

УДК 550.424

СПЕЦИФИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА БИОСФЕРЫ

© 2003 г. В. Д. Корж

Представлено академиком А.П. Лисицыным 03.04.2003 г.

Поступило 07.04.2003 г.

Определение элементного состава и свойств биосферы является одной из наиболее актуальных и сложных проблем, сформулированных В.И. Вернадским [1].

Ключевым моментом исследования специфики формирования элементного состава биосферы является определение закономерностей перераспределения средних концентраций элементов между различными фазами: твердой–жидкой–газообразной (литосфера–гидросфера–атмосфера), происходящего в результате глобального непрерывного процесса переработки косной материи живым веществом. Наша задача – исследовать такой процесс в системе литосфера–гидросфера с учетом интегрального участия в этом процессе живого вещества. При этом необходимо учитывать, что различие между элементными составами протолитосферы и биосферы возможно определить лишь при условии нахождения закономерностей эволюции элементного состава биосферы.

В последние годы появились работы по исследованию эволюции геологических процессов в истории Земли [2], эволюции морских осадков и осадочных пород [3–6], химической эволюции гидросферы [7]. Наша работа по исследованию эволюции элементного состава биосферы (литосферы, гидросферы) является первой попыткой решить эту проблему с использованием современных методологических принципов [8].

Элементный состав мы рассматриваем как целостную систему, обладающую собственным уровнем организации и эмерджентностью, т.е. несводимостью свойств системы к сумме свойств элементов ее составляющих. Мы полагаем, что, проходя через живое вещество, косная материя изменяется в сторону увеличения порядка (уменьшения хаоса) и образования новой структуры. При этом важен не сам конкретный вид элемен-

тов структуры (системы), а совокупность их взаимоотношений. В этом смысле используемая методология предполагает когерентность элементов системы, их подчиненность общим законам эволюции системы.

А. П. Виноградовым опубликованы данные о содержании химических элементов в главных типах пород земной коры и в каменных метеоритах [9], которые легли в основу наших построений. Графический способ сопоставления среднего элементного состава каменных метеоритов и литосферы, представленный на рис. 1, приводит к выявлению следующих групп элементов: $C_{\text{мет}} \gg C_{\text{лит}}$ – всего 11 элементов, $C_{\text{мет}} \sim C_{\text{лит}}$ – 18 элементов и $C_{\text{мет}} \ll C_{\text{лит}}$ – 42 элемента. Коэффициент корреляции между представленными в логарифмической форме концентрациями элементов в протопланетном веществе и в литосфере для 71 изученного химического элемента равен 0.87. Тангенс угла наклона регрессионной прямой равен 0.75. Это численное значение тангенса является количественной оценкой фактора нелинейности общего процесса эволюции элементного состава в системе протолитосфера–живое вещество–биосфера.

Раздельное рассмотрение указанных групп элементов приводит к выявлению отдельных этапов формирования элементного состава литосферы. Коэффициент корреляции между концентрациями в протопланетном веществе и литосфере для 11 элементов, имеющих соотношение концентраций $C_{\text{мет}} \gg C_{\text{лит}}$, равен 0.98. Тангенс угла наклона регрессионной прямой (на рис. 1 помечена цифрой 1) равен 1.02. Следовательно, в общем случае зависимость содержания элементов (которые можно условно назвать ядрообразующими) в литосфере от их содержания в протопланетном веществе линейна. Значительное увеличение коэффициента корреляции, рассчитанного для указанных 11 элементов ($R = 0.98$) по сравнению с рассчитанным для 71 изученного элемента ($R = 0.87$) указывает на существование определенного процесса, выделяющего названные элементы из протопланетного вещества.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова
Российской Академии наук,
Москва

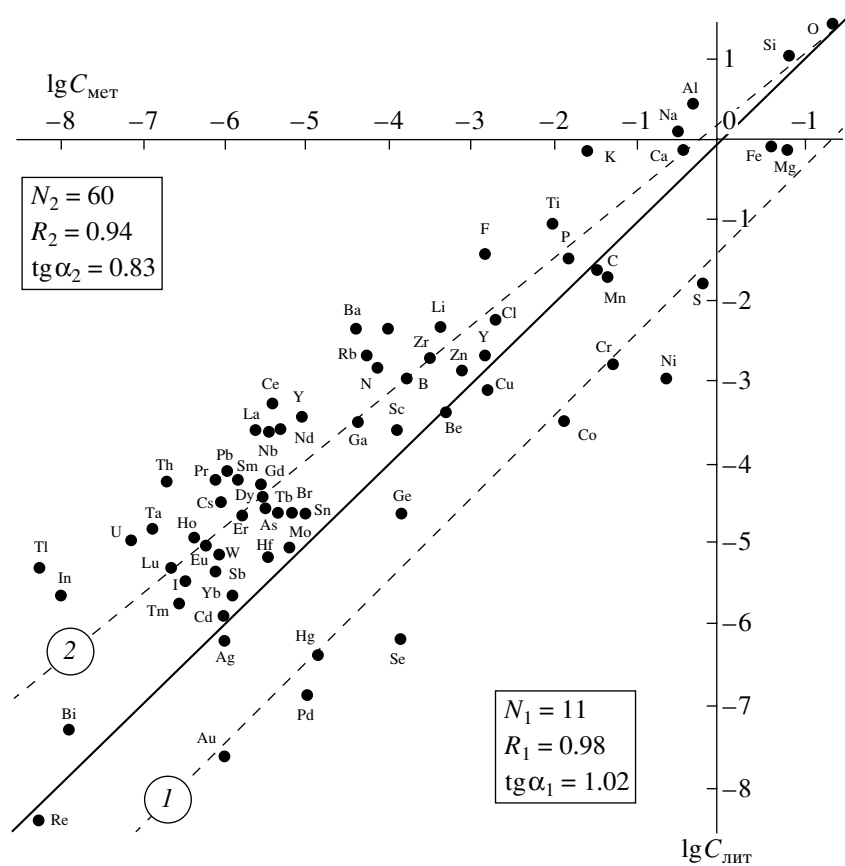


Рис. 1. Соотношение между концентрациями элементов в хондритах и литосфере.

Установленная закономерность позволяет количественно оценить тенденцию процесса переработки косной материи живым веществом на поверхности Земли. Этот процесс приводит к общему относительному увеличению в твердой фазе концентраций химических элементов по мере уменьшения их распространенности в окружающей среде [10]. Следовательно, перевод элементов из более растворимого в менее растворимое соединение – это общая специфическая реакция “живого вещества” на дефицит их концентраций в среде обитания.

Новый подход к исследованию элементного состава литосферы позволил объяснить закономерность, выявленную А.П. Виноградовым [3]: изотопы, содержащиеся в меньших концентрациях в изотопной смеси, в общем более активно “накапливаются в породах, лежащих ближе к поверхности Земли”. Элементный и изотопный составы поверхности литосферы закономерно отличаются от таковых в глубинных ее слоях. На это указывал В.И. Вернадский в работе “О геохимическом равновесии биосферы”. Поскольку изученность элементного состава поверхностного слоя литосферы значительно превосходит изученность глубинных слоев, есть основание пола-

гать, что средний элементный состав литосферы, представленный в работе А.П. Виноградова [9], отвечает в основном среднему составу биосферы.

При изучении закономерностей формирования элементного состава гидросферы воспользуемся, так же как и в случае исследования литосферы, методологией кибернетического подхода. Оставив в стороне вопрос о процессах в отдельных частях системы, будем оперировать только понятиями “вход–выход”. Океан мы рассматриваем как сложную систему с процессами трансформации вещества, поступающего через геохимический барьер река–море (вход), результатом которых является средний элементный состав океана (выход) [10, 11].

График зависимости среднего элементного состава океанской и речной воды представлен на рис. 2. При количестве изученных элементов, равном 64, коэффициент корреляции равен 0.94. Линия, соответствующая уравнению, полученному методом линейной регрессии, составляет с осью абсцисс угол 34° , $\text{tg } \alpha = 0.67$. Обращает на себя внимание тот факт, что все элементы расположены по одну сторону от линии (или на самой линии), образующей с осью абсцисс угол, тангенс которого равен 0.70.

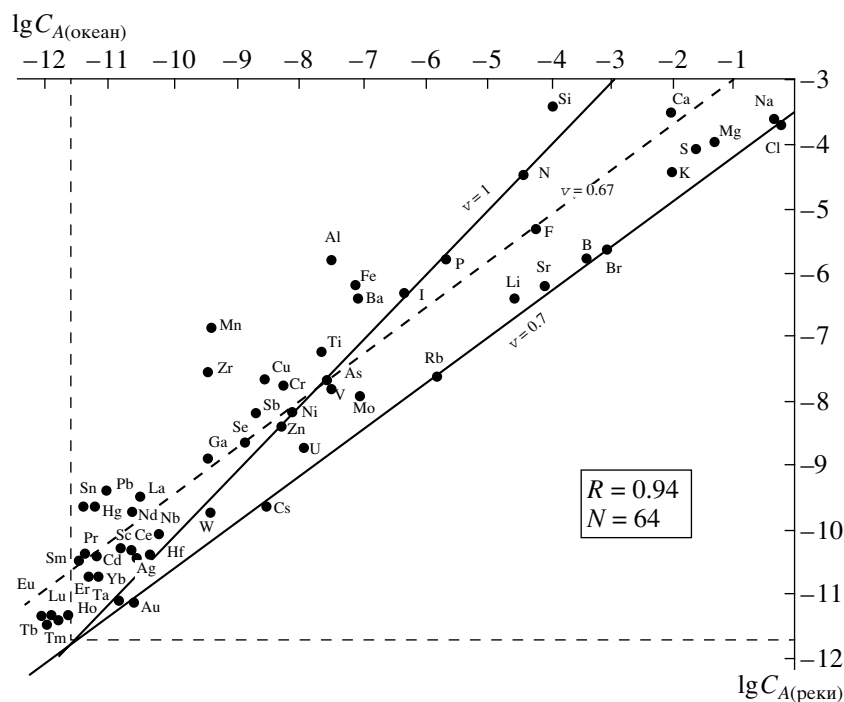


Рис. 2. Соотношение средних концентраций элементов в океане и речном стоке.

Было установлено, что линия, проходящая через Cl, Na, B, Br, Sr, Li, Rb, Cs, Mo, U, W, Tl, Re и Au, объединяет элементы с большими различиями их химических и физических свойств общим законом трансформации и миграции вещества на геохимическом барьере океан–атмосфера [11]. Характерной особенностью элементов, расположенных на этой линии, является сбалансированность их потоков в системе океан–континент–океан. Она описывается уравнением:

$$C_{A(\text{реки})} = 10^{-3.4} C_{A(\text{океан})}^{0.7}$$

Практическое равенство тангенса угла наклона линии, полученной методом линейной регрессии, и линии, отражающей закономерность трансформации и миграции вещества на барьере океан–атмосфера (рис. 2), свидетельствует о равенстве констант нелинейности процессов перераспределения средних элементных составов между растворенной и твердой фазами на абсолютно разных геохимических барьерах океан–атмосфера и река–море. Принципиальная общность геохимических барьеров состоит в том, что они являются местами “сгущения жизни”. Таким образом, регрессионный анализ позволил выявить общую тенденцию относительного увеличения концентраций микроэлементов в твердой фазе (и соответствующего уменьшения в растворе) в результате переработки косной материи живым веществом как в литосфере, так и на геохимических барьерах океан–атмосфера и река–море.

Выявленный нами общий нелинейный характер зависимости процессов перераспределения средних элементных составов между растворенной и твердой фракциями в веществе, проходящем через барьеры литосфера–живое вещество–гидросфера, река–живое вещество–море, океан–живое вещество–атмосфера, от их исходных концентраций приводит к принципиально важному выводу. Биогеохимическое поведение элементов, находящихся в природе в микроконцентрациях, в общем случае неадекватно поведению их химических аналогов, содержащихся в литосфере и гидросфере в макроконцентрациях. Особенно важно это учитывать при решении экологических проблем, а также при исследовании поведения радиоактивных изотопов в биосфере [12].

Таким образом, впервые найдены общие закономерности перераспределения средних элементных составов в биосфере между твердой и жидкой фазами (литосфера–гидросфера). Этот процесс наиболее активен на биогеохимических барьерах, т.е. в местах “сгущения жизни”, и проходит по ранее не известному нелинейному закону.

Установлено, что результатом этого процесса является общее относительное увеличение в твердой фазе концентраций химических элементов по мере уменьшения их распространенности в окружающей среде. Этот процесс, проходящий в разных геосистемах, имеет практически один и тот же показатель нелинейности (ν), равный при-

близительно 0.7 (протолитосфера–живое вещество–осадочные породы $v = 0.75$; река–живое вещество – океан $v = 0.67$; океан–живое вещество – атмосфера $v = 0.7$). Для современного уровня знания фактического материала эти оценки показателя нелинейности практически неразличимы. Следовательно, впервые установлено существование и получена количественная оценка универсальной константы нелинейности процесса эволюции элементного состава биосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.
2. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Тр. совещания. Москва, 23–24 апреля 1991. М.: Наука, 1993. 240 с.
3. Виноградов А.П. Химическая эволюция Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 44 с.
4. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
5. Ронов А.Б. // Геохимия. 1972. № 2. С. 137–148.
6. Тугаринов А.И., Бибикова Е.В. // Геохимия. 1976. № 8. С. 1151–1159.
7. Посохов Е.В. Химическая эволюция гидросферы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 286 с.
8. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. Сб. статей. М.: Прогресс–Традиция, 2002. 495 с.
9. Виноградов А.П. // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
10. Корж В.Д. В сб.: Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Тр. Биогеохим. лаб. М.: Наука, 1999. Т. 23. С. 6–37.
11. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. 243 с.
12. Корж В.Д. // Сиб. экол. журн. 2001. Т. 8. № 2. С. 223–230.