

УДК 550.47:550.43:551.46.01

КОНСТАНТЫ ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМООБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В БИОСФЕРЕ

В.Д. Корж

Институт океанологии им. П.П. Ширинова Российской Академии Наук ИОРАН
ocean41@mail.ru

На основе методологии эмпирического обобщения построена Система распределения химических элементов в гидросфере, обладающая большими прогностическими свойствами. Установлены нелинейные закономерности процессов перераспределения средних элементных составов в биосфере между твердой и жидкой фазами (литосфера-гидросфера) с участием живого вещества. Их результатом является общее относительное увеличение в твердой фазе концентраций химических элементов по мере уменьшения их распространенности в окружающей среде. *Впервые определена универсальная константа нелинейности процесса эволюции элементного состава биосферы.*

Ключевые слова: константы, биосфера, живое вещество, эмпирическое обобщение, элементный состав, система, динамика, экология.

Введение

«Природные катастрофы происходят в мире в четыре раза чаще, чем 30 лет назад, а экономический ущерб от их разрушений вырос семикратно» заявил 3 июня 2008 г. Директор аналитического отдела Департамента экономических и социальных проблем ООН Роб Вос (Rob Vos).

За последние 48 лет было зарегистрировано более семи тысяч стихийных бедствий, в результате которых погибло, по крайней мере, 2.5 миллиона человек, преимущественно, в развивающихся странах. Последствия катастроф становятся все более разрушительными, а сами страны не в состоянии их преодолеть без помощи международного сообщества. Роб Вос заявил о необходимости создания фонда помощи пострадавшим от стихийных бедствий с бюджетом в 4–5 миллиардов долларов. Существующие, в том числе, и под эгидой ООН гуманитарные проекты в большей степени направлены на преодоление последствий разрушений, нежели на их предотвращение и стратегическое управление рисками. Всего 2 % всех фондов катастроф направлено на предотвращение разрушительных последствий стихийных бедствий. В то же время, по данным экспертов США, каждый миллион долларов, вложенный в предотвращение риска и смягчение последствий катастроф, даёт семикратную отдачу. По подсчетам отечественных исследователей «Затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к природным событиям чрезвычайного характера в 15 раз меньше по сравнению с предотвращенным ущербом» [17].

Что же мешает работе по предотвращению многих экологических катастроф? Если материальная поддержка ученых может дать (и уже дает) большие выгоды, то почему этот бизнес не востребован, не работает должным образом? Ответ очевиден. Старая научная парадигма, рассматривающая биосферу как «механизм», поддающийся простому моделированию, не способна решать актуальные экологические проблемы. Создается угрожающе опасная тенденция, использующая материальную заинтересованность адептов старой парадигмы присоединиться к быстро растущей армии работников, обслуживающих «чрезвычайные ситуации».

Известный эколог, философ, общественный деятель Эрвин Ласло пишет: «Как показывают последние измерения, мы уже превысили предел способности природы к самовосстановлению. Если отсталость доминирующего ныне сознания есть основная

причина угрозы миру и выживанию человека, то эволюция этого сознания есть действенный способ преодоления такой угрозы. Холистическая парадигма в науке утверждает лишённую примитивизма сложность в противовес механистическим воззрениям. Холистическое понимание – передний край современной науки...» [14].

Материалы и методы исследования

Решение геохимических и экологических проблем наиболее динамичной и сложной части биосферы – гидросферы, потребовало отхода от традиционных неэффективных методологических подходов. На рис. 1 схематически представлены процессы переноса воды и морских солей в системе океан–атмосфера–континент–океан. Испарение и разбрызгивание морской воды сопровождается переходом морских солей в атмосферу. Эти соли поступают на сушу с дождевыми водами и возвращаются в океан с речным стоком. Морские соли поступают в атмосферу с изменёнными соотношениями концентраций. Соли с меньшей концентрацией более подвижны и с большей интенсивностью мигрируют в цикле океан–атмосфера–суша–океан. В этом процессе ежегодно участвуют сотни миллионов тонн солей [11].

На рис. 2 представлены количественные оценки круговорота воды на поверхности Земли и объёмы устойчивых резервуаров.

В табл. 1 представлены результаты исследования концентраций и основных форм нахождения химических элементов в Мировом океане [18].

На поверхности океана происходят многочисленные процессы переработки косной материи «живым веществом». О мощи биогенного процесса говорит то, что на поверхности океанов и морей продуцируется около 100 млрд. т/год сухого вещества планктона. Важнейший вид деятельности «живого вещества» гидросферы – изменение форм и концентраций большинства элементов, находящихся в воде в виде растворов. Аналогичные процессы проходят на барьере река–море. Сложность исследования элементного состава гидросферы как наиболее динамической части биосферы (рис. 1) лишает перспективы исследователей, стоящих на позициях редукционизма. Основные ориентиры для понимания новых методологических принципов изучения геохимии и экологии гидросферы можно найти в работах [12, 15, 18].

Необходимо подчеркнуть, что стабильность потоков вещества, а также стабильность биогеохимических процессов на геохимических барьерах океан-атмосфера, река-море, литосфера-гидросфера являются главными условиями стабильности биосферы и главным условием экологической безопасности. Наиболее результативной методологией изучения глобальных процессов в биосфере является методология эмпирических обобщений.

«Вся история изучения океана – это, в сущности, постепенный переход от идеи царящего в нем беспорядка и случайности к мысли о том, что он представляет собой совокупность определенным образом взаимосвязанных и, следовательно, упорядоченных физических, химических и биологических явлений, обладающих и относительно постоянной структурой, и вполне закономерным развитием. На одном из этапов, ведущих к такой идее, возникло представление об океане как открытой динамической системе». [15]. «В естественных науках расширение и углубление знания требует новых эмпирических фактов и их эмпирических обобщений. Само понятие «эмпирическое обобщение», постоянно подчеркиваемое В.И. Вернадским, здесь играет ключевую роль. Игнорирование этой стадии научных исследований, непосредственный переход от отдельных фактов к моделям и широким теоретическим обобщениям, минуя кропотливый, но очень важный этап эмпирических обобщений, подчас искажает реальность и создает только иллюзию знания» [18].

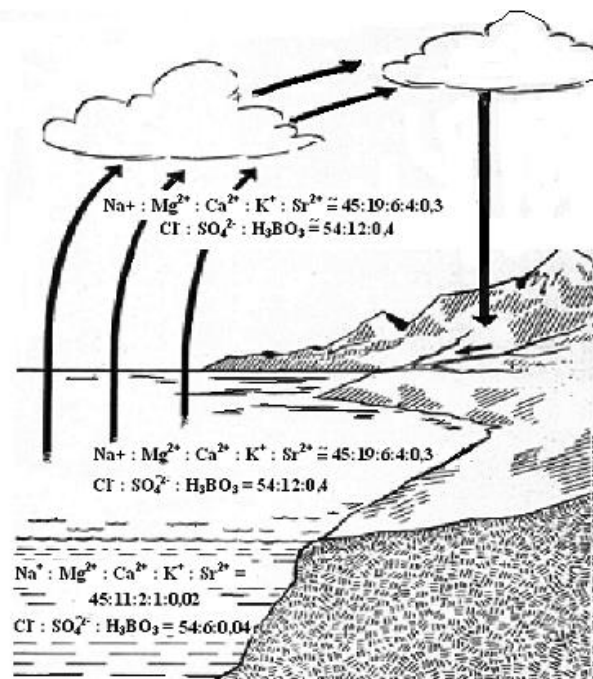


Рис. 1. Циклические процессы переноса вещества в системе океан – атмосфера – континент.

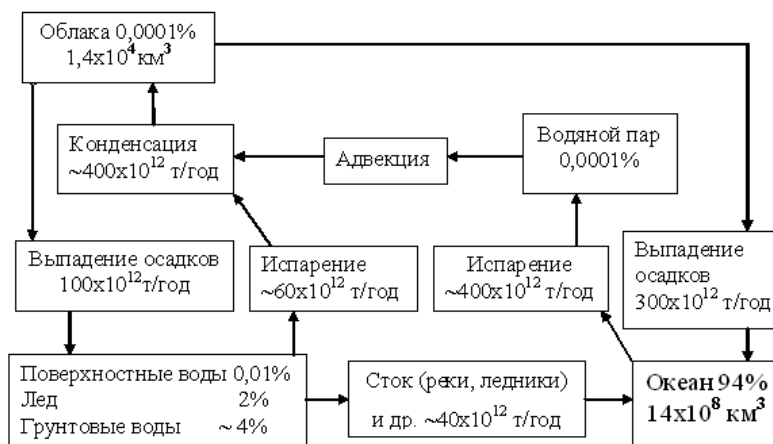
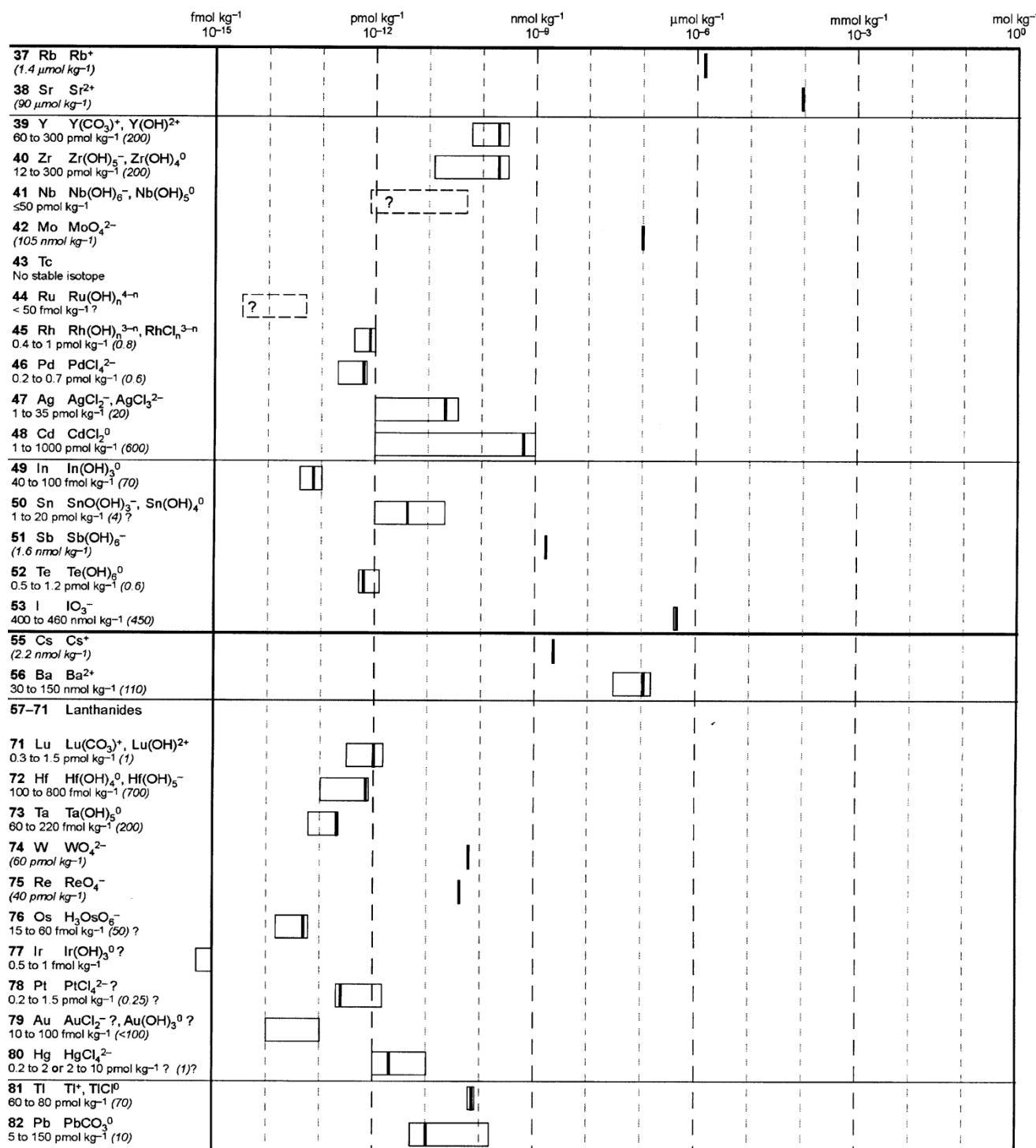


Рис. 2. Круговорот воды в природе

Таблица 1. Интервалы концентраций химических элементов, их средние содержания и основные формы нахождения в океане [19].

	fmol kg ⁻¹ 10 ⁻¹⁵	pmol kg ⁻¹ 10 ⁻¹²	nmol kg ⁻¹ 10 ⁻⁹	μmol kg ⁻¹ 10 ⁻⁶	mmol kg ⁻¹ 10 ⁻³	mol kg ⁻¹ 10 ⁰
3 Li Li ⁺ (25.9 μmol kg ⁻¹)						
4 Be Be(OH) ⁺ , Be(OH) ₂ ⁰ 4 to 30 pmol kg ⁻¹ (23)						
5 B H ₃ BO ₃ (416 μmol kg ⁻¹)						
6 C HCO ₃ ⁻ 1.9 to 2.5 mmol kg ⁻¹ (2.25)						
7 N N ₂ 350 to 610 μmol kg ⁻¹ (590)						
7 N NO ₃ ⁻ 0.01 to 45 μmol kg ⁻¹ (30)						
8 O O ₂ 1 to 350 μmol kg ⁻¹ (175)						
9 F F ⁻ (68 μmol kg ⁻¹)						
11 Na Na ⁺ (468 mmol kg ⁻¹)						
12 Mg Mg ²⁺ (53 mmol kg ⁻¹)						
13 Al Al(OH) ₄ ⁻ , Al(OH) ₃ ⁰ 0.3 to 40 nmol kg ⁻¹ (~2)						
14 Si H ₄ SiO ₄ 0.5 to 180 μmol kg ⁻¹ (100)						
15 P HPO ₄ ²⁻ 0.001 to 3.5 μmol kg ⁻¹ (2.3)						
16 S SO ₄ ²⁻ (28 mmol kg ⁻¹)						
17 Cl Cl ⁻ (546 mmol kg ⁻¹)						
19 K K ⁺ (10.2 mmol kg ⁻¹)						
20 Ca Ca ²⁺ 10.1 to 10.3 mmol kg ⁻¹ (10.3)						
21 Sc Sc(OH) ₃ ⁰ 8 to 20 pmol kg ⁻¹ (16)						
22 Ti Ti(OH) ₄ ⁰ , TiO(OH) ₂ ⁰ 6 to 250 pmol kg ⁻¹ (160)						
23 V HVO ₄ ²⁻ 30 to 36 nmol kg ⁻¹						
24 Cr Cr ³⁺ 3 to 5 nmol kg ⁻¹ (4)						
25 Mn Mn ²⁺ 0.08 to 5 nmol kg ⁻¹ (0.3)						
26 Fe Fe(OH) ₂ ⁺ , Fe(OH) ₃ ⁰ 0.02 to 2 nmol kg ⁻¹ (0.5)						
27 Co Co ²⁺ 4 to 300 pmol kg ⁻¹ (20)						
28 Ni Ni ²⁺ 2 to 12 nmol kg ⁻¹ (8)						
29 Cu CuCO ₃ ⁰ 0.5 to 4.5 nmol kg ⁻¹ (3)						
30 Zn Zn ²⁺ 0.05 to 9 nmol kg ⁻¹ (5)						
31 Ga Ga(OH) ₄ ⁻ 12 to 30 pmol kg ⁻¹						
32 Ge H ₄ GeO ₄ 1 to 100 pmol kg ⁻¹ (70)						
32 Ge MethylGe (400 pmol kg ⁻¹)						
33 As HAsO ₄ ²⁻ 20 to 25 nmol kg ⁻¹ (23)						
34 Se SeO ₄ ²⁻ 0.5 to 2.3 nmol kg ⁻¹ (1.7)						
35 Br Br ⁻ (0.84 mmol kg ⁻¹)						

(continued)



Сложность системных связей океанов, морей, других водоемов и водотоков делают проблему реабилитации гидросферы, в случае глобального нарушения экологического равновесия, практически неосуществимой. Следовательно, стратегия использования и преобразования гидросферы должна учитывать необходимость экологической профилактики, упреждения возникновения глобальных химико-экологических проблем. Это возможно лишь при условии создания геохимических систем растворенных форм химических элементов, обладающих прогностической способностью [12, 13].

Количественные исследования элементного состава океанской воды имеют длительную историю, связанную, в частности, с именами таких выдающихся ученых, как Бойль,

Лавуазье, Гей-Люссак, Ленц [16]. Обзоры данных и обобщения делались Кларком [20], Гольдшмидтом [21], Бруевичем [3], Виноградовым [7], Бруландом и др [19].

Фундаментальное значение имеет постоянство солевого состава океанской воды, которое В.И. Вернадский предлагал считать геохимической константой нашей планеты [5]. Детальные исследования выявили постоянство характера распределения концентрации отдельных химических элементов в океане. Определены три основных типа распределения концентраций элементов:

- 1) консервативный – элементы имеют одинаковую и неизменную во времени и пространстве концентрацию, отнесенную к общей солёности;
- 2) биогенный – содержание элементов в поверхностных водах уменьшается вплоть до полного исчезновения в результате процессов потребления «живым веществом» (рис. 3 АБ);
- 3) литогенный – сложный характер распределения концентраций элементов, которые, попадая в океан с речным стоком и эоловым материалом, выводятся практически полностью в осадок (рис.3 В).

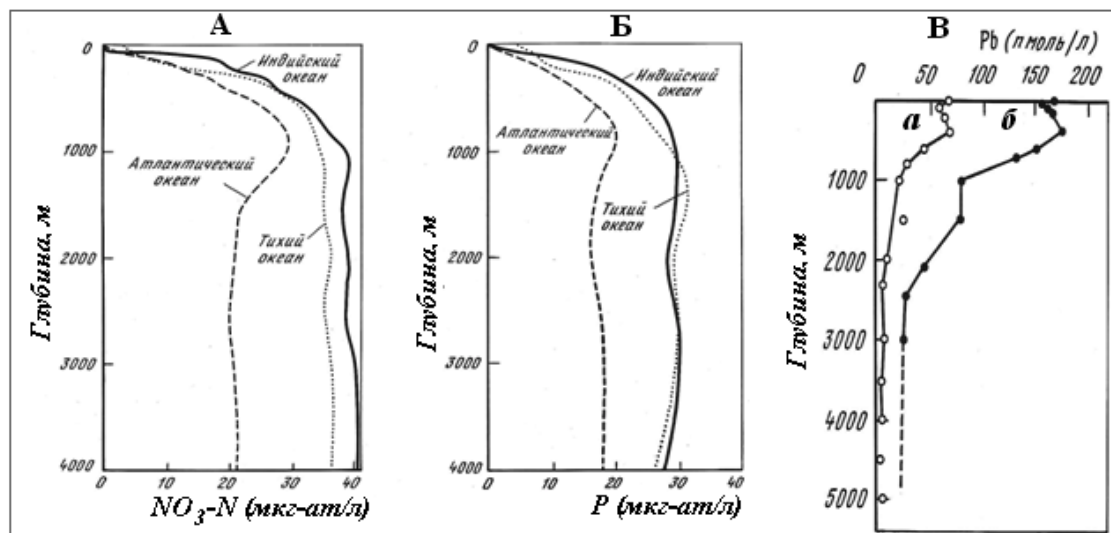


Рис.3. Биогенный тип распределения химических элементов в океане на примере азота (А) и фосфора (Б) [25]; В - литогенный тип распределения химических элементов в океане на примере свинца [23]; а – северная часть Тихого океана, б - северная часть Атлантического океана.

Поиск методологических основ геохимического изучения океана приводит к проблеме определения принципиального различия причин, обусловивших постоянство элементного состава океанской воды и геологических захоронений. Постоянство состава захоронений обусловлено завершенностью в них химических, биохимических и физико-химических процессов. Такие системы могут быть достаточно полно изучены с использованием аппарата термодинамики. Характерной особенностью гидросферы является непрерывность и многообразие сложнейших процессов трансформации вещества и его вывода из водной среды.

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 [13]. Наша задача – исследовать этот процесс в отдельных частях биосферы (гидросфера, литосфера) с учетом участия в нём живого вещества ("живых пленок и сгущений").

Удалось доказать, что процесс формирования элементного состава океанской воды практически полностью определяется соотношением скоростей трансформации и массопереноса растворенного вещества. Химический состав морей и океанов является результатом процессов миграции и трансформации вещества на биогеохимических барьерах река-море и океан-атмосфера, т.е. в местах "сгущения жизни". Стабильность этих процессов – главное условие стабильности экосистемы гидросферы. Равенство скоростей поставки вещества и его «переработки» является основным условием относительного постоянства элементного состава океанской воды.

Характер зависимости между интенсивностью поступления, трансформации и вывода отдельных веществ и химических элементов из океана в принципе можно определить с помощью аппарата формальной кинетики. При этом константы кинетических уравнений дают связь скоростей процессов с энергией активации и с их термодинамическими характеристиками - изменениями энтальпии и энтропии. Однако многочисленность и сложность процессов трансформации веществ в биосфере делают практически неразрешимой задачу нахождения констант скоростей трансформации элементов обычными кинетическими методами. Особой сложностью и многообразием гидродинамических, физических, химических и биологических процессов отличаются биогеохимические барьеры, например, зоны смешения речных и морских вод.

Практическая необозримость процессов трансформации веществ в морской воде требует генерализации геохимического знания, использования интегральных характеристик, нахождения общих закономерностей формирования элементного состава океанской воды. Решение этой сложной проблемы оказалось возможным, если за основу принять методологические разработки В.И.Вернадского.

Рис. 4 схематически изображает взаимосвязь получения и преобразования научного знания, как она вырисовывается из методологии В.И. Вернадского [18].

«В начале цепочки лежит непосредственное наблюдение природных объектов, или их откликов на те, или иные естественные и техногенные воздействия. В результате этих процедур формируется сумма эмпирических фактов. Они многочисленны, разрозненны, и, подчас, противоречивы.

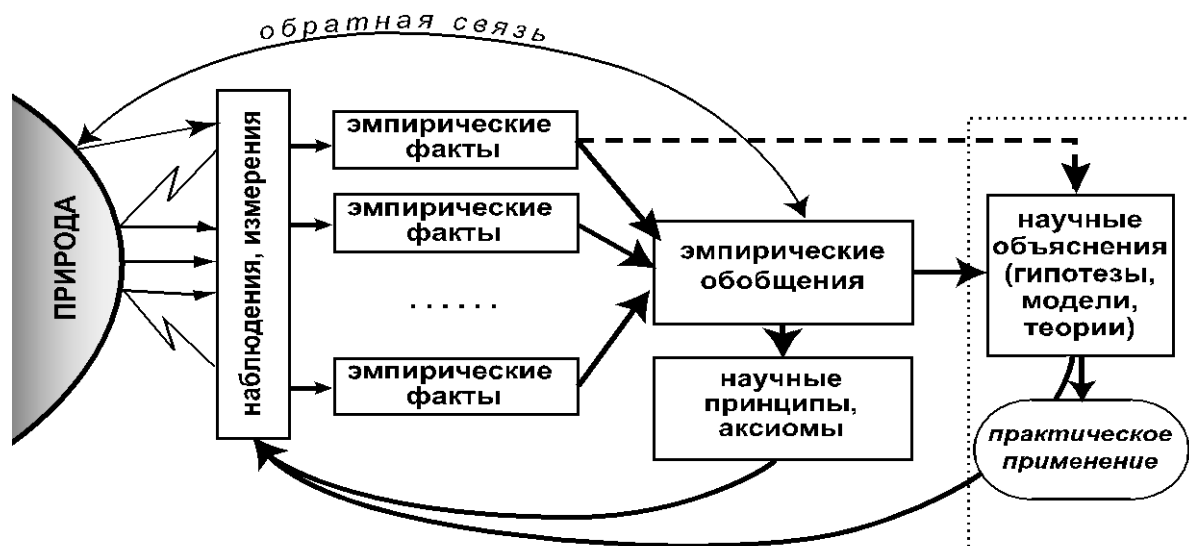


Рис. 4. Схема логической сети получения и преобразования научного знания хз[25]

Они нуждаются в систематизации и обобщении. На этой базе формируются эмпирические обобщения, суммирующие отдельные эмпирические факты, устойчивые в определенных условиях с некоторой долей вероятности. Последние два условия (область

реализации и доверительный интервал) ограничивают сферу применимости любого эмпирического обобщения. Сами эмпирические обобщения наиболее устойчивы и сохраняются при изменении теоретических обобщений, но могут уточняться по мере накопления новых эмпирических фактов. В процессе своего формирования они многократно проверяются путем сопоставления природными объектами через наблюдения и измерения по принципу обратной связи. Данная стадия формирования научного знания весьма ответственна и совершенно необходима для построения научного объяснения. Все попытки ее игнорирования и построения теоретических моделей на базе отдельных фактов (метод «выборочных примеров»), показанный на схеме пунктирной линией, часто приводит к печальным результатам» [18].

Эмпирическое обобщение – научный тезис, правильно упаковывающий огромные пласты фактов, уже добытые прежней наукой. Адекватность упаковки доказывается не логически, а исторически, в ходе научного движения, подтверждаясь с каждым новым открытием. И поэтому оно само по себе не требует отдельного доказательства. В этом его новизна и отличие от гипотезы. Оно располагает факты в определенном порядке, скорее всего новом и не привычном для нас [1].

Решение глобальных геохимических проблем потребовало применения совершенно новых междисциплинарных методологических принципов. Биосфера, как всякая сложная система, обладает эмерджентностью, т.е. собственными закономерностями эволюции, которые нельзя свести к изменениям, вызванным эволюцией той или иной таксономической группы. Источником развития биосферы выступают взаимодействия между всем живым и косным веществом в поверхностной оболочке Земли [9, 13]. Органический мир в целом, а не отдельные группы растений и животных, определяет основные параметры биосферы. Поэтому для оценки общих результатов взаимодействия между живым и косным веществом биосферы необходимы не частные, а интегральные характеристики.

В.В.Ковальский, развивая идеи В.И.Вернадского, писал: "Организм и среда, в частности геохимическая, настолько зависимые явления в биосфере, что невозможно рассматривать отдельно эволюцию жизни и эволюцию среды. Это единая система, в которой в процессах ее существования вырабатываются характерные адаптации организмов к среде, включаемые в число фенотипических реакций, обогащающих систему жизнь-среда. В этой системе устанавливаются по отношению к геохимическим факторам среды глубокие метаболические связи. Примером может служить выделение в почвенную среду органических веществ, дающих с химическими элементами среды вне организма координационные соединения, в которых химические элементы (металлы, микроэлементы) приобретают активность в процессах проникновения через клеточные мембраны и в последующих превращениях в звеньях биогенного цикла." [10].

Бич всех научных направлений, занимающихся изучением сложных систем, состоящих из большого числа взаимодействующих деталей, – обилие информации, которую требуется перерабатывать для получения детального описания системы. Чтобы уменьшить объем информации до сколько-нибудь приемлемых размеров, прибегают к так называемому «сжатию информации», как правило, сопровождающемуся ее частичной потерей. Например, вместо отслеживания траекторий частиц газа в кинетической теории газов переходят к усредненным характеристикам, например, вводят давление газа.

Синергетический подход осуществляет сжатие информации без каких-либо ее потерь – путем перехода от переменных или параметров состояния к параметрам порядка на основе принципа подчинения, причем параметры порядка в свою очередь являются функциями параметров состояния (принцип круговой причинности). Параметры порядка играют доминирующую роль в концепции синергетики. Они «подчиняют» отдельные части, т.е. определяют поведение этих частей. Связь между параметрами порядка и отдельными частями системы называется принципом подчинения. С определением параметров порядка

практически описывается поведение системы. В нашей работе в качестве параметров порядка выбраны средние концентрации химических элементов в отдельных частях биосферы, выраженные в г-моль/л и г-моль/кг.

Ключевым моментом исследования специфики формирования элементного состава биосферы является определение закономерностей перераспределения средних концентраций элементов между различными фазами: твердой–жидкой–газообразной (литосфера–гидросфера–атмосфера), в результате глобального непрерывного процесса переработки косной материи живым веществом.

Разработанная автором системная методология, основанная на эмпирическом обобщении, позволила адекватно описать и моделировать биосферу в целом как сложную динамическую систему с многочисленными физическими, химическими, биологическими и т.п. процессами, среди которых определяющую роль играет обмен и трансформация вещества в биогеохимических барьерах т.е. в местах «сгущения жизни» [12, 13]. *Стабильность этих процессов – главное условие стабильности биосферы.*

Результаты и их обсуждение

Нами использована методология «эмпирического обобщения», позволяющая определить общие закономерности формирования элементного состава гидросферы как части биосферы. Моря и океаны мы рассматриваем как открытые динамические системы с бесчисленными процессами трансформации вещества, поступающего через геохимические барьеры. Результатом этих процессов является средний элементный состав океана, средний элементный состав донных осадков и т.п. При этом элементный состав необходимо рассматривать как целостную систему, а не сумму отдельных элементов.

Для выявления общих закономерностей таких процессов необходимо включить в рассмотрение все исследованные химические элементы.

Графическая форма представления эмпирического материала здесь наиболее удобна и продуктивна. Значения концентраций различных элементов в гидросфере находятся в пределах двенадцати порядков. Поэтому при графическом сопоставлении концентраций их следует выражать в логарифмической форме (рис. 5).

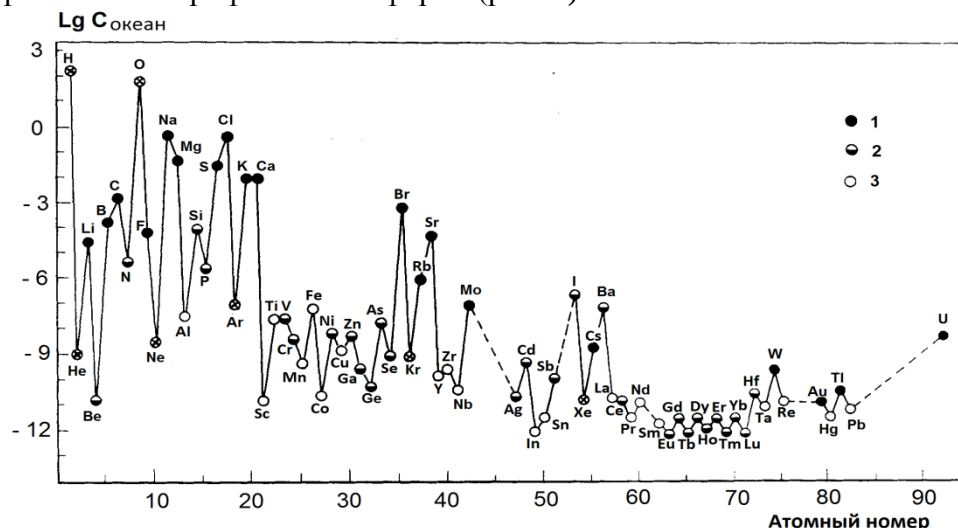


Рис. 5. Средние концентрации элементов в океане и типы их распределения:
1 — консервативный, 2 — биогенный, 3 — лито-генный.

Динамика отношения между содержанием элементов в океане, речной воде и литосфере может быть раскрыта путем исследования положения химических элементов на плоскости с координатами: $\lg C_A(\text{ок}) - \lg C_A(\text{лит})$; $\lg C_A(\text{реки}) - \lg C_A(\text{лит})$; $\lg C_A(\text{ок}) - \lg C_A(\text{реки})$, где C_A

(ок) и $C_{A(реки)}$ - средние концентрации растворенных форм элементов (г-моль/л) в океане и речном стоке, соответственно; $C_{A(лит)}$ - средние концентрации элементов в литосфере (г-моль/кг).

Использование новой методологии начнем с исследования системы литосфера – океан (рис. 6А). Коэффициент корреляции для 67 изученных элементов равен 0,68. Зависимость между содержанием элементов в океане и в литосфере в общем случае не линейна. Геометрическое место точек, соответствующее близким концентрациям в океане и литосфере, помогает выявить наиболее гидрофильные элементы, к которым относятся хлор, бром, сера, натрий, бор, йод, углерод.

Рассмотрение зависимости между средним содержанием растворенных форм элементов в речном стоке и литосфере (рис. 6Б) приводит к следующим результатам. При количестве изученных элементов, равном 64, коэффициент корреляции равен 0,79. Прямые, параллельные линии, проходящей через алюминий, железо, титан и др., выявляют группы элементов, содержание которых в речном стоке линейно зависит от их содержания в литосфере с одним и тем же коэффициентом, т.е. группы элементов, содержащихся в литосфере в соединениях, основная часть которых обладает одинаковой растворимостью.

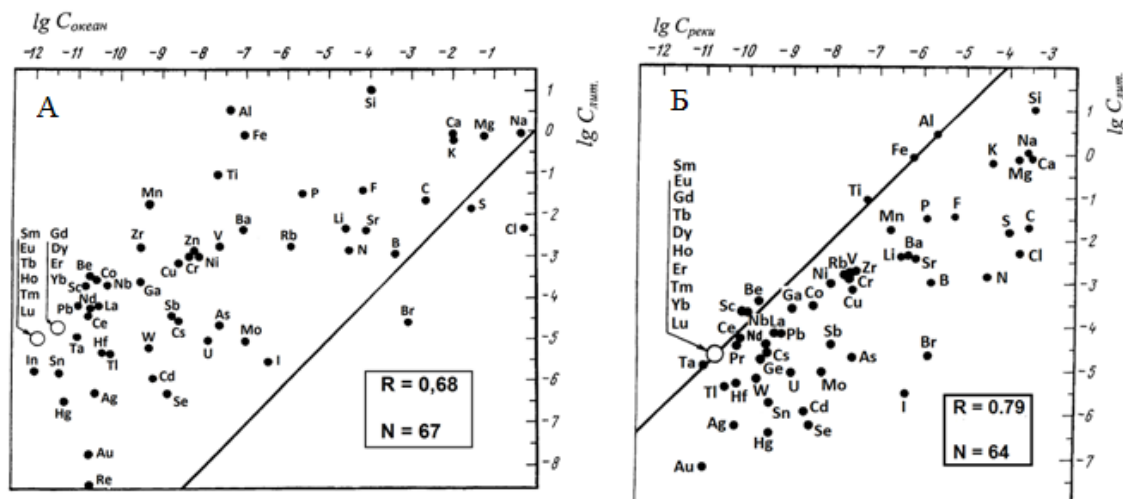


Рис. 6. А - Соотношение между средними концентрациями элементов в океане и литосфере; Б - Соотношение между средними концентрациями растворенных форм элементов в речной воде и литосфере

График зависимости среднего элементного состава речной (вход) и океанской (выход) воды представлен на рис. 7. 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. Установлено, что линия (рис.7, 9), 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]. Отличительной особенностью элементов, находящихся на этой линии, является преобладание цикличности в динамике их потоков в системе океан - атмосфера - континент - океан. С другой стороны, элементы по мере отдаления от линии (2) все в большей мере переводятся живым веществом в осадок.

Равенство тангенса угла наклона линии, полученной методом линейной регрессии (обозначена 1), и линии, отражающей закономерность трансформации и миграции вещества на барьере океан-атмосфера (обозначена 2) свидетельствует о практическом равенстве макрокинетических характеристик процессов перераспределения элементных составов между растворенной и твердой фазами на абсолютно разных геохимических барьерах океан - атмосфера и река - море.

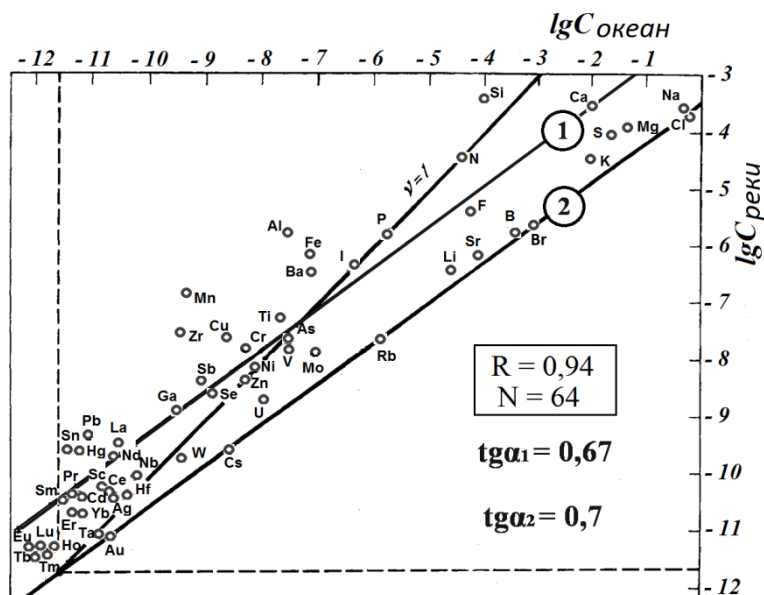


Рис.7. Соотношение между средними концентрациями растворенных форм элементов в океанской и речной воде.

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» на геохимических барьерах океан - атмосфера и река - море. Выявленный нами нелинейный характер зависимости интенсивности процессов перераспределения элементных составов между растворенной и твердой фракциями в веществе, проходящем через барьеры литосфера - гидросфера, река - море, океан - атмосфера от их исходных концентраций приводит к принципиально важному выводу. Геохимическое поведение тяжелых металлов и радионуклидов, находящихся в природе в микро концентрациях, не аналогично поведению их химических аналогов, содержащихся в литосфере и гидросфере в макро концентрациях. Иначе говоря, перераспределение элементов в биосфере, происходящее при участии «живого вещества», между растворенными и не растворенными формами зависит не только от их свойств, но в большой мере от их распространенности.

Близость к единице величины коэффициента корреляции между средними элементными составами в океанской и речной воде указывает на закономерную связь между этими элементными составами. Кроме того, впервые удалось обнаружить закономерную устойчивую связь между биогеохимическими и гидрологическими процессами (рис.8). Характер распределения растворенных форм элементов в океане зависит от интенсивности их поступления в океан, от скоростей их вывода из океанской воды (эти скорости различны для разных химических элементов) и от скорости их перемешивания, которая одинакова для всех элементов. В результате этих биохимических, химических и гидрологических процессов

образуются три типа распределения элементов в океане, которые в итоге определяются через отношение их средних концентраций в океанской и речной воде (рис.8).

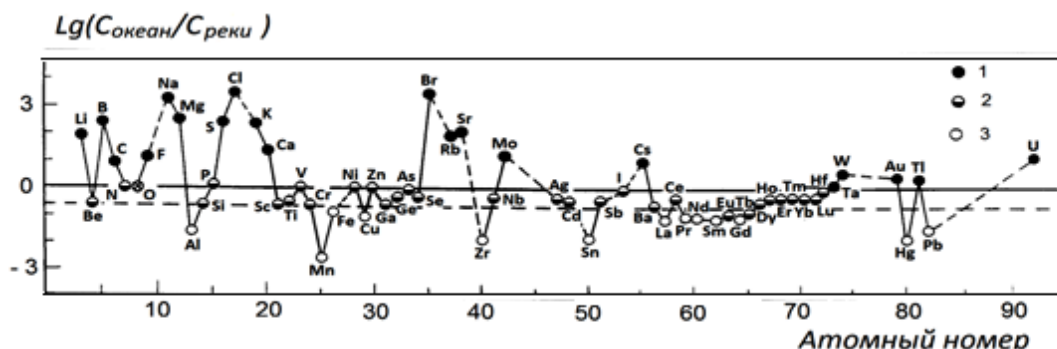


Рис.8. Отношение средних концентраций растворенных форм химических элементов в океанской и речной воде и типы распределения элементов в океане: 1 — консервативный, 2 — биогенный, 3 — литогенный.

Консервативный тип распределения в океане - $C_{A(ок)} > C_{A(реки)}$

Биогенный тип распределения в океане - $C_{A(ок)} \sim C_{A(реки)}$

Литогенный тип распределения в океане - $C_{A(ок)} < C_{A(реки)}$

Системная методология, представляющая гидросферу как саморазвивающуюся динамическую систему, позволила сформулировать постулат: биогеохимическая особенность каждого элемента определяет своеобразие зависимости между его содержанием (средней концентрацией) в океане и интенсивностью процессов его миграции через барьерные зоны гидросферы [12, 13]. Графический способ представления нашего постулата обладает наибольшей информативностью в случае, когда сопоставление интенсивности глобальных процессов переноса элементов в барьерных зонах гидросферы со средними концентрациями в океане осуществляется на плоскости $\lg C_{ок} - \lg \tau_{ок}$ (рис. 9), где $C_{ок}$ - концентрация элементов в океане (моль/л); $\tau_{ок}$ - время пребывания элементов в океане, определяемое как частное от деления общего количества элемента, растворенного в океане, на его количество, вносимое в океан с речным стоком (в растворенной форме) за год.

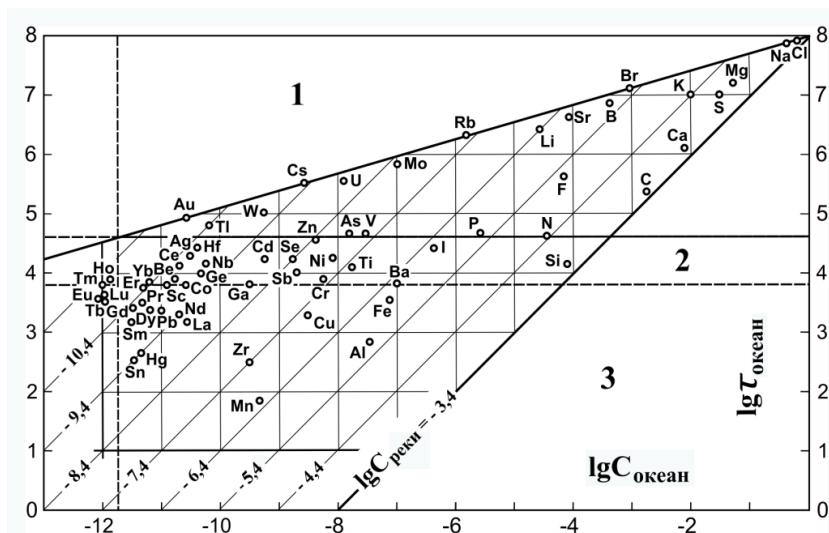


Рис. 9 Система распределения химических элементов в гидросфере. Типы распределения в океане: 1 - консервативный; 2 - биогенный; 3 - литогенный.

На графике представлены основные геохимические сведения о растворенных формах

элементов в гидросфере. Линии, параллельные оси ординат, позволяют определить концентрации в океане растворенных форм химических элементов. Линии, параллельные оси абсцисс, позволяют определить время пребывания растворенных форм элементов в океане и являются геометрическим местом точек, для которых отношение концентрации элементов в океане к их средним концентрациям в речном стоке - величина постоянная.

Линии, проходящие под углом 45° к осям абсцисс и ординат, выявляют средние концентрации элементов в речном стоке (моль/л) в растворенной форме. Эту зависимость выявляем следующим образом. Уравнение прямой, пересекающей ось ординат под углом 45° в точке В, имеет вид: $\lg \tau_{\text{ок}} = a \times \lg C_{\text{ок}} + B$ где $a = 1$. Выражая $\tau_{\text{ок}}$ через средние концентрации элементов в океане и реках, получаем:

$\lg ((C_{\text{ок}} \times V_{\text{ок}}) / (C_{\text{реки}} \times V_{\text{реки}})) = \lg C_{\text{ок}} + B$; Здесь $V_{\text{ок}}$ - объем воды Мирового океана; $V_{\text{реки}}$ - объем речного стока в океан за год.

$$\lg C_{\text{ок}} - \lg C_{\text{реки}} + \lg(V_{\text{ок}} / V_{\text{реки}}) = \lg C_{\text{ок}} + B.$$

Так как $\lg(V_{\text{ок}} / V_{\text{реки}})$ - величина постоянная, равная 4,6 [1], получаем: $\lg C_{\text{реки}} = 4,6 - B$.

Если $B = 8$, то $\lg C_{\text{реки}} = -3,4$; если $B = 9$, то $\lg C_{\text{реки}} = -4,4$ и т.д.

Элементы на этом системном графике (рис. 9) образуют группировки, отражающие общность их геохимических свойств. Линия, проходящая параллельно оси абсцисс через $\tau = 40000$ лет (время пребывания воды в океане), разделяет консервативно и не консервативно распределенные в океане элементы. К этой линии примыкают элементы, имеющие в океане биогенный тип распределения, что выявляет характерную особенность таких элементов - приблизительное равенство их средних концентраций в океанской и речной воде. Система выявила также группу элементов, условно названных лито-генными, характерной особенностью которых является потеря большей части их речного стока на барьере река - море. Прямая, объединяющая Cl, Na, Br, B, Sr, Li, Rb, Mo, U, Cs, W, Tl, Re и Au выявляет элементы, в динамике которых преобладают процессы их циклического переноса в системе океан - атмосфера - континент - океан.

Система позволила определить зависимость между тремя основными геохимическими характеристиками растворенных форм элементов в гидросфере: средние концентрации в океане, средние концентрации в речном стоке и тип распределения в океанской воде. Таким образом, мы получили возможность использовать две из трех указанных геохимических характеристик для теоретического определения (предсказания) третьей.

Прогностические свойства системы рассмотрим на примере следующих элементов: Be, Tl, Au, P, V, I и Zn. Содержание Be и Tl в океанской воде достаточно изучено. Однако до недавнего времени отсутствовали данные о среднем содержании этих элементов в речном стоке. Бериллий отнесен к группе элементов биогенного типа распределения концентраций в океане. Следовательно, в Системе бериллий должен находиться среди элементов такого типа распределения, что приводит к выявлению величины его средней концентрации в речном стоке в интервале $(2-14) \cdot 10^{-11}$ моль/л. Таллий имеет консервативный характер распределения в океане. Средняя величина его концентрации в речном стоке, согласно Системе, должна находиться в интервале концентраций $(1-6) \cdot 10^{-11}$ моль/л. Содержание золота в океанской и речной воде изучено, и такие данные опубликованы. Однако вопрос о характере распределения его концентраций в океане оставался нерешенным. Система позволила определить, что золото в океане имеет консервативный характер распределения. Последующие исследования с хорошей точностью подтвердили наши предсказания.

Явное несоответствие расположения в геохимической системе цинка среди лито-генных элементов и его биогенным типом распределения в океане позволило нам определить, что оценка средней концентрации цинка в речном стоке, по [22] в 100 раз превышает ее истинную величину. В работе [24] мы нашли хорошо обоснованное подтверждение правильности сделанного нами вывода о том, что естественная природная

средняя концентрация цинка в речном стоке на два порядка ниже, чем величина, приведенная в работах указанных авторов. Таким же образом, используя Систему элементов в гидросфере, удалось доказать, что превышение современной оценки средних концентраций в речном стоке фосфора, ванадия и йода, соответственно, в 5, 12 и 40 раз по сравнению с более ранней оценкой не является результатом антропогенного влияния, а обусловлено, в основном, несовершенством прежних способов отбора и подготовки проб к анализу, а также нерегулярностью исследования и недостаточной представительностью прежних данных по содержанию фосфора, ванадия и йода в речных водах.

Система создана в рамках современных знаний о содержании химических элементов в океане и речном стоке. Уточнение этих знаний, а также знаний процессов обмена элементами на всех геохимических барьерах гидросферы, приведет к ее развитию и совершенствованию. Уже в настоящее время с ее помощью удалось с большой точностью предсказать величину ежегодной поставки в океан речным стоком в растворенной форме Be, C, N, Ge, Tl, Re, исправить и уточнить эту оценку для P, V, Zn, Br, I, определить характер распределения в океане W, Au и U. В дальнейшем будет возрастать ее роль как экологического эталона естественного геохимического состояния гидросферы.

Система распределения химических элементов в гидросфере создана путем эмпирического обобщения доступного материала по элементному составу всех достаточно полно изученных частей гидросферы. Про «эмпирическое обобщение» В.И. Вернадский писал:

«Эмпирическое обобщение может очень долго существовать, не поддаваясь никаким гипотетическим объяснениям, являясь непонятным, и все же оказывать благотворное огромное влияние. Но затем часто наступает момент, когда оно вдруг начинает освещаться новым светом, становится областью создания гипотез, начинает менять наши схемы мироздания и само меняется. Очень часто в эмпирическом обобщении мы имели не то, что думали, или в действительности имели много больше, чем думали» [4].

Новый взгляд на гидросферу как на целостную систему, состоящую из устойчивого «тела», сохраняющего постоянство своего состава за счет переработки питающего его вещества и источников «питания», позволяет сделать важный для экологии вывод. В случае выхода системы за пределы устойчивости хотя бы по одному элементу (т.е. когда изменяются макрокинетические константы) химический состав океанской воды в целом может подвергнуться необратимым изменениям в результате разрушения процессов, регулирующих систему. Опасность такой экологической катастрофы нарастает и может стать вполне реальной. Наиболее тревожная ситуация складывается в отношении окраинных и внутренних морей, например, Средиземного, Чёрного, Каспийского и др., которые подвергаются постоянному мощному техногенному воздействию. Для них необходимо создавать системы химических элементов, обладающие прогностическими свойствами, которые подобны системе, созданной для Мирового океана. В работе [2] было установлено, что для оценки экологического состояния Каспийского моря применимы критерии, разработанные нами для Мирового океана. Промышленное освоение ресурсов в каспийском регионе по прогнозам будет возрастать невиданными ранее темпами. Поэтому разработка критериев оценки экологического состояния Каспийского моря с использованием новой методологии является особенно актуальной задачей.

Основные закономерности формирования среднего элементного состава поверхности литосферы

Знание закономерностей формирования элементного состава гидросферы и определяющей роли живого вещества в этом процессе дает нам методологические ориентиры для решения вопроса о закономерностях формирования элементного состава биосферы в целом, включая поверхностную часть литосферы. Гидросфера и литосфера, как известно, находятся в постоянном взаимодействии. Вода же является обязательным

условием существования и функционирования живого вещества на поверхности Земли.

До настоящего времени геохимии не имеют общей теории формирования элементного состава поверхности литосферы. Работы в этой области, как правило, основаны на исследовании географии элементов, на изучении причин неравномерности их распределения на поверхности Земли. Биогеохимические исследования были направлены главным образом на изучение биохимической, биологической и экологической реакции на «условия геохимической среды» и ее изменчивость, а также на исследование концентрирования элементов организмами [9].

При этом, роль живого вещества в эволюции элементного состава литосферы оставалась практически не изученной. Рассмотрим новые возможности применения кибернетического подхода и соответственного графического метода для решения проблемы формирования элементного состава литосферы с участием живого вещества.

Имеются убедительные свидетельства того, что Земля в целом имеет элементный состав, близкий к составу каменных метеоритов (хондритов). Различие элементного состава метеоритного вещества и поверхности Земли является одним из основных ориентиров в исследовании многообразных процессов, происходивших при формировании нашей планеты. В наших рассуждениях принимаем положение, согласно которому средний элементный состав протопланетного вещества практически идентичен среднему элементному составу каменных метеоритов. Графический способ сопоставления средних элементных составов каменных метеоритов и литосферы, представлен на рис. 10 (рассчитано по данным [8]).

Коэффициент корреляции между концентрациями элементов в протопланетном веществе и в литосфере для 71 изученного химического элемента равен 0,87. Тангенс угла наклона (угловой коэффициент) регрессионной прямой равен 0,75.

Следовательно, зависимость между содержанием химических элементов в протопланетном веществе и литосфере в общем не линейна. Таким образом, разделение элементных составов между твердой и растворенной фазами вещества на поверхности Земли можно представить в виде уравнения:

$$C_{\text{лит.}} = k C_{\text{метеор.}}^n,$$

где C - концентрации вещества на поверхности Земли и в метеоритах, k - константа скорости перераспределения вещества поверхности Земли между твердой и жидкой фазами в результате физических, химических биохимических и др. процессов, n - константа нелинейности результата этих процессов равная 0,75.

Изложенный здесь новый подход к исследованию элементного состава литосферы позволяет, в частности объяснить закономерность, выявленную А.П.Виноградовым, который писал: «... наблюдается, как общее правило, понижение значения отношения $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ к породам, выходящим непосредственно на поверхность Земли, т.е. в них происходит относительное обогащение тяжелым (менее распространенным - В.Д. Корж) изотопом ^{34}S ». То же относится и к другим элементам, т.е. изотопы, содержащиеся в меньших концентрациях в изотопной смеси, более активно «накапливаются в породах, лежащих ближе к поверхности Земли» [8].

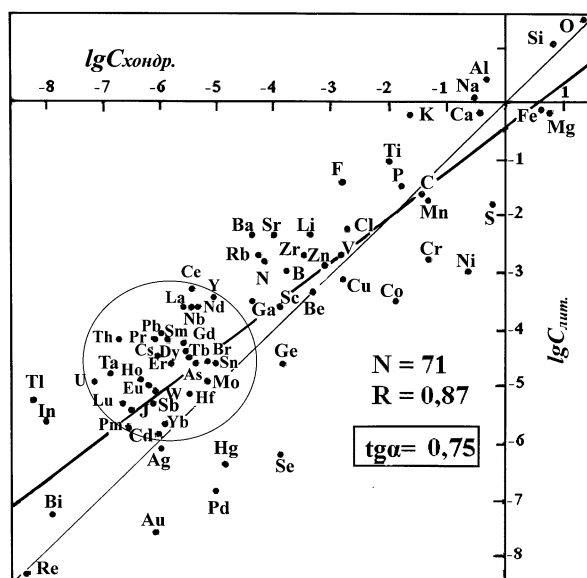


Рис.10. Соотношение между средними концентрациями элементов в каменных метеоритах и литосфере

Как видим, элементный и изотопный составы поверхности литосферы закономерно отличаются от таковых в глубинных ее слоях. Поскольку изученность элементного состава поверхностного слоя литосферы значительно превосходит изученность глубинных слоев, есть основание полагать, что средний элементный состав литосферы, представленный в работе [8] отвечает среднему составу лишь ее поверхностной части, которая относится к биосфере, а не ее общему среднему составу литосферы.

Системная методология биогеохимических исследований, основы которой заложил Вернадский, его учение о биосфере и о живом веществе позволили добиться существенных успехов в изучении геохимических и биогеохимических особенностей формирования элементного состава биосферы. 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 неизвестному нелинейному закону. Нами 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 как в гидросфере, так и в литосфере, имеет практически один и тот же показатель нелинейности (ν), равный приблизительно 0,7 (протолитосфера - живое вещество - осадочные породы $\nu = 0,75$; река – живое вещество - океан $\nu = 0,67$; океан – живое вещество - атмосфера $\nu = 0,7$). Для современного уровня знания фактического материала эти оценки показателя нелинейности практически неразличимы.

Таким образом, удалось установить существование и получить количественную оценку универсальной константы нелинейности процесса эволюции элементного состава биосферы. В очередной раз мы восхищаемся гениальным провидением великого русского ученого, утверждавшего: "Свойства живого вещества отнюдь не являются теми свойствами, которые мы изучаем при исследовании отдельного организма. В совокупности организмов – живом веществе – проявляются новые свойства (подчеркнуто автором), незаметные или несущественные, если мы станем изучать отдельный организм ... в живой материи открываются новые свойства жизни, но они проявляются не на отдельном организме, а среди их комплексов"[6].

Заключение

Системная методология, основанная на принципах эмпирического обобщения, позволила адекватно описать биосферу в целом как сложную динамическую систему с многочисленными физическими, химическими, биологическими и т.п. процессами, среди которых определяющую роль играет обмен и трансформация вещества в биогеохимических барьерах, т.е. в местах «сгущения жизни».

Обнаружено, что корреляция между элементными составами литосферы и океана относительно мала ($R=0,68$). В то же время средние элементные составы речной и океанской воды имеют высокую корреляцию ($R=0,94$). Впервые выявлена нелинейная зависимость между ними и найден ее вид. Этот результат дает важные ориентиры при решении как биогеохимических, так и экологических задач, связанных, в частности, с биогеохимическими циклами элементов.

Определение тесной связи между средними концентрациями элементов в океанской и речной воде с одной стороны и характером их распределения в океане с другой, позволило доказать, что абсолютное большинство элементов поставляется реками в океан в количествах, значительно превышающих все остальные источники.

Построенная на основе методологии «эмпирического обобщения» Система распределения химических элементов в гидросфере удовлетворяет критериям адекватности и является адекватной на всем множестве химических элементов и на всем интервале наблюдаемых концентраций (12 порядков). Она обладает не только интерпретационными, но и прогностическими возможностями. Система позволила с высокой степенью надежности теоретически определить природные (не искаженные антропогенным воздействием) средние концентрации многих элементов в речном стоке, которые должны служить в качестве экологических эталонов.

Система позволила выявить ошибки в прежних представлениях о нормальном элементном составе речных вод. Средние концентрации химических элементов и характер их распределения в океане могут служить (вследствие большой инерционности океана) основным ориентиром для определения естественных, экологически нормальных средних концентраций в реках тех элементов, которые не были изучены до глобальной деградации гидросферы. Следовательно, роль Системы как экологического эталона естественного геохимического состояния гидросферы будет возрастать.

Впервые найден общий закон перераспределения средних элементных составов в биосфере между твердой и жидкой фазами (литосфера - гидросфера). Этот процесс наиболее активен в биогеохимических барьерах, т.е. в местах "сгущения жизни", и проходит по ранее неизвестному 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 природных системах имеет практически один и тот же показатель нелинейности (ν), равный приблизительно 0,7 (протолитосфера - живое вещество - осадочные породы $\nu = 0,75$; река – живое вещество - океан $\nu = 0,67$; океан – живое вещество - атмосфера $\nu = 0,7$). 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*.

Литература

1. Аксенов Г.П. В.И.Вернадский о природе времени и пространства. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 352 с.
2. Брезгунов В.С., Ферронский В.И. Содержание ряда микроэлементов в Каспийском море в связи с различными типами распределения растворенных элементов морской среде// Водные ресурсы, 2004. Том 31. № 1. С. 73-77.
3. Бруевич С.В. (1965) О солевом составе вод Мирового океана и его изменении во времени// Океанология, 1965. Том 5. № 2. С. 193-205.
4. Вернадский В.И. Избранные сочинения, М.: Изд-во АН СССР, 1965. Т 5. С. 19.
5. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
6. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 672 с.
7. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.
8. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962. № 7. С.555 – 571.
9. Ермаков В.В., Карпова Е.А., Корж В.Д., Остроумов С.А. Инновационные аспекты биогеохимии. М.: «ГЕОХИ», 2012. 340 с.
10. Ковальский В. В. Геохимическая среда и жизнь. М.: Наука, 1982. 78 с.
11. Корж В.Д. Закономерность фракционирования химических элементов в процессе их выноса из океана в атмосферу// Докл. АН СССР, 1987. Том 292. № 4. С. 822-827.
12. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. 243 с.
13. Корж В.Д. Биогеохимические аспекты формирования элементного состава вод Мирового океана// Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. (Труды Биогеохим. лаб. Т. 23). М.: Наука, 1999. Т. 23. С. 6-37.
14. Ласло Э. Макросдвиг. К устойчивости мира курсом перемен. М.: Тайдекс Ко, 2004. 206 с.
15. Лебедев В.Л., Айзатулин Т.А., Хайлов К.М. Океан как динамическая система. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 200 с.
16. Ленц Э.Х. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 521 с.
17. Мазур И.И., Иванов О.П. Опасные природные процессы. М.: Экономика, 2004. 702 с.
18. Наумов Г.Б. От факта к эмпирическому обобщению и научному объяснению (К методологии В.И. Вернадского). Литология и полезные ископаемые, 2005. № 1. С. 3-11.
19. Bruland K.W., Lohan M.C. Controls of trace metals in seawater. Treatise of geochemistry (Eds. H.D. Holland, K.K. Turekian), Amsterdam et al.: Elsevier, 2004. Vol. 6. P. 23-47.
20. Clarke F. W. Data of geochemistry. 5-th ed. U.S. Geol. Surv. Bull., 1924. Vol. 770, 841 ps.
21. Goldschmidt V.M. Geochemistry. Oxford: Clarendon Press, 1954. 731 ps.
22. Martin J.M., Meybeck M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. Mar. Chem., 1979. Vol. 7. No. 2. P. 173-206.
23. Schaule B.K., Patterson C.C. Perturbations of the natural lead depth profile in Sargasso sea by industrial lead. Trace metals in sea water. Eds. C.S. Wong et al. New York Plenum Press, 1983. P. 259-313.
24. Schiller A.M., Boyle E. (1985) Dissolved zinc in rivers. Nature, 1985. Vol. 317. P. 49-52.
25. Sverdrup H.U., Johnston M.W., Flemming R.H. The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall. Englewood Cliffs. NY, 1942. 784 ps.

CONSTANTS GLOBAL SYSTEMICALLY IMPORTANT PROCESSES IN THE BIOSPHERE

V. D. Korzh

Abstract

Based on the methodology of empirical generalization built System of distribution of chemical elements in the hydrosphere, with greater predictive properties. Nonlinear regularities of processes of redistribution of secondary elemental compositions in the biosphere between the solid and liquid phases (lithosphere-hydrosphere) with the participation of living matter. The result is a total relative increase in solid phase concentrations of chemical elements as the reduction of their prevalence in the environment. For the first time determined the universal constant of nonlinearity of the evolution of the elemental composition of the biosphere.

Keywords: constants, biosphere, living matter, empirical generalization, element composition, system dynamics, ecology.