом, продукты фотореакций, в том числе продукты фотодеструкции).

Для объективного рассмотрения и проверки предположения о том, чтобы выделить указанные объекты биосферы в качестве отдельного типа вещества, необходимо остановиться на подходящих критериях. Представляется логичным использовать следующий набор критериев:

(1) Отличие рассматриваемых материальных объектов от живого вещества;

(2) отличие от неживого (косного) вещества;

(3) достаточно большая суммарная масса;

(4) наличие своей специфики, т.е. специфики выполняемых этим веществом функций в биосфере;

(5) существенная роль рассматриваемого вещества в геохимической среде.

Приступим к анализу.

Отметим, что общая масса вещества третьего типа значительна и на несколько порядков превышает общую массу живого вещества в биосфере.

Пример образования заметных количеств вещества третьего типа – накопление биогенного детрита на дне водных систем с организмами. Для краткости вещество третьего типа будем обозначать ELM (ex-living matter). В данном сообщении уделяется внимание такому представителю ELM, как биогенный детрит; однако, подчеркнем, что это далеко не единственный представитель третьего типа вещества.

Подчеркнем, что во многих случаях реально наблюдаемое – например, в водных экосистемах – вещество третьего типа не является просто бездыханными телами ранее живых организмов. После их смерти вступают в действие микроорганизмы, инициируются химические реакции окисления, деградаци и т.д. Через непродолжительное время наблюдаемое вещество – продукт многих модификаций и трансформаций. Кроме того, немалую роль играют прижизненно выделяемые молекулы полимеров - например, полисахариды и другие вещества. Реально наблюдаемое вещество третьего типа, по-видимому, во многих случаях имеют комплексную природу и является результатом многих процессов.

Приходится признать, что в определенных случаях границы между типами вещества размыты. Например, по-видимому, в некоторых случаях затруднительно провести четкую границу между веществом 3 и 4-го типа. Возможно, в некоторых случаях будет уместно говорить, что данный объект обладает признаками вещества такого-то типа и на этом останавливаться – не пытаюсь жестко классифицировать объект, категорично относя этот объект к строго одному типу вещества.

Вполне уместно отметить возможность эволюции, перехода вещества от одного типа к другому – например, вещество 3-го типа со временем может превращаться в минерал (вещество 2-го типа).

Факты, которые поддерживают выделение новой категории вещества (тип 3 в нашей вышеизложенной типологии), многочисленны.

Представляются существенными результаты наблюдений и опытов, которые проводились нами с организмами-фильтраторами (с 1995 г. по настоящее время), а также с микрокосмами в условиях длительной инкубации (с 2002 г. по настоящее время). В этих опытах мы наблюдали и изучали процессы, связанные с образованием существенных количеств ELM. Это вещество образовывалось в результате жизнедеятельности водных организмов (двустворчатых и легочных моллюсков), а также в результате длительной инкубации микрокосмов с макрофитами. Мы осуществили сбор и элементный анализ различных образцов биогенного детрита и других компонентов микрокосмов. Результаты отражены в публикациях (Остроумов, Демина, 2009, 2010; Остроумов, Колесов, 2009а,б, 2010а,б; Остроумов и др., 2009 и др.).

Мы провели также эксперименты по проверке выдвинутой нами гипотезы о возможности связывания с биогенным детритом ряда элементов. Работа по проверке этой гипотезы выполнялась совместно с сотрудниками ряда институтов (в том числе Института геохимии и аналитической химии РАН и Института океанологии РАН), которым приносится благодарность за сотрудничество. Гипотеза подтвердилась (см. ниже).

3. ПРИМЕРЫ ФАКТОВ, КОТОРЫЕ ПОДДЕРЖИВАЮТ ВЫСКАЗАННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Пример 1. Опыт с микрокосмами (Остроумов, Дёмина, 2010).

(Выражаем признательность и благодарность соавтору этой работы, д.г.-м.н. Л.Л. Деминой; в ряде аналогичных опытов участвовал к.х.н. Г.М. Колесов).

Для описания опытов далее приводятся три таблицы, в которых отражается следующее:

состав созданных и изученных микрокосмов (табл.1);

добавки металлов в воду микрокосмов (табл. 2);

результаты инкубирования микрокосмов – элементный состав биогенного детрита в этих экспериментальных водных экосистемах (табл. 3).

Таблица 1

Состав созданных и исследованных микрокосмов

Характеризуемый компонент	Микрокосм № 1 (контроль)	Микрокосм № 2 (опыт)
Моллюски <i>Viviparus viviparus</i> , экз.	6	6
Моллюски <i>Viviparus viviparus</i> , суммарная биомасса, г (сырой вес)	33,7	31,6
Макрофиты <i>Ceratophyllum demersum</i> , г (сырой вес)	16,3	15,1
Вода (отстоянная водопроводная вода), л	5	5

Состав вносимого в микрокосмы раствора М7 приведен в таблице ниже. Суммарное добавление за период 5 недель составило 10 мл на весь объем воды в микрокосме (5 л), т.е. 2 мл раствора М7 на 1 л.

Таблица 2

Соли металлов, включенные в состав раствора М7, и добавка солей металлов в микрокосмы

Соль	Навеска соли для исходного раствора «М7» (1 л), мг	Добавление соли в микрокосм (при внесении 1 мл раствора «М7»), мкг
$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	40	40
$K_2Cr_2O_7$	40	40
$Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$	20	20
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	40	40
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	40	40
$ZnSO_4$	40	40
$CoSO_4 \cdot 7H_2O$	40	40

Результаты опыта приведены далее.

Таблица 3

Содержание микроэлементов (As и тяжелые металлы) в осадке биогенного детрита, мкг/г сухого веса (Остроумов, Дёмина, 2010 и др.).

Химический элемент; плюсом отмечены элементы, добавленные в водную среду микрокосма	Микрокосм № 1 (контроль)	Микрокосм № 2 (опыт)	Отношение содержания в № 2 к содержанию в № 1, %	Вывод о содержании металла в опыте, по сравнению с контролем
1	2	3	4	5
As	1,85	1,42	76,8	Превышения нет
Co (+)	0,67	9,36	1397,0	Превышение
Cd (+)	0,62	2,25	362,9	Превышение
Pb	11,75	12,25	104,3	Превышения нет
Cr (+)	0,32	56,00	17500,0	Превышение
Fe (+)	4830	5788	119,8	Небольшое превышение
Mn (+)	3233	4729	146,3	Превышение
Zn (+)	1398	2501	178,9	Превышение
Cu (+)	293	592	202,0	Превышение

Пример 2. Новые опыты. Связывание группы элементов, в том числе металлов и редкоземельных элементов, с биогенным материалом. Наряду с другими элементами, изучали такие элементы, как As, Be, Cd, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, V, Zn; изучали также Bi, Ga, Gd, Ge, Ho, Ir, Nb, Rb, Ta, Tb, Te, Th, Tm и др. (совместная работа с J. Tyson, M. Johnson, B. Xing, University of Massachusetts, MA, USA; публикация в подготовке).

Пример 3. Связывание наночастиц, содержащих тяжелые металлы, с биогенным материалом (совместная работа с J. Tyson, M. Johnson, B. Xing, University of Massachusetts, MA, USA; публикация в подготовке). С этими результатами согласуется также проведенная работа с использованием спектроскопии ЯМР, которая доказала эффективное связывание наночастиц, содержащих цинк, с некоторыми аминокислотами (триптофан) (совместная работа с В.И. Польшаковым; публикация в подготовке).

Пример 4. Данные по изучению гумусовых веществ в почвах и водах. В литературе есть обширные сведения о связывании этими веществами многих токсичных веществ.

Пример 5. Работами многих лабораторий установлен факт, тесно связанный с вышеприведенными примерами, - связывание многих токсичных веществ донными осадками, причем важную роль играет содержание в донных осадках органического вещества. Например, недавно это еще раз было показано для связывания Cd, Fe, Co, Ni, As, Cr, Pb, Cu, V донными осадками Ивановского водохранилища (Липатникова, 2011). Органическое вещество донных осадков имеет биогенный характер и, конечно же, может служить примером вещества того типа, который в данной работе обозначен как ELM.

Пример 6. Существуют данные многих лабораторий о связывании элементов, в том числе токсичных металлов, с биогенным материалом. Например, показана

но эффективное связывание Al(III), Cu(II), Ag(I) с каждым из десяти исследованных биогенных материалов (biologically generated materials), иммобилизованных полисиликатным матриксом. Исследованные биогенные материалы включали сфагновый торф, верхний слой почвы, несколько других видов торфа, мертвую биомассу *Chlorella vulgaris* и клеточный материал растений *Datura innoxia* (Stark P. C., Rayson G. D., 2000).

Пример 7. Большая функциональная значимость биогенного материала в природных экосистемах ярко проявляется в случае пресноводных и морских экосистем. Биогенное органическое вещество, которое входит в состав донных отложений, вносит существенный вклад в связывание загрязняющих веществ донными отложениями, что является одним из процессов самоочищения воды в водных экосистемах (Остроумов, 2004, Ostroumov, 2006).

Дополнительный большой материал о биогенном органическом материале в экосистемах, в особенности водных, содержится во многих других публикациях, в том числе в (Summerhayes, Thorpe, 1996; Wetzel, 2001).

Эти примеры иллюстрируют широту эмпирического материала, на основании которого сделан и обоснован вывод о возможности выделения нового типа вещества. Возникает вопрос о том, как лучше назвать этот тип вещества.

4. ВАРИАНТЫ НАЗВАНИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НОВОГО ТИПА ВЕЩЕСТВА

В дополнение к использованной нами терминологии, ради объективности, рассмотрим и другие варианты названия этого вещества, которые мы могли бы предложить. Эти варианты даны в таблице ниже.

Таблица 4

Варианты названий нового типа вещества в биосфере (ориг.)

Название / name	Комментарий / comment Что акцентирует такой вариант названия
Ex-living matter	Генезис; timing
Биогенное косное вещество	Роль биоты; генезис
Биогенное неживое вещество	Роль биоты; генезис; дистанцирование от живого;
Вещество - химический буфер	Роль химических факторов и процессов; буферная роль;
Буферное вещество	Роль химических факторов и процессов; промежуточное положение между живым и неживым веществом; буферная роль
Метафорическое выражение: Вещество-помощник (Life Assisting Matter),	Позитивная роль этого вещества для живых организмов; в некоторых случаях констатируется, что вещество жертвует своим статусом живого, одновременно помогая улучшить условия для жизни организмов биосферы
Биогенная матрица	Биогенное происхождение вещества; способность нести функцию матрицы, сорбирующей химические элементы

В одной из строк табл. 4 встречается следующее выражение: «в некоторых случаях констатируется, что вещество жертвует своим статусом живого, одновременно помогая улучшить условия для жизни организмов биосферы». Не вызывает ли это некоторые исторические ассоциации? В плане своей функциональной роли в биосфере ELM может выступать как камикадзе наоборот. А именно, японский камикадзе сначала выполнял свою функцию – направлял ведомую им торпеду или свой самолет на американский корабль – и затем погибал. ELM в чем-то действует аналогично, но в противоположной последовательности. А именно, сначала часть живого вещества погибает и превращается в ELM. Затем ELM выполняет свою полезную для биосферы функцию – связывает токсичные вещества (например, токсичные тяжелые металлы), убирает их из свободной миграции и игры в окружающей среде (например, убирает их из водного раствора в гидросфере) и создает тем самым более благоприятные условия для жизни живых существ.

Итак, в конце концов функция выполнена, и это связано с гибелью ранее живого вещества или камикадзе. Это сходство конечного результата и заставило прибегнуть к столь необычному на первый взгляд вербальному выражению.

Рассматриваемые представления помогают по-новому осветить некоторые природные явления. Среди них – листопад. Вспомним о тысячах листьев, опадающих осенью с каждого дерева широколиственных лесов – и мы по-новому увидим эту картину: листопад можно интерпретировать как то, что каждое дерево посылает тысячи камикадзе, которые будут благоприятным образом влиять на химизм среды для этого дерева, в том числе путем связывания некоторого количества токсичных химических элементов.

Новые результаты, полученные в этих исследованиях, а также данные научной литературы выявляют существенную роль ELM в миграции элементов в биосфере. Подробное описание проведенных экспериментальных работ содержится в отдельных публикациях (например, Остроумов, Дёмина, 2010; Остроумов С.А., Колесов, 2009, 2011).

Хотелось бы подчеркнуть, что эффективное связывание тяжелых металлов с ELM (на примере биогенного детрита) указывает на важные для биосферы функции ELM – а именно, функции кондиционирования, очищения и стабилизации среды обитания для живых организмов, а также модификации и регуляции миграции элементов. Эти функции настолько важны и необходимы для поддержания благоприятной среды для живых организмов и настолько выделяют ELM как особую субстанцию, что есть смысл рассматривать ELM как особый тип вещества (о функциях – см. табл. 5).

Таблица 5

Функциональные особенности ELM как особого типа вещества

Функциональные особенности ELM / Functions of ELM	Примеры / Examples
1	2
1. Связывание и секвестр токсичных веществ, токсичных элементов	В случае водной среды – вклад в самоочищение воды (Остроумов, 2004, Ostroumov, 2006); другие публикации автора). Изучались различные токсиканты, в том числе токсичные тяжелые металлы. Совместные работы с Г.М. Колесовым (Остроумов., Ко

Окончание таблицы 5

1	2
	лесов, 2004; 2009а,б, 2010 и др.), Л.Л.Деминой (Остроумов, Дёмина, 2010) и др.); совместная работа с J. Tyson, M. Johnson, B. Xing, University of Massachusetts, MA, USA (публикация в подготовке)
2. Депонирование микроэлементов, эссенциальных элементов	Fe, Cu, Zn, Co; совместные работы с Л.Л. Деминой (Остроумов, Дёмина, 2010 и др.); Г.М. Колесовым (Остроумов., Колесов, 2004; 2009а,б, 2010 и др.).
3. Связывание элементов, создающих тепличные газы;	Связывание и депонирование С в органических полимерах (целлюлоза, лигнин и др.) в составе мортмассы
4. Создание субстратов для прикрепления организмов (substrate, habitats)	Органические остатки и структуры как поверхность для прикрепления бактерий, грибов и др.
5. Консервирование кормовых ресурсов	Органические остатки, листовой опад как кормовые ресурсы для гетеротрофных организмов в зимний период – в наземных и водных экосистемах
6. Запасание влаги (влагоудержание, влагоемкость)	Почвы; консорции с участием эпифитные организмы в наземных ярусах леса, в том числе тропических деревьев; и др.
7. Создание компонентов для катализа и/или протекания полезных химических реакций	Органические лиганды участвуют в некоторых реакциях разрушения молекул загрязняющих веществ (поллютантов) в водной среде (публикации проф. Ю.И. Скурлатова и соавторов (Скурлатов и др., 1994).
8. Удержание биогенных элементов в системе	Секвестр, удержание Р и N в почвах, донных осадках, сорбированных материалах

5. ОТЛИЧИЕ ОТ ЖИВОГО И «ТИПИЧНОГО» НЕЖИВОГО ВЕЩЕСТВА.

Во-первых, этот тип вещества, конечно же, перестал быть живым веществом и отличен от живого вещества.

Во-вторых, вместе с тем, это вещество настолько глубоко вовлечено в обслуживание интересов живых организмов и – пользуясь языком В.И. Вернадского - оно настолько активно в воздействии на миграцию элементов, на формирование благоприятной геохимической среды обитания организмов, что есть смысл отличать его от обычного неживого вещества, такого неживого инертного вещества, которое является объектом минералогии и петрографии.

Проведенные автором описанные выше опыты касались водных систем. Вместе с тем подчеркнем, что уже накопленные в науках о почвах факты о исключительно большой роли гумуса в жизни почвенных и наземных (terrestrial) [9] экосистем согласуются с предлагаемой нами концепцией и дополнительно подкрепляют ее.

Все сказанное суммировано в следующей таблице, где материал обобщен с точки зрения того, насколько имеется соответствие набору основных критериев для выделения особого типа вещества в биосфере.

Из таблицы 6 Видно, что соответствие всем предложенным ранее критериям имеется.

Наши новые результаты по изучению элементного состава биогенного детрита, по изучению взаимодействия химических веществ с детритом, а также анализ литературных данных обширного комплекса экологических наук, а также данных о геохимической среде [12-18] приводят нас к следующим итоговым положениям, которые, вероятно, получат новые подтверждения в дальнейших исследованиях.

Таблица 6

Проверка соответствия особенностей вещества третьего типа (ELM, ex-living matter, экс-живого вещества) сформулированным ранее критериям для выделения особого типа вещества в биосфере

	Критерии	Выполняемость критерия в случае ELM	Есть ли соответствие данному критерию
1.	Отличие от живого вещества	Принципиальное отличие есть	+
2.	Отличие от неживого (косного) вещества	Есть отличие от мира минералов, типичной «неживой» природы	+
3.	Достаточно большая суммарная масса	Масса превышает массу живого вещества Растворенное органическое вещество, по углероду (Dissolved organic carbon) $1000 \cdot 10^{15}$ g C; Органическое вещество донных осадков, по углероду (Organic sediments) $10^7 \cdot 10^{15}$ g C; Морская биота (Marine biota) $3 \cdot 10^{15}$ g C; Наземная биота (Terrestrial biota) $(420-830) \cdot 10^{15}$ g C	+
4.	Наличие своей специфики	Есть уникальный набор не менее восьми функций (см. выше таблицу 5)	+
5.	Существенная роль в геохимической среде, биосфере	Исключительно большая важность для выживания организмов	+

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Результаты проведенных опытов и анализ научной литературы ведет к следующим замечаниям и выводам.

1. В биосфере имеется, в дополнение к живому и неживому веществу в их традиционном понимании, особая категория вещества – ELM (ex-living matter, экс-живое вещество, в трактовке, изложенной выше).

2. ELM выполняет важные экологические и биогеохимические функции. Среди них – кондиционирование геохимической среды, включая, например, связывание некоторых химических веществ и элементов. Тем самым может снижаться

концентрация этих токсичных компонентов в окружающей среде, в том числе в водной среде, что благотворно для условий обитания живых организмов. Это относится и к токсичным элементам, и к элементам, геохимия которых связана с климаторегулирующими функциями.

3. Можно сделать предсказание, что в будущем будут получены новые факты о большой роли ELM в экологии, биосфере, в очищении или кондиционировании компонентов окружающей среды, в том числе водной среды.

4. Недоучет роли ELM может привести к ошибкам в оценке воздействий на окружающую среду, планировании и осуществлении природопользования, экологическом мониторинге, борьбе с химическим загрязнением, обеспечении экобезопасности.

5. Сделанные выводы далеки от окончательных обобщений. Вполне возможно, что в дальнейшем предлагаемую типологию необходимо будет модифицировать и улучшить.

6. Поиск адекватной типологии видов вещества в биосфере вносит вклад в анализ фундаментальных концепций и систематизацию обширного эмпирического материала и накопленных фактов о геохимической среде и биосфере.

В заключение полезно вспомнить слова известного биолога Эрнста Майра (Ernst Mayr, 1904-2005):

«All interpretations made by a scientist are hypotheses, and all hypotheses are tentative» («Все интерпретации, которые делает ученый, представляют собой гипотезы, а все гипотезы – временные»).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Автор благодарит всех участников Биогеохимических чтений ГЕОХИ РАН (28.06.2011) за обсуждение; С.В. Котелевцева, В.В. Ермакова, Л.Л. Демину, Г.М. Колесова, Т.В. Шестакову, В.А. Поклонова, сотрудников нескольких факультетов МГУ и нескольких институтов РАН, а также ИНБИОМ НАНУ (Украина) за обсуждение, участие и содействие в проведении экспериментальной и аналитической работы. A part of experimental work was done under sponsorship of Fulbright Program (University of Massachusetts, Amherst, 2010-2011), with cooperation with J. Tyson, M. Johnson, B. Xing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА.

Абросимова Э.В., Антонов П.И., Буркова Т.Н., Розенберг Г.С. и др. (33 автора). Ресурсы экосистем Волжского бассейна: в 2-х т. / Отв. ред. Г.С. Розенберг и С.В. Саксонов. Тольятти: ИЭВБ РАН; "Кассандра", 2008. Т. 1. Водные экосистемы. 286 с.

Вернадский В.И. Биосфера. М.: Изд. дом Ноосфера, 2001, 244 с. (первое издание было в 1926 г.). - **Вернадский В.И.** Научная мысль как планетное явление. М.: Наука. 1991. 271 с.

Добровольский Г.В. К 80-летию выхода в свет книги В.И. Вернадского "Биосфера". Экологическая химия 2007, 16(3): 135–143. - **Добровольский Г.В.** О развитии некоторых концепций учения о биосфере. // Вода: технология и экология. 2007. №1. С.63-68. - **Добровольский Г.В., Никитин Е.Д.** Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. М. Наука. 2000. 186 с. - **Донченко В.К., Иванова В.В., Питулько В.М.** Эколого-химические особенности прибрежных акваторий. Спб.: НИЦЭБ РАН, 2008. 544 с.

Ермаков В.В. Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Technogenesis and biogeochemical evolution of the biospheric taxons). - М: Наука. - 2003. 351

с. - **Ермаков В.В., Тютиков С.Ф.** Геохимическая экология животных. М.: Наука, 2008. 315 с.

Ивантер Э.В., Медведев Н.В. Экологическая токсикология природных популяций. М.: Наука, 2007. 229 с.

Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука. 1982. 80 с. - **Корж В.Д.** Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. 244 с.

Липатникова О.А. Экспериментальное исследование и термодинамическое моделирование форм нахождения микроэлементов в донных отложениях Иваньковского водохранилища. Автореф....канд. геол.-минер. наук. Москва. МГУ. 2011. 25 с. - **Лисицын А.П.** Процессы океанской седиментации. М.:Наука. 1978. 392 с.

Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши. М.: Наука, 2006. 261 с.

Остроумов С.А. Введение в биохимическую экологию. М.: Издательство Московского университета. 1986. 176 с. - **Остроумов С.А.** Некоторые вопросы химико-биотических взаимодействий и новое в учении о биосфере / серия: Ecological Studies, Hazards, Solutions. Volume 17. М.: МАКС Пресс, 2011. 20 с. - **Остроумов С.А.** Новая типология вещества и роль ex-living matter (ELM) в биосфере [New typology of matter and the role of ex-living matter (ELM)] Ecol. Studies, Hazards, Solutions, 2010, v.16. 62-65. - **Остроумов С.А.** О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // Доклады академии наук (ДАН). 2004. т. 396. № 1. С.136-141. - **Остроумов С.А., Дёмина Л.Л.** Тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) в биогенном детрите микрокосмов с водными организмами // Экология промышленного производства. 2010. № 2. С. 53-56. - **Остроумов С.А., Демина Л.Л.** Экологическая биогеохимия и элементы (мышьяк, кобальт, железо, марганец, цинк, медь, кадмий, хром) в цистозире и биогенном детрите в морской модельной экосистеме: определение методом атомно-абсорбционной спектрометрии // Экологические системы и приборы. 2009. № 9. С. 42-45. - **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Водный макрофит *Ceratophyllum demersum* иммобилизует Au после добавления в воду наночастиц // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 4. С. 566-569. <http://www.scribd.com/doc/54991990/> - **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Выявление урана и тория в компонентах водных экосистем методом нейтронно-активационного анализа // Вода: химия и экология. 2009. № 10. С. 36-40. - **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Детектирование в компонентах экосистем золота, урана и других элементов методом нейтронно-активационного анализа // Экологические системы и приборы. 2009. № 10. С. 37-40. - **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** О роли биогенного детрита в аккумуляции элементов в водных системах // Сибирский экологический журнал, 2010, № 4, с. 525-531. <http://www.scribd.com/doc/54994042/> - **Остроумов С.А., Колесов Г.М.** Редкие и рассеянные элементы в биогенном детрите: новая сторона роли организмов в биогенной миграции элементов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1. С. 153-155. - **Остроумов С.А., Колесов Г.М., Моисеева Ю.А.** Изучение водных микрокосмов с моллюсками и растениями: содержание химических элементов в детрите // Вода: химия и экология. 2009. № 8. С. 18-24. - **Остроумов С.А., Котелевцев С.В., Шестакова Т.В., Колотилова Н.Н., Поклонов В.А., Соломонова Е.А.** Новое о фиторемедиационном потенциале: ускорение снижения концентраций тяжелых металлов (Pb, Cd, Zn, Cu) в воде в присутствии элодеи // Экологическая химия, 2009, 18(2): 111-119. - **Остроумов С.А., Шестакова Т.В.** Снижение измеряемых концентраций Cu, Zn, Cd, Pb в воде экспериментальных систем с *Ceratophyllum demersum*: потенциал фиторемедиации // ДАН. 2009. т. 428. № 2. С. 282-285. <http://www.scribd.com/doc/53718816/>;

Панин М.С. Химическая экология / Под ред. С.Е. Кудайбергенова – Семипалатинский гос. ун-т им. Шакарима. Семипалатинск, 2002. 852 с. - **Перельман А.И., Касимов Н.С.** Геохимия ландшафта. М.: Астрей, 2000. 763 с.

Розенберг Г.С. Экология в картинках (Учебное пособие). Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007. 218 с. - **Розенберг Г.С., Мозговой Д.П., Гелашвили Д.Б.** Экология. Элементы теоретических конструкций современной экологии. – Самара: СамНИЦ РАН, 1999. – 396 с.

Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию. М. Высшая школа. 1994. 400 с.

Федонкин М.А. Рец. Открытие нового вида опасных антропогенных воздействий в экологии животных и биосфере: ингибирование фильтрационной активности моллюсков поверхностно-активными веществами (Ред. Г.В. Добровольский, Г.С. Розенберг, И.К. Годераш; Москва: МАКС-Пресс, 2008) // Вестник РАН. 2009, т.79, № 8, с.749-750.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2-х кн. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.; Кн. 2. 337 с.

Ostroumov S.A. Biological Effects of Surfactants. CRC Press. Taylor & Francis: Boca Raton, London, New York. 2006. 304 p.

Stark P.C., Rayson G.D. Comparisons of metal-ion binding to immobilized biogenic materials in a flowing system // Advances in Environmental Research, 2000, Vol.4 (2), P. 113-122. doi:10.1016/S1093-0191(00)00012-5. - **Summerhayes C., Thorpe S.** (Eds.) Oceanography. London: Manson Publishing. 1996. 352 p.

Vernadsky V.I. Problems of biogeochemistry. The fundamental matter-energy difference between the living and inert natural bodies of the biosphere // Trans. Conn. Acad. Arts Sci. 1944. 35: 483-517.

Wetzel R.G. Limnology: Lake and River Ecosystems. San Diego: Acad. Press, 2001. 1006 p.