

О КЛАССИФИКАЦИИ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ (К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ)

© 2016 г. М. П. Покровский

0. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

0.1. Понятие “формы нахождения химических элементов в природном субстрате (в природе)” – более кратко: “формы нахождения элементов (ФНЭ)” – довольно широко используется в геохимии. Наряду с термином “формы нахождения элементов в природе” используется также термин “формы существования элементов в природе” (например, [16, 17]). В дальнейшем здесь используется термин “формы нахождения элементов (ФНЭ)”. Знание форм нахождения элементов имеет большое значение для решения широкого круга научных и прикладных задач. Например, оно важно при решении теоретических вопросов геохимии, минералогии и петрологии. В частности – при оценке возможности и масштабов миграции химических элементов в гипогенных и гипергенных условиях. Знание форм нахождения элементов в геохимических ореолах важно при поисках и оценке месторождений полезных ископаемых. Невозможно предложить технологию извлечения химического элемента из руды, не зная форму его нахождения в этой руде – в виде самостоятельного минерала (и какого именно) или в виде примеси в минерале (и каком именно). Знание ФНЭ чрезвычайно важно при решении экологических задач. Какой-либо токсичный элемент может представлять существенную угрозу экологической обстановке территории, если в породах, слагающих эту территорию, данный элемент находится в форме, из которой он легко извлекается грунтовыми водами. Но даже при, казалось бы, значительном содержании этот же токсичный элемент может не представлять экологической опасности для ландшафта, если он находится в виде химически устойчивого минерала, не разлагающегося даже кислотами. Можно было бы привести немало и других задач и ситуаций, в которых знание ФНЭ чрезвычайно важно.

0.2. Какие бывают формы нахождения элементов в природе? Лучший способ обзора ФНЭ – их классификация-перечисление. Корректная классификация-перечисление форм нахождения элементов (аналогично любой другой корректной классификации-перечислению) предусматривает: 1) наличие фиксированного понятия “форма нахождения элемента”; 2) фиксированное перечисление типов ФНЭ. Как будет видно из дальнейшего, в гео-

логии с обоими вопросами ситуация далеко не ясная и, тем более, не унифицированная. Тем не менее решать эти вопросы предлагается в соответствии с принципом апостериорности [15, с. 37–40] – опираясь на опыт существующих разработок.

1. О ФОРМАХ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ (ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОНЯТИЯ “ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ (ФНЭ)” В ЛИТЕРАТУРЕ)

1.1. Понятие “формы нахождения элементов” предложил в 1921 г. В.И. Вернадский [3, с. 188, 419]. Это понятие определяется им в значительной мере контекстуально, исходя из представления о миграции элементов.

“Таковыми миграциями будут являться движения атомов при образовании их соединений, переносы их в движущихся жидкостях, газах, твердых телах, при дыхании, питании, метаболизме организмов и т. п.

В результате таких миграций в земной коре создаются большие *системы* разнообразных *химических равновесий* (курсив наш. – М. П.).

В геохимии изучение этих систем равновесий – результатов миграции элементов – является основной задачей. Эти системы могут быть выражены языком механики, в форме статических и динамических систем – равновесий атомов...

Мы можем отличить в истории химических элементов земной коры несколько разных групп систем равновесия, могущих их удерживать неопределенное время, – вечно, в масштабе геологического времени. Эти группы систем равновесия более или менее независимы, и химический элемент, включенный в них, подчинен в каждой группе весьма различным физико-химическим законностям.

...Характерной чертой земной истории химических элементов является непрерывный переход их в течение геологического времени из одной группы равновесий в другую.

Я буду называть эти разные группы систем равновесия разными *формами нахождения* химических элементов (курсив Вернадского. – М. П.) [3, с. 187–188].

Отнюдь не подвергая сомнению гений В.И. Вернадского, нельзя не отметить, что процитированное контекстуальное определение форм нахож-

дения элементов имеет для геохимии теоретико-методологическое, общегеологическое, общенаучное значение. Но оно не конструктивно, не операционально, это понятие трудно применить к конкретной, скажем, минералого-геохимической ситуации. Например, вопрос, входит ли некий химический элемент в данный минерал в виде изоморфной примеси в узлах кристаллической решетки или в виде микровключений собственного минерала в минерале-хозяине, решается не в категориях “химического равновесия” в системе. Можно считать, что и в том, и в другом случае система химически равновесна и может “удерживать” этот элемент “неопределенное время, – вечно, в масштабе геологического времени”.

Конечно, в подтверждение резонности подхода В.И. Вернадского к проблеме разумно отметить, что как тот, так и другой упомянутый случай нахождения химического элемента в минерале обусловлен эволюцией породивших их более крупных геохимических систем, в которых направленность изменения равновесия может альтернативно привести к одному из названных вариантов. Однако знание процессов такой эволюции геохимических систем предусматривает реконструкцию генетических моделей этих систем. Построение же таких моделей – как построение любых теоретических моделей – трудная задача, к тому же дающая ответ лишь с точностью до изоморфизма [14, с. 29; 15, с. 128]. Кроме того, для построения таких генетических моделей в рассматриваемой ситуации необходимо знать, ...входит ли элемент в минерал в виде изоморфной примеси или в виде микровключений собственного минерала.

Вероятно, в связи с тем что только что отмечено при обсуждении определения ФНЭ Вернадским, это определение как таковое – как явное определение формы нахождения элементов – практически не встречается в геологической литературе¹. В работах, затрагивающих вопрос форм нахождения элементов, чаще всего обсуждается не вопрос “что такое ФНЭ”, а вопросы “какие ФНЭ бывают в природе” или “какие ФНЭ имеют место в некоей конкретной ситуации”.

Поэтому стратегию апостериорного (“от опыта”) построения классификации форм нахождения

элементов, сформулированную выше (п. 0.2), следует скорректировать:

1) сначала необходимо выяснить, какие (де-факто) ФНЭ описываются в литературе;

2) на базе этого дать определение ФНЭ;

3) исходя из этого определения, конкретизировать направления разработки классификации форм нахождения элементов в природе.

1.2. О каких формах нахождения элементов говорится в литературе?

Для решения поставленной задачи – дать определение понятия “ФНЭ”, исходя из практики использования этого понятия, – излишне создавать исчерпывающий перечень *всех* упоминаемых в литературе ФНЭ. Для выяснения аспектов, в которых это понятие используется в различных контекстах, достаточно получить некоторую более или менее представительную выборку упоминаемых в литературе ФНЭ.

Представим такую выборку: 1) по формам нахождения элементов, фигурирующих в *перечнях* ФНЭ (по сути – в классификациях перечисления, часто контекстуальных или неявных); 2) по *отдельным*, единичным формам нахождения элементов, обсуждаемым или упоминаемым в конкретных геологических ситуациях.

1.2.1. Приведем четыре перечня форм нахождения элементов, относящихся к разному времени XX в. [1, 3, 16, 17] и являющихся ответом на вопрос “какие бывают формы нахождения элементов в природе”.

В.И. Вернадский (1923, 1933) выделяет четыре ФНЭ в земной коре: 1) “молекулы и их соединения в *минералах*, горных породах, жидкостях и газообразных земных массах”; 2) “нахождение химических элементов в живых организмах; автономные проявления *живого вещества*”; 3) “нахождение элементов в кремнеалюминиевых магмах...”; 4) “состояние *рассеяния химических элементов*” [3, с. 188; курсив Вернадского].

Н.И. Сафронов (1971) выделяет минеральный (в виде собственных минералов) и безминеральный (в виде тех или иных примесей в минералах чуждого элементу состава) виды существования элемента [16, с. 11, 14] и рассеянное (кларковое) и концентрированное (в содержаниях, превышающих кларки) существование элемента в природе [16, с. 17].

Для безминерального вида нахождения элементов в природе Н.И. Сафронов выделяет следующие “важнейшие формы” [16, с. 15].

В *литосфере*. 1. Растворы в горных породах. Растворы в твердой фазе – изоморфные (изовалентные, гетеровалентные); неизоморфные (заполнение дефектов в кристаллических решетках; образование соединений включения; квазигазообразное состояние). Растворы в жидкой фазе – во внутрипородных молекулярно- и волосно-пленочных водах – истинные и коллоидные; сорбция на гранях и

¹ В числе весьма редких прецедентов такого определения можно привести определение, даваемое В.А. Алексеевко: “Под формой нахождения химических элементов понимаются системы различных относительно устойчивых химических равновесий этих элементов” [1, с. 85]. Однако оно фактически не используется В.А. Алексеевко при характеристике выделяемых им форм нахождения элементов в природе, что может служить косвенным показателем того, что это определение – неоперационально. (Правда, удивительно, что процитированное определение ФНЭ этот автор не связывает с именем В.И. Вернадского, а приводит просто как якобы принятое в геохимии.)

ребрах минералов стенок пор. 2. Растворы во внутрикристаллических жидких и газообразных включениях. 3. Природные коллоиды. 4. Сорбированное состояние в природных коллоидах.

В *других геосферах*, “тесно соприкасающихся с литосферой”. 5. Растворы (истинные и коллоидные) в подземных и поверхностных водах. 6. Пары и газы в почвенном и приповерхностном воздухе. 7. Растворы, коллоиды, металлоорганические соединения в растительном и животном мире.

Е.М. Квятковский (1990) “вслед за Сафроновым” выделяет минеральные (в том числе – микроминеральные) и безминеральные формы “существования элементов в природе” и концентрированное и рассеянное состояние элементов [17, с. 24]².

“Наиболее характерными безминеральными формами нахождения элементов в природе” Е.М. Квятковский называет следующие: “природные истинные и коллоидные растворы, газовые смеси, органическое вещество, изоморфные примеси; структурные и неструктурные включения в минералах; скопления в межминеральных полостях; скрытокристаллические (аморфные) соединения; квазигазообразное состояние; сорбированное состояние в минеральном поглощающем комплексе; растворы во внутрикристаллических, пленочных и гравитационных водах; пары и газы в по-

рах и трещинах; хелаты (металлоорганические соединения)” [17, с. 25].

Кроме того, “в безминеральных формах нахождения элементов в литосфере” Е.М. Квятковский “с практической позиции” выделяет “два подвида: *подвижные и прочносвязанные* по признаку извлекаемости элементов – примесей из механически измельченных пород и руд простым выщелачиванием...” [17, с. 25; курсив Квятковского].

В.А. Алексеенко (2000) отмечает, что “в природе существует довольно много разных форм нахождения элементов”, “в земной коре их несколько меньше”, “при изучении экологической геохимии (чему посвящена цитируемая работа. – М. П.)... достаточно рассмотреть только важнейшие из них” [1, с. 85–86].

В число последних у В.А. Алексеенко включены: самостоятельные минеральные виды; изоморфная форма нахождения химических элементов; водные растворы; газовые смеси; коллоидная и сорбированная формы нахождения элементов; магматические расплавы; биогенная форма; состояние рассеяния; техногенные соединения, не имеющие природных аналогов [1, с. 86–176].

Ограничимся приведенными перечнями, поскольку можно считать, что они позволяют составить общее представление о контекстуальном, полустихийном, слабо отрефлексированном опытным толковании понятия “форма нахождения элементов” при рассмотрении вопроса “*какие формы нахождения элементов бывают в природе*”.

1.2.2. Рассмотрим столь же контекстуальное толкование форм нахождения элементов при решении вопроса “*какие ФНЭ имеют место в некоей конкретной геологической ситуации*”.

Специфика освещения здесь таких ситуаций в том, что при этом не затрагивается истинность утверждения о той или другой форме нахождения данного химического элемента в данной системе (например, в минерале). В аспекте рассматриваемого вопроса – вопроса о контекстуальном толковании понятия “ФНЭ” – для нас неважно, например, находится германий в магнетите в форме Ge^{4+} , изоморфно замещая Fe^{3+} в решетке минерала, или же в форме Ge^{2+} , изоморфно замещая Fe^{2+} , или имеют место обе формы нахождения Ge в магнетите. В этой ситуации для нас важно, что как изоморфное замещение германием-4⁺ трехвалентного железа, так и изоморфное замещение $\text{Ge}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$ считаются *формой нахождения германия в магнетите*.

Такие формы нахождения определенных элементов в конкретных геологических системах фигурируют в публикациях во множестве (далеко не унифицированном), будучи даже не всегда однозначно связанными с самим термином “форма нахождения элемента”.

1) Приведем (для краткости и наглядности – списком) формы нахождения элементов, в отноше-

² В толкование рассеянного и концентрированного состояния элементов Е.М. Квятковский – в отличие от Н.И. Сафронова, следование которому он декларирует, вкладывает не только величину содержания элемента относительно его кларка, но и достаточность концентрации элемента для его промышленного извлечения: концентрация, “близкая к кларку, недостаточная для промышленного извлечения” (рассеянное состояние), и концентрация, “близкая к требованиям промышленности для соответствующих полезных ископаемых” (концентрированное состояние) [17, с. 27]. Кроме того, концентрированное состояние Квятковский характеризует двумя показателями: “степенью концентрации (содержанием) и массой (запасами) элементов в объекте” [там же]. Такое толкование понятий “рассеянное – концентрированное состояние элементов” смешивает воедино два принципиально разных подхода: 1) чисто геохимический подход, предусматривающий изучение на геохимическом уровне объективно существующих природных систем и процессов, не зависящих от человека (в силу последнего достоверные результаты, полученные при изучении таких объектов, оказываются неизменными во времени); 2) подход к концентрации элемента как к объекту рентабельного извлечения этого элемента, неизбежно зависящий от имеющихся на данный исторический момент технологии извлечения элемента и экономической конъюнктуры, то есть не от природных, а от социально-экономических факторов (и потому заключения, делаемые об объекте в этом аспекте, будут меняться с изменением конъюнктуры). Такое смешение, как и любой другой синкретизм, не повышает креативность и результативность подхода, его использующего.

нии которых при публикации используется именно этот термин.

- Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах [11].

- Формы нахождения элементов в почвах и горных породах [9, с. 28–32].

- Минеральные формы нахождения элементов в их рудах (с указанием минералов, образуемых этими элементами. – *М. П.*) [9, с. 29–31].

- Надкларковые формы предварительного концентрирования элементов в структуре химически непрочных минералов или на минеральных поверхностях [13, с. 71].

- Бериллий в карбонатапатите [4].

- Форма нахождения бериллия в фосфоритах [5].

- Прочно сорбированная гидроксидами железа форма нахождения цинка в “железных шляпах” [9, с. 29].

- Формы нахождения урана в юрских песчаниках и подстилающей их коре выветривания архейских гранитоидов [8]:

уран в форме воднорастворимых соединений – выщелачивается дистиллированной водой;

уран, связанный с органическими соединениями (гуматы уранила), выщелачивается 2%-м водным раствором NaOH;

уран в сорбированной форме – выщелачивается 5%-м водным раствором NaCl;

уран в виде оксидов и карбонатных соединений – выщелачивается 1%-м раствором HCl (с. 68).

- Формы нахождения германия в железных рудах и железистых кварцитах КМА [10, 21]:

германий в железных рудах находится в форме Ge^{4+} , изоморфно замещая Fe^{3+} в магнетите [21, с. 483]³;

германий в железных рудах находится в форме только Ge^{2+} , изоморфно замещая в магнетите Fe^{2+} [там же];

германий в железных рудах может находиться не только в магнетите, но и в др. минералах, содержащих Fe^{2+} (хлориты, ферростильпномелан, амфиболы, ильваит и др.) [там же];

в окисленных железных рудах Яковлевского месторождения германий находится в двух формах – изоморфной (Ge^{2+} , изоморфно замещающий Fe^{2+} в магнетите) и сорбированной (в виде германатов, сорбированных на поверхности зерен и агрегатов оксидов и гидроксидов железа) [10, с. 58–59].

- Формы нахождения ртути в горных породах и рудах [20]⁴ (формы нахождения ртути предлагает-

ся определять по температурам, соответствующим максимумам мгновенных концентраций ртути в возгонах при прокаливании проб):

110°C – самородная (“металлическая”) ртуть, частично сорбированная из воздуха, частично образовавшаяся при разложении киновари (с. 91);

интервал 120–240°C – **максимумы могут соответствовать самородной ртути и ртути, сорбированной из газов или растворов** (с. 91–92);

280°C – **ртуть, находящаяся в форме киновари** (с. 91);

интервал 280–350°C – максимумы, вероятно, соответствуют киновари (с. 92);

500 и 700°C – **по-видимому, ртуть, находящаяся в решетке галенита и сфалерита** (для выхода атомов ртути из галенита и сфалерита необходимо разрушение решеток этих минералов, требующее высоких температур) (с. 92).

- Формы нахождения ртути в почвах на ртутном месторождении Донбасса [6]:

подвижная форма нахождения ртути – растворимая в воде – может включать HgCl_2 , HgBr_2 , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, HgSO_4 (с. 853);

органическая форма нахождения ртути – металлоорганические соединения высокомолекулярных оксикарбоновых кислот (обычно – гуматы ртути) – выщелачиваются 1%-м раствором KOH (с. 853);

окисная форма нахождения ртути (HgO) – **возгоняется** нагреванием до 400°C (с. 853–854);

ртуть, находящаяся в форме киновари (HgS), – **возгоняется** нагреванием до 800°C (с. 854).

2) Нередко вопрос, рассматриваемый в публикации, представляет собой по сути вопрос о форме нахождения элемента в некоем природном субстрате, но термин “форма нахождения элемента” при этом не используется. Приведем примеры формулировок, отражающих ФНЭ, но не использующих этот термин.

- Магний воднорастворимый и магний карбонатный в кальцитовых скелетах беспозвоночных [2].

- Ванадий находится в нефти в виде летучих порфириновых комплексов (“летучих” – в смысле возгона при прямом озолении пробы перед анализом на ванадий. – *М. П.*) [12, с. 355].

- Молекулярный азот N_2 в солях и подсолевых флюидах Волго-Уральского бассейна [19].

- Уран в нефтях: содержание урана в нефтях прямо зависит от содержания в нефти серы, азота и нафтеновых углеводородов, особенно – от содержания асфальтеново-смолистых компонентов (уран может быть сорбирован на поверхности смолистых

³ Это утверждение авторами цитируемой статьи опровергается.

⁴ Это одна из первых работ по формам нахождения ртути. Поэтому естественно, что о некоторых формах нахождения ртути в ней говорится предположительно. После этой работы у В.З. Фурсова появились многочисленные публикации, использующие результаты примене-

ния более совершенных методик. Однако для цели нашей статьи – обрисовка контекстуального толкования понятия “ФНЭ” (см. второй абзац п. 1.2.2) – цитируемая работа [20] представляет такой же интерес, как и любая последующая.

веществ и может образовывать с ними ураноорганические комплексы); содержание урана в смолистых компонентах нефтей зависит от доли в них спирто-бензольных смол; основная масса урана, растворенного в маслах нефтей, связана в комплексе с азотистыми производными [18].

3) В связи с публикациями, затрагивающими проблему ФНЭ, иногда имеют место парадоксальные ситуации: публикация заявляется как посвященная вопросу “форм нахождения элементов”, а в тексте этой публикации сам термин “ФНЭ” может даже не встречаться. Такова работа Н.П. Ермолаева и И.Г. Берзиной “Теоретические основы использования микрорадиографии для изучения форм нахождения редких и цветных металлов в рудных месторождениях” [7]. Несмотря на название статьи, в ней о собственно ФНЭ явным образом не говорится и сам термин “ФНЭ” в тексте не используется. При этом в статье, во-первых, вопреки ее названию обсуждается вопрос нахождения редких и цветных металлов не в собственно месторождениях, а в рудовмещающих толщах. Во-вторых, что касается собственно форм нахождения элементов, без использования соответствующих терминов в ней чисто контекстуально обсуждаются лишь альтернатива “минеральная – безминеральная форма нахождения элемента” и размеры и форма диффузионной зоны элемента вокруг кристаллов минералов.

Ограничимся приведенными примерами, поскольку можно считать, что они позволяют составить общее представление о контекстуальном, полустихийном, обычно слабо отрефлексированном опытным толковании понятия “форма нахождения элементов” при решении вопроса “какие ФНЭ имеют место в некоторой конкретной геологической ситуации”.

1.2.3. Можно полагать, что примеры контекстуального использования понятия “ФНЭ” (без явного операционального его определения), приведенные в п. 1.2.1 и 1.2.2, представляют достаточный по объему материал для анализа контекстуального смысла этого понятия, экспликации этого смысла и явной формулировки его определения.

2. АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ В ГЕОЛОГИИ ПОНЯТИЯ “ФОРМА НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТА”

2.1. Приведенные случаи явного и неявного употребления понятия “ФНЭ” фиксируют содержание этого понятия лишь контекстуально, неявно. Любое неявное определение понятия чревато синкретизмом, неявным, неосознаваемым сочетанием в содержании этого понятия нескольких начал, признаков, без рациональной фиксации каждого из них. Приведенные в п. 1.2 случаи контекстуального употребления этого понятия нуждаются в анализе, в десинкретизации подразумеваемого при этом

смысла, в рациональной фиксации каждой особенности, включенной в этот неявный комплекс.

Еще одна трудность предпринимаемого здесь анализа – кроме необходимости вычленения каждой из особенностей, неявно подразумеваемой в понимании ФНЭ, – необходимость фиксации любой из этих особенностей в наиболее общем виде, ибо только абстрагируясь от множества конкретных особенностей множества ситуаций (например, приведенных в п. 1.2.2) можно предложить универсальное понятие, приложимое к любой из них.

2.1.1. С учетом сказанного, обобщая, следует отметить, что во всех приведенных случаях (п.1.2) в обрисовке форм нахождения элементов фигурируют особенности всего двух групп: 1) **вещественно-качественные** и 2) **количественные**. В первом случае говорится, например, о минеральной и безминеральной форме нахождения элемента, во втором – о рассеянном и концентрированном существовании элементов. Это – два разных аспекта ФНЭ. Причем можно считать, что вторая является особенностью первой, в каком-то смысле – всего лишь ее количественной характеристикой. И априори, качественно, без специальной количественной оценки роли той или другой ФНЭ, можно считать, что, например, рассеянное (близкларковое по величине содержания) существование элемента возможно и в безминеральной, и в минеральной (микроминеральной) форме.

Условимся, что в дальнейшем мы будем говорить о классификации форм нахождения элементов только в *вещественно-качественном аспекте*⁵.

2.1.2. В вещественно-качественном плане формы нахождения элементов в свою очередь также характеризуются двояко.

1. Как нахождение химического элемента в определенной физической, физико-химической, химической, биологической системе (самородная ртуть в почвах, германий-2, замещающий закисное железо в магнетите в железных рудах, иод, содержащийся в морских водорослях, уран, сорбированный на поверхности зерен песчаника, и т. п.) – “объектное” понимание ФНЭ.

2. Как некая фаза элемента, экстрагируемая с помощью определенной методики (“водорастворимые формы” урана, магния, ртути; уран, ртуть, извлекаемые растворами щелочей; ртуть, возгоняемая при температуре 280°C; “подвижные” (выщелачиваемые) и “прочносвязанные” (невыщелачива-

⁵ Разумеется, нельзя отрицать, что вещественно-качественный и количественный аспекты ФНЭ связаны и, скажем, для рассеянного нахождения элемента более вероятна или более широко распространена безминеральная, а не минеральная форма. Однако *доказательство* последнего утверждения предполагает наличие корректного перечня форм нахождения элементов и оценку в каждой из них частости встречи близкларкового содержания элемента.

емые) ФНЭ) – “процедурное” (“методическое”) понимание ФНЭ.

Условимся, что в дальнейшем мы будем говорить о вещественно-качественной классификации форм нахождения элементов в “объектном” понимании формы нахождения элементов⁶.

2.2. Тогда, учитывая все сказанное в п. 2.1 и всю фактуру примеров, приведенных в п. 1.2, обобщая только то, что в этой фактуре относится к “объектной” стороне формы нахождения элементов, можно предложить следующее определение ФНЭ.

Форма нахождения элемента – это характер вхождения химического элемента в систему.

Это определение предусматривает две важных необходимых составных части понятия “форма нахождения элемента”:

1) **система**, о форме нахождения элемента в которой идет речь (ФНЭ в литосфере, гидросфере, рудных месторождениях, земной коре, минерале, поверхностных (подземных) водах, биосфере, горной породе (граните, известняке, песчанике), Солнечной системе и т. д.);

2) **характер, способ вхождения** химического элемента в эту систему (для минерала, например, это может быть конституционная составная часть этого минерала (вхождение в кристаллическую решетку этого минерала как необходимая составная часть), изоморфное замещение необходимых компонентов минерала, в виде включений (микровключений) собственного минерала, в дефектах кристаллической решетки, в газовой-жидких включениях в минеральном индивиде или др.).

2.3. Классификация форм нахождения элементов в природе, исходя из сказанного, должна базироваться на этих двух особенностях таких форм. При этом очевидно, что прежде чем говорить о характере вхождения химического элемента в систему, следует оговорить, о вхождении элемента в какую природную систему идет речь.

Отсюда следует, что дальнейшая работа по созданию классификации форм нахождения элементов в природе должна в первую очередь вестись по разработке классификации (систематизированного перечня) природных систем. Причем, судя по упомянутым (и не упомянутым здесь, но имеющимся) публикациям по проблеме ФНЭ, эти системы имеют разный пространственный масштаб и разный уровень организации – от молекул, минералов и горных пород, от лито-, гидро-, атмо- и биосферы до ядра, мантии и земной коры, до планетных и звездных систем и Вселенной. Иными словами, пере-

чень природных систем следует строить как иерархию систем разного уровня организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа стихийного использования в геологической литературе понятия “форма нахождения элемента” предлагается определение: *форма нахождения элемента – это характер вхождения химического элемента в систему.*

Предлагаемое определение предусматривает при указании конкретной формы нахождения конкретного элемента 1) указание *системы*, о форме вхождения элемента в которую идет речь; 2) указание *характера вхождения элемента* в эту систему.

2. Первоочередной задачей по созданию корректной классификации форм нахождения элементов в природе является создание классификации (иерархии) природных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия: учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. *Васильев А.Н., Борисенко Ю.А., Журавель Н.Е.* Биогеохимический способ определения относительного геологического возраста осадочных пород. Авторское свидетельство 1383262 СССР, МКИ G01V9/00 // Бюллетень “Открытия. Изобретения”, 1988. № 11. С. 191.
3. *Вернадский В.И.* Труды по геохимии. М.: Наука, 1994. 496 с.
4. *Григорьев Н.А., Покровский П.В., Червяковская В.В.* Бериллий в карбонатах // Геохимия. 1969. № 6. С. 709–714.
5. *Григорьев Н.А., Покровский П.В., Утяшев Г.М., Бушляков И.Н.* О форме нахождения бериллия в фосфоритах // Литология и полезные ископаемые. 1973. № 3. С. 135–138.
6. *Дворников А.Г., Герасимова Л.И., Пономарева В.А.* Формы нахождения ртути в почвах на Чернобугорском ртутном месторождении (Донбасс) // Геохимия. 1974. № 6. С. 852–858.
7. *Ермолаев Н.П., Берзина И.Г.* Теоретические основы использования микрорадиографии для изучения форм нахождения редких и цветных металлов в рудных месторождениях // Изв. ВУЗ. Геология и разведка. 1993. № 6. С. 69–75.
8. *Жильцов Ю.К., Сапрыкин Ф.Я., Комарова Н.И.* Формы нахождения урана в юрских песчаниках и подстилающей их коре выветривания архейских гранитоидов // Советская геология. 1965. № 11. С. 61–70.
9. *Ковалевский А.Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1974. 144 с.
10. *Кремлев Е.А., Троцкая И.Н.* Некоторые вопросы германиеносности богатых железных руд и железистых кварцитов Курской магнитной аномалии // Советская геология. 1965. № 11. С. 55–60.
11. *Линник П.Н., Набиванец Б.И.* Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 271 с.
12. *Перес-Бендито Д., Сильва М.* Кинетические методы

⁶ Это не значит, что *методику определения ФНЭ* следует игнорировать. Но прежде чем говорить о методике определения формы нахождения элемента, следует дать корректный перечень возможных для данной ситуации форм нахождения элементов. Иначе невозможно обосновать корректность определения с помощью данной методики именно такой ФНЭ.

- в аналитической химии. М.: Мир, 1991. 397 с.
13. *Питулько В.М., Крицук И.Н.* Основы интерпретации данных поисковой геохимии. Л.: Недра, 1990. 336 с.
 14. *Покровский М.П.* О “генетическом” и “морфологическом” подходах в изучении геологических объектов // *Философские вопросы геологии. Тр. СГИ.* Вып. 88 (3). Свердловск: СГИ, 1972. С. 16–34.
 15. *Покровский М.П.* Введение в классиологию. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. 484 с.
 16. *Сафронов Н.И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л.: Недра, 1971. 216 с.
 17. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых* / Под ред. А.П. Соловова. М.: Недра, 1990. 336 с.
 18. *Твердова Р.А., Федина В.В.* Уран в нефтях Нижнего Поволжья // *Геохимия.* 1974. № 7. С. 1045–1049.
 19. *Тихомиров В.В.* Молекулярный азот в солях и подсолевых флюидах Волго-Уральского бассейна // *Геохимия.* 2014. № 8. С. 689–703.
 20. *Фурсов В.З., Степанов И.И.* О возможностях определения формы нахождения ртути в горных породах и рудах // *Изв. АН КазССР. Серия геол.* 1967. № 2. С. 90–92.
 21. *Чурбаков В.Ф., Гордон С.А., Менковский М.А.* Синтез закиси-окиси железа, содержащей двухвалентный германий // *Геохимия.* 1964. № 5. С. 483–485.