

# НОВАЯ МЕТОДОЛОГИЯ

## решения глобальных экологических ПРОБЛЕМ ГИДРОСФЕРЫ

**Современные проблемы нахождения допустимых пределов воздействия техносферы на биосферу, оптимизации взаимодействия техносферы и биосферы, прогнозирования экологических последствий инцидентов в техносфере и организации реабилитации в послеаварийный период предъявляют качественно новые требования к знаниям. Решение этих актуальных проблем требует разработки новых методологических основ изучения глобальных процессов массообмена и трансформации веществ, построения геохимических систем элементов. 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. На основе методологии эмпирического обобщения построена Система химических элементов в гидросфере, обладающая большими прогностическими свойствами.**

### Введение

**П**риродные 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 про-

екты 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» [1].

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 лишнюю примитивизма сложность в противовес механистическим воззрениям. Холистичес-

**В.Д. Корж\***,  
доктор геолого-  
минералогических  
наук, ведущий  
научный сотрудник,  
Учреждение  
Российской  
академии наук  
Институт океанологии  
им. П.П. Ширшова  
РАН  
(ИОРАН)

\* Адрес для корреспонденции: okean41@mail.ru

кое понимание – передний край современной науки...» [2].

## Материалы и методы исследования

**Р**ешение 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 [3]. Эти соли поступают на сушу с дождевыми водами и возвращаются в океан с речным стоком. Морские соли поступают в атмосферу с измененными соотношениями концентраций. Соли с меньшей концентрацией более подвижны и с большей интенсивностью мигрируют в цикле океан – атмосфера – суша – океан [3]. В этом процессе ежегодно участвуют сотни миллионов тонн солей.

На поверхности океана происходят многочисленные процессы переработки косной материи «живым веществом». О мощи биогенного процесса говорит то, что на поверхности океанов и морей производится около 100 млрд.т/год сухого вещества планктона. Важнейший вид деятельности «живого вещества» – 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 [4, 5, 6].

«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».[4] «В естественных науках расширение и углубление знания требует новых эмпирических фактов и их эмпирических обобщений.

Самое 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» [5].

Громадная инерционность океанов, морей, других водоемов и водотоков сложность их системообразующих связей 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 гло-

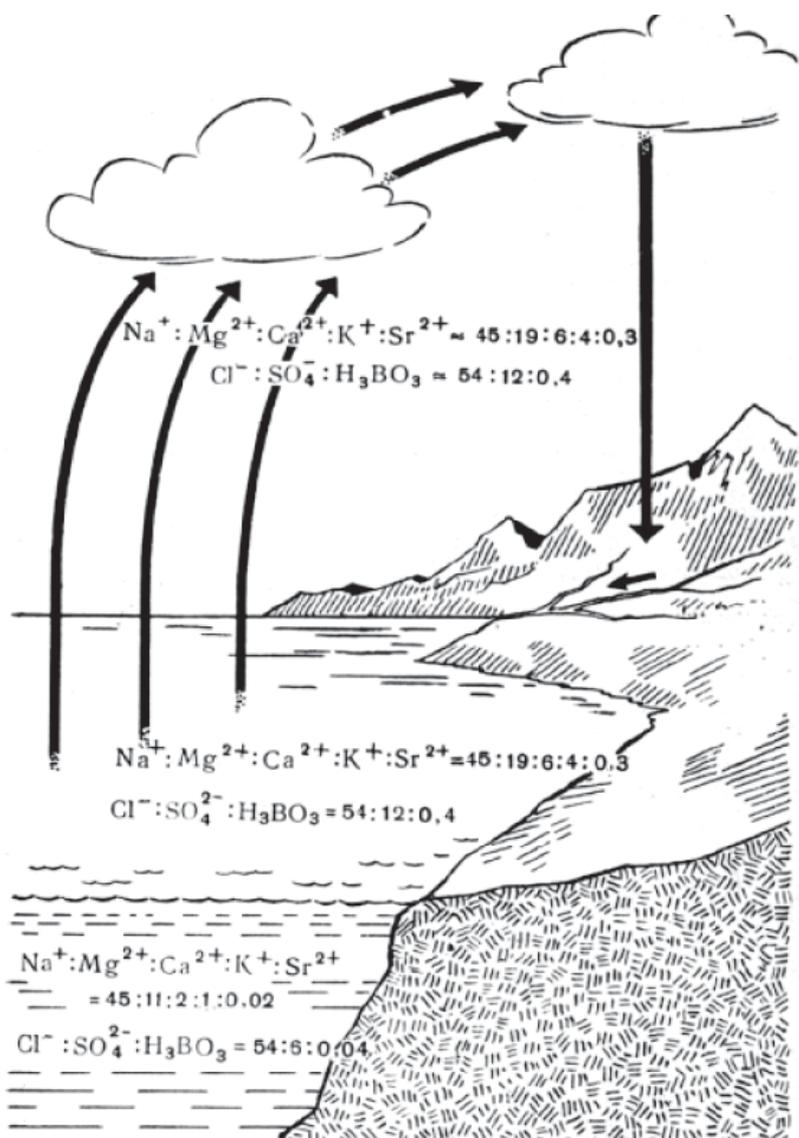


Рис. 1. Циклические процессы переноса вещества в системе океан – атмосфера – континент.

бальных химико-экологических проблем. Это возможно лишь при условии создания геохимических систем растворенных форм химических элементов, обладающих прогностической способностью [6-9].

Количественные исследования элементного состава океанской воды имеют длительную историю, связанную, в частности, с именами таких выдающихся ученых, как Бойль, Лавуазье, Гей-Люссак, Ленц [10]. Обзоры данных и обобщения делались Кларком [11], Гольдшмидтом [12], Бруевичем [13], Виноградовым [14], Хорном [15], Бревнером [16], Бруландом [17].

Фундаментальное значение имеет постоянство солевого состава океанской воды, которое В.И. Вернадский предлагал считать геохимической константой нашей планеты [18]. Детальные исследования выявили постоянство характера распределения концентрации отдельных химических элементов в океане. Определены три основных типа распределения концентраций элементов [6, 16]:

- 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»;

- 3) литогенный – сложный характер распределения концентраций элементов, которые, попадая в океан с речным стоком и эоловым материалом, выводятся практически полностью в осадок.

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 [4, 6, 7, 9, 19].

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

#### Ключевые слова:

гидросфера,  
элементный состав,  
система,  
динамика,  
эмпирическое  
обобщение,  
экология,  
«живое вещество»,  
геохимические  
барьеры,  
прогноз



веществом [7, 9, 20]. Наша задача – исследовать такой процесс в системе литосфера – гидросфера с учетом интегрального 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 [6, 7]. 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 зависимостей скоростей поступления, трансформации и вывода веществ 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. Процессы трансформации и миграции вещества в таких подвижных, далеких от состояния равновесия системах обычно изучают с использованием аппарата макрокинетики, рассчитывая или моделируя

одновременно и скорости трансформации веществ, и их массоперенос [4, 6, 7]. Инертность основной массы океанской воды позволяет представить кинетику формирования среднего элементного состава океана в предельно простой форме:

$$\bar{r} = k^* \bar{C}_A \nu \quad (1)$$

где:  $\bar{r}$  – средняя (итоговая) скорость вывода элемента из морской воды;

$k^*$  – константа скорости вывода элемента из морской воды;

$\bar{C}_A$  – средняя концентрация элемента А, выраженная в молярной форме;

$\nu$  – стехиометрический коэффициент.

Когда ставится задача исследования закономерностей формирования малоинерционных частей гидросферы, например, окраинные и внутренние моря, барьерные зоны гидросферы (океан – атмосфера, река – море) и т.п., тогда решается макрокинетическое уравнение (2). Изменение концентрации элементов ( $dC/dt$ ) в любой точке вычисляется как сумма скорости реакции ( $r$ ) и скорости массообмена  $\lambda C$ :

$$dC/dt = \lambda C + r, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – оператор массопереноса, учитывающий тем или иным способом турбулентный обмен, адвективный и седиментационный

перенос в одномерном, двумерном или же в полном трехмерном его представлении в уравнении концентрационного поля.

Практическая необозримость процессов трансформации веществ в морской воде требует генерализации геохимического знания, использования интегральных характеристик, нахождения общих закономерностей формирования элементного состава океанской воды.

## Результаты и их обсуждение

Целесообразным оказывается отказ от детального описания и моделирования концентрационных полей, процессов массопереноса и трансформации веществ. Нами разработана методология «эмпирического обобщения», позволившая определить общие закономерности формирования элементного состава гидросферы [6]. 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 [6, 7, 9].

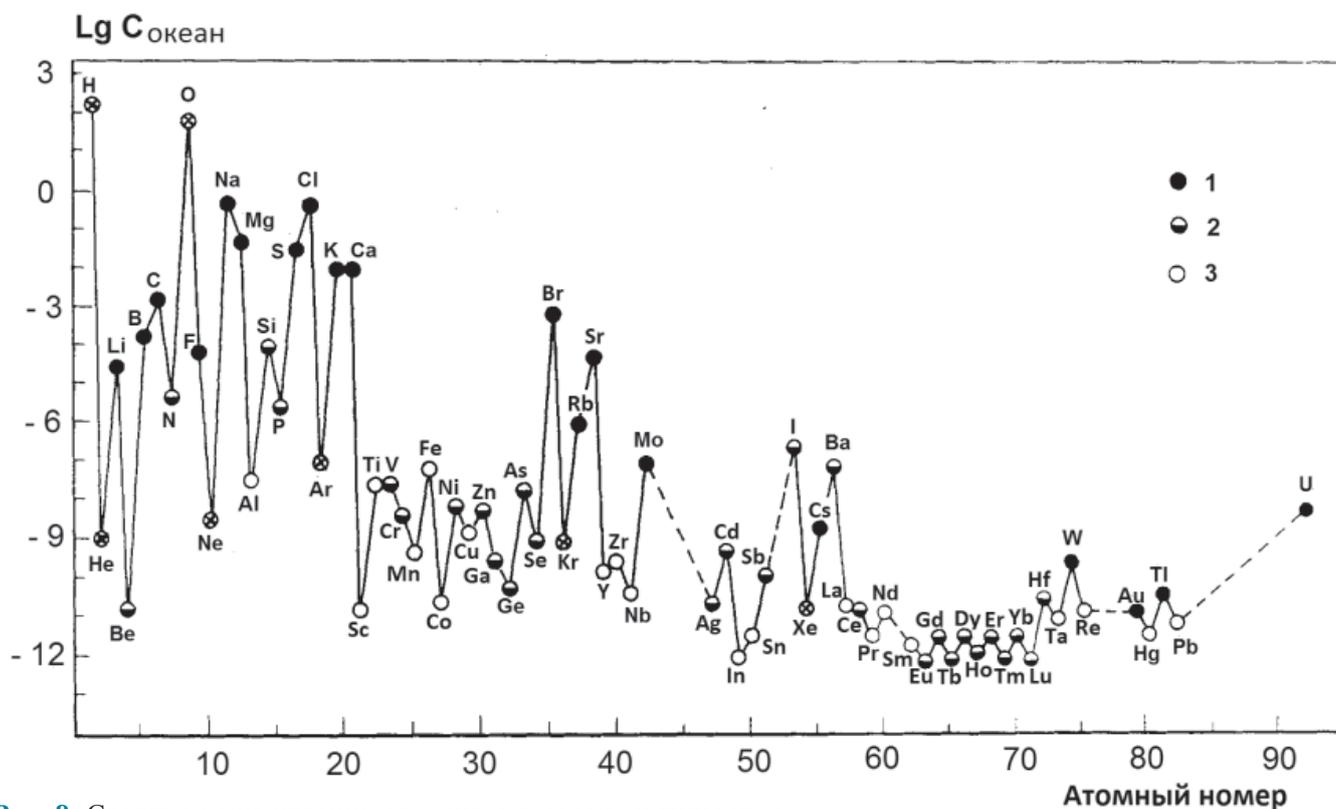


Рис. 2. Средние концентрации элементов в океане и типы их распределения: 1 – консервативный, 2 – биогенный, 3 – литогенный.

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. 2).

Динамика отношения между содержанием элементов в океане, речной воде и литосфере может быть раскрыта путем исследования положения химических элементов на плоскости с координатами:  $\lg C_{A(ок)} - \lg C_{A(лит)}$ ;  $\lg C_{A(реки)} - \lg C_{A(лит)}$ ;  $\lg C_{A(ок)} - \lg C_{A(реки)}$ , 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. 3). 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.

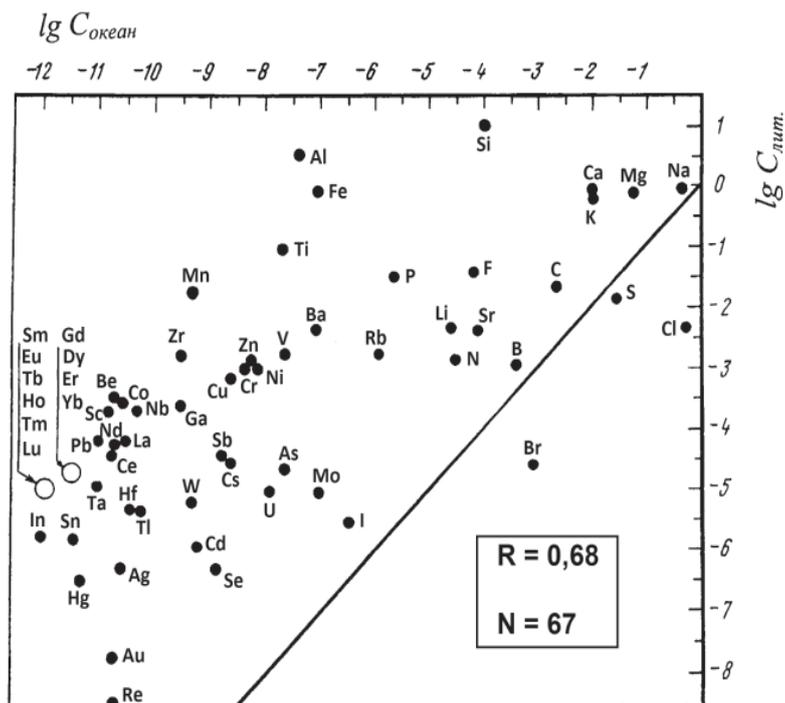


Рис. 3. Соотношение между средними концентрациями элементов в океане и литосфере.

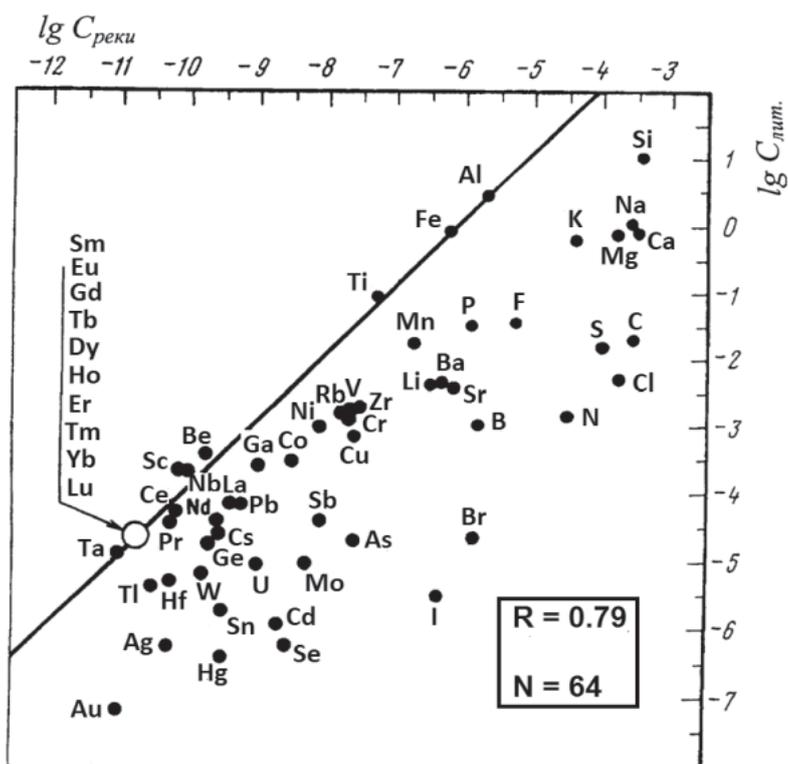
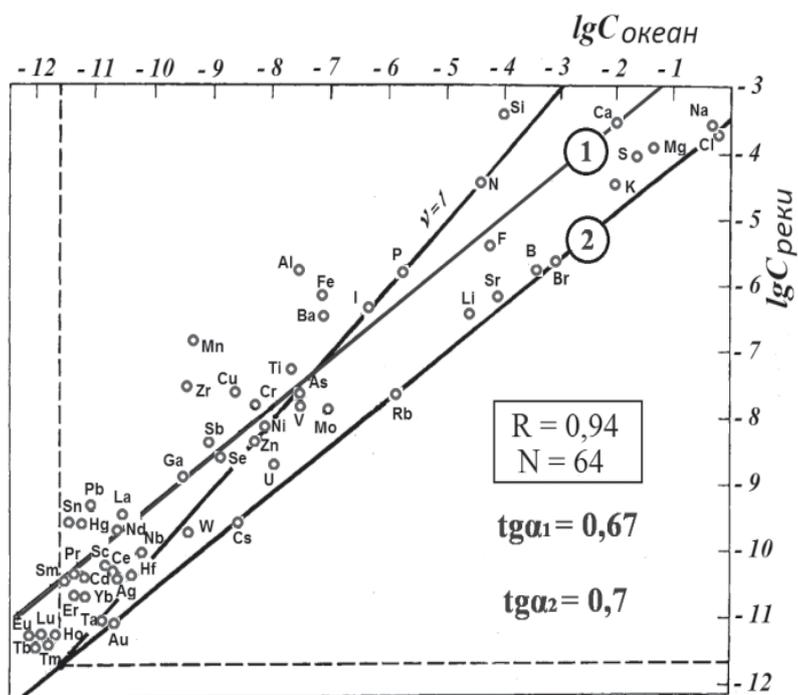


Рис. 4. Соотношение между средними концентрациями растворенных форм элементов в речной воде и литосфере.

Рассмотрение зависимости между средним содержанием растворенных форм элементов в речном стоке и литосфере (рис. 4) 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.

График зависимости среднего элементного состава речной (вход) и океанской (выход) воды представлен на рис. 5. 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. 6), 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



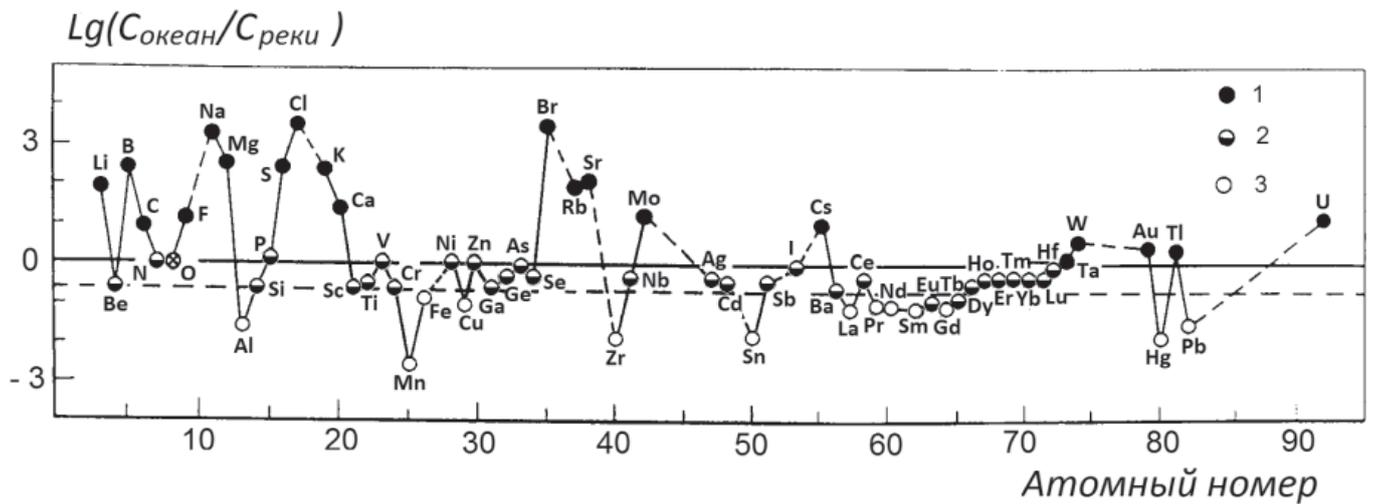
**Рис. 5.** Соотношение между средними концентрациями растворенных форм элементов в океанской и речной воде.

и миграции вещества на геохимическом барьере океан – атмосфера [3]. Отличительной особенностью элементов, находящихся на этой линии, является преимущественная цикличность их потоков в системе океан – атмосфера – континент – океан [3, 6]. Равенство тангенса угла наклона линии, полученной методом линейной регрессии, и линии, отражающей закономерность трансформации и миграции вещества на барьере океан-атмосфера (рис. 5) свидетельствует о практическом равенстве кинетических

характеристик процессов перераспределения 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 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 большей 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





**Рис. 6.** 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 –  $C_{A(ок)} < C_{A(реки)}$

элементными составами. Кроме того, впервые удалось обнаружить закономерную устойчивую связь между биогеохимическими и гидрологическими процессами, поскольку характер распределения растворенных форм элементов в океане раскрывается через отношение их средних концентраций в океанской и речной воде (рис. 6).

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 [6, 7]. Графический способ представления нашего постулата обладает наибольшей информативностью в случае, когда сопоставление интенсивности глобальных процессов переноса элементов в барьерных зонах гидросферы с их средними концентрациями в океане осуществляется на плоскости  $\lg C_{ок} - \lg \tau_{ок}$  (рис. 7), 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.

На графике представлены основные геохимические сведения о растворенных формах элементов в гидросфере. Линии, параллельные оси ординат, позволяют определить кон-

центрации 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  $45^\circ$  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  $45^\circ$  в точке В, имеет вид:

$$\lg \tau_{ок} = a \lg C_{ок} + B$$

где  $a = 1$ . Выражая  $\tau_{ок}$  через средние концентрации элементов в океане и реках, получаем:

$$\lg ((C_{ок} \times V_{ок}) / (C_{реки} \times V_{реки})) = \lg C_{ок} + B;$$

Здесь  $V_{ок}$  – объем воды Мирового океана;  $V_{реки}$  – объем речного стока в океан за год.

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

Так как  $\lg(V_{ок}/V_{реки})$  – величина постоянная, равная 4,6 [1], получаем:

$$\lg C_{реки} = 4,6 - B.$$

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

Элементы на этом системном графике (рис. 7) 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 литогенными, 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, главную роль в геохимической судьбе которых играют 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 геохи-

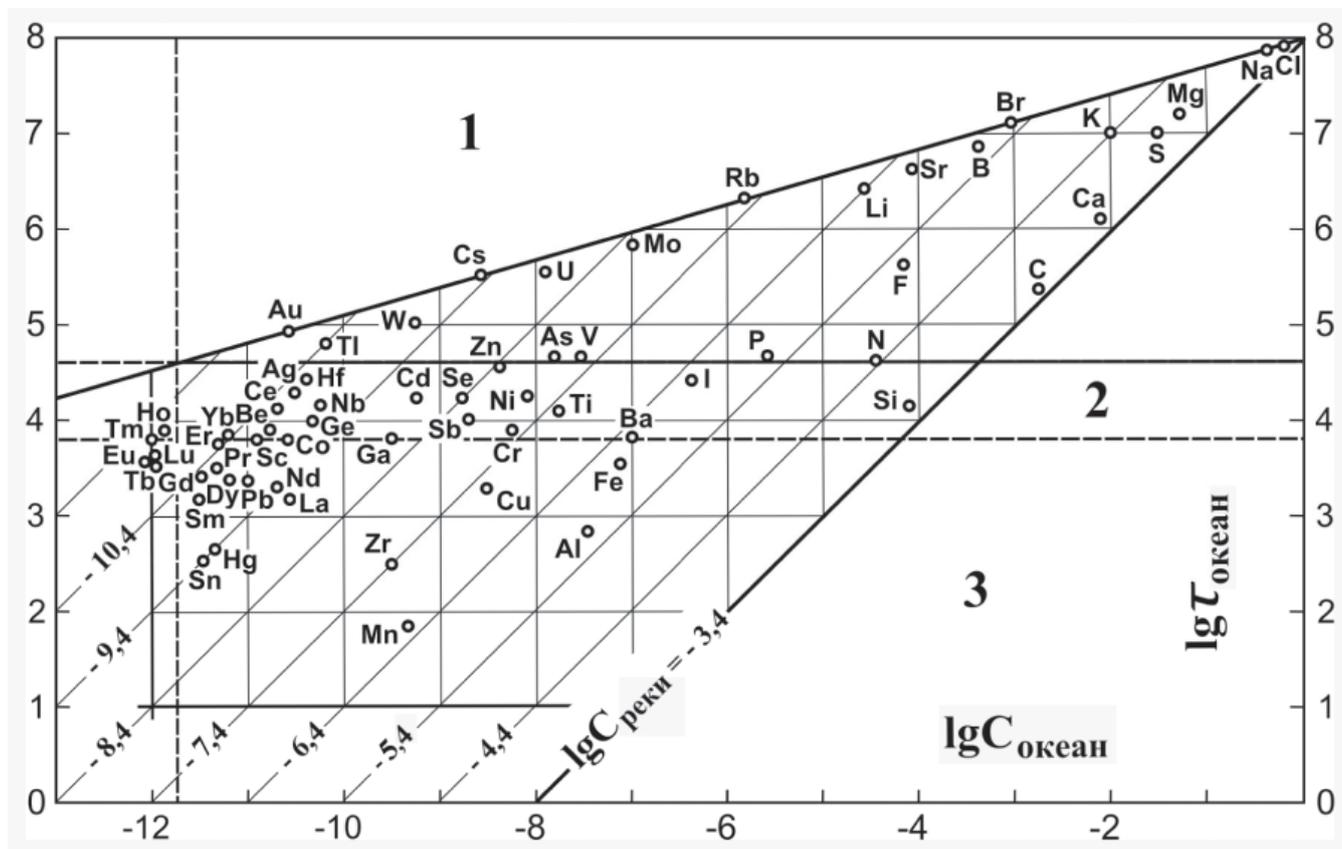
мических характеристик для теоретического определения (предсказания) третьей.

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 [6, 7]. Последующие исследования с хорошей точностью подтвердили наши предсказания.

Явное несоответствие расположения в геохимической системе цинка среди литогенных элементов и его биогенным типом рас-

**Рис. 7.** Система химических элементов в гидросфере.

Типы распределения в океане: 1 – консервативный, 2 – биогенный, 3 – литогенный.



пределения в океане позволило нам определить, что оценка средней концентрации цинка в речном стоке, по [21] в 100 раз превышает ее истинную величину. В работе [22] 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 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» [23].

Обсуждая методологию В.И. Вернадского, Г.Б. Наумов заключает: «На базе эмпирических обобщений исторически формируются



научные принципы, постулаты и аксиомы. Это наиболее устойчивые эмпирические обобщения с широкой сферой применимости. Их влияние не ограничивается процессом формирования научных объяснений. По принципу обратной связи они направляют исходный процесс наблюдений и измерений» [5].

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 [24] 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



## Заключение

**С**истемная методология, основанная на принципах эмпирического обобщения, позволила адекватно описать гидросферу 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 ( $K=0,68$ ). В то же время средние элементные составы речной и океанской воды имеют высокую корреляцию ( $K=0,94$ ). 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.

Взгляд на гидросферу как на целостную систему, состоящую из устойчивого «тела», сохраняющего постоянство своего состава за счет переработки питающего его вещества и источников его «питания», позволяет сде-

лать важный для экологии вывод. В случае выхода системы за пределы устойчивости хотя бы по одному химическому элементу (т.е. когда изменятся макрокинетические константы процессов его «потребления») химический состав океанской воды в целом может подвергнуться необратимым изменениям в результате разрушения процессов, регулирующих систему.

Построенная на основе методологии «эмпирического обобщения» Система 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, будет возрастать роль Системы как экологического эталона естественного геохимического состояния гидросферы.

## Литература

1. Мазур И.И. Опасные природные процессы / И.И. Мазур, О.П. Иванов. М.: Экономика, 2004. 702 с.
2. Ласло Э. Макросдвиг. К устойчивости мира курсом перемен. М.: Тайдекс Ко. 2004. 206 с.
3. Корж В.Д. Закономерность фракционирования химических элементов в процессе их выноса из океана в атмосферу // Докл. АН СССР, 1987. Т. 292. №. 4. С. 822-827.
4. Лебедев В.Л. Океан как динамическая система / В.Л. Лебедев, Т.А. Айзатулин, К.М. Хайлов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 200 с.
5. Наумов Г.Б. От факта к эмпирическому обобщению и научному объяснению (К методологии В.И. Вернадского) // Литология и полезные ископаемые, 2005. № 1,
6. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. 243 с.

7. Корж В.Д. Биогеохимические аспекты формирования элементного состава вод Мирового океана // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Сборник научных трудов Биогеохимической лаборатории. М.: Наука, 1999. Т. 23. С. 6-37.
8. Корж В.Д. Геохимические критерии оценки экологического состояния гидросферы // Сибирский экологический журнал, 2001. Т. 8. №. 2. С. 223-230.
9. Korzh V. The general laws in the formation of the elemental composition of the Hydrosphere and Biosphere. // J. Ecologica, 2008. V. XV, P. 13-21.
10. Ленц Э.Х. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 521 с.
11. Clarke F. W. Data of geochemistry. 5-th ed. U.S. Geol. Surv. Bull., 1924. No. 770. 841 p.
12. Goldschmidt V.M., Geochemistry. Oxford: Clarenton Press, 1954. 731 p.
13. Бруевич С.В. О солевом составе вод Мирового океана и его изменении во времени // Океанология, 1965. Т. 5. Вып. 2. С. 193 – 205.
14. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. 215 с.
15. Хорн Р. Морская химия. М.: Мир, 1972. 400 с.
16. Brewer P.G. Minor elements in seawater // Chemical oceanography. N.Y.: Academic Press. 2-nd ed., 1975. V. 1. P. 415-496
17. Bruland K.W. Trace elements in sea-water // Chemical Oceanography. London: Academic Press, 1983. V. 8. Chapter 45. P. 157-220.
18. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
19. Остроумов С.А. О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // ДАН. 2004, Т. 396. № 1. С. 136-141.
20. Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера. М.: Наука, 1994. 672 с.
21. Martin J.M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers / J.M. Martin, M. Meybeck // Mar. Chem., 1979. V. 7. No 2. P. 173-206.
22. Schiller A.M. Dissolved zinc in rivers / A.M. Schiller, E. Boyle // Nature, 1985. V. 317. P. 49-52.
23. Вернадский В.И. Избранные сочинения, М.: Изд-во АН СССР, 1960, Т. V. С. 19
24. Брезгунов В.С. Содержание ряда микроэлементов в Каспийском море в связи с различными типами распределения растворенных элементов морской среде / В.С. Брезгунов, В.И. Ферронский // Водные ресурсы, 2004. Т.31, № 1. С. 73-77.



V.D. Korzh

## NEW METHODOLOGY FOR HYDROSPHERE GLOBAL ECOLOGICAL PROBLEM SOLVING

Nowaday problems of search of an acceptable limits of technosphere impact on the biosphere, optimizing the interaction of techno-sphere and the biosphere, forecasting the environmental impact of incidents in the technosphere and organization of rehabilitation in the post-accident period, place a qualitatively new demands for knowledge. These questions require urgent development of new

methodological foundations of study mass transfer and transformation of substances, the construction of systems of geochemical elements. The chemical composition of oceans and seas is a result of substance migration and transformation on biogeochemical river-sea and ocean- atmosphere barriers, i.e. in sites of "life condensation". Stability of these processes is the main condition of the hydrosphere

ecosystem stability. The use of the new methodology has resulted in creating the geochemical system of dissolved forms of elements in the hydrosphere which possesses great predictive potentials.

**Key words:** hydrosphere, elemental composition, system, dynamics, empirical support, ecology, geochemical barrier, forecast