

ОБ ИЕРАРХИИ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ (К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДЕ)

© 2017 г. М. П. Покровский

ВВЕДЕНИЕ

О задаче классификации форм нахождения элементов (ФНЭ). Понятие ФНЭ

Задача классификации ФНЭ в первую очередь требует определить само понятие “форма нахождения элемента”. Анализ использования этого понятия в геологической литературе позволил предложить следующее определение: “форма нахождения элемента – это характер вхождения химического элемента в природную систему” [Покровский, 2016, с. 124].

Как видно, данная формулировка включает два определяющих понятия: 1) “природная система”; 2) “характер вхождения” в нее химического элемента. При этом ясно, что логически первоочередным из них является категория “природная система”. Прежде чем говорить о классификации ФНЭ, необходимо дать перечень природных систем, после чего можно обсуждать и характер вхождения в них химических элементов.

1. О двух типах перечней природных систем

Сводя все немислимое разнообразие природных систем в обозримый перечень, необходимо помнить, что такой перечень может быть двух принципиально различных типов: *иерархия* и *классификация*¹. *Иерархия* – это многоуровневая система, отношения между объектами разных уровней в которой представляют отношения целого и части. *Классификация* – это одно- или многоуровневая система, отношения между объектами разных уровней в которой (или, если система одноуровневая, – между объектами делимого множества и результатами деления) представляют собой отношения вида и разновидности.

Например, иерархия “... атом ... минерал ... горная порода...” выражена рядом все более крупных

систем, включающих предыдущую как составляющий элемент: минерал состоит из атомов химических элементов, горная порода – из минералов. Для объектов каждого уровня этого иерархического ряда может строиться своя классификация: химических элементов (химический элемент – разновидность атомов), минералов, горных пород. При этом исторически классификация обычно развивается от примитивной, одноуровневой, до иерархической, многоуровневой, со все более дробным выделением разновидностей этих объектов (рис. 1).

2. Об иерархии природных систем

2.1. Рабочий вариант иерархии природных систем

Предлагаемая иерархия природных систем разрабатывалась в соответствии с принципом апостериорности [Покровский, 2014, с. 37–40] – с опорой на существующий опыт. Тем более что разработки по данной проблеме довольно многочисленны [Левин, 1977; Иерархия, 1978; Геологические..., 1986; и др.].

2.1.1. Однако существующий опыт построения иерархий природных систем при создании иерархии, предлагаемой здесь, использовался с некоторыми оговорками.

1. Представленная здесь иерархия природных систем разрабатывалась без ограничения диапазона рассматриваемых объектов (часто иерархии строятся только для геологических систем). Она включает и “догеологические” объекты – объекты физического микромира, и более крупные объекты, чем геологические, – астрономические. В первом случае это может показаться парадоксальным: иерархия создается для фиксации перечня систем, в которые может входить химический элемент, а в ней исследуются и объекты физического микромира, меньшие, чем атом, которые сами входят в атом как составные части. Это сделано в соответствии с принципом “чем универсальнее, тем существеннее”: чем больше типов объектов охватывает подход, тем более существенные особенности объектов каждого из типов он вскрывает [Покровский, 2014, с. 79, 114].

2. При создании предлагаемой иерархии не использована концепция “элементарной ячейки”, раз-

¹ Необходимо сделать неременную оговорку, как и в любой нашей публикации: мы не настаиваем на терминах, употребляемых лексемах, хотя содержание понятий, ими обозначаемых, стремимся прояснить со всей достижимой определенностью.

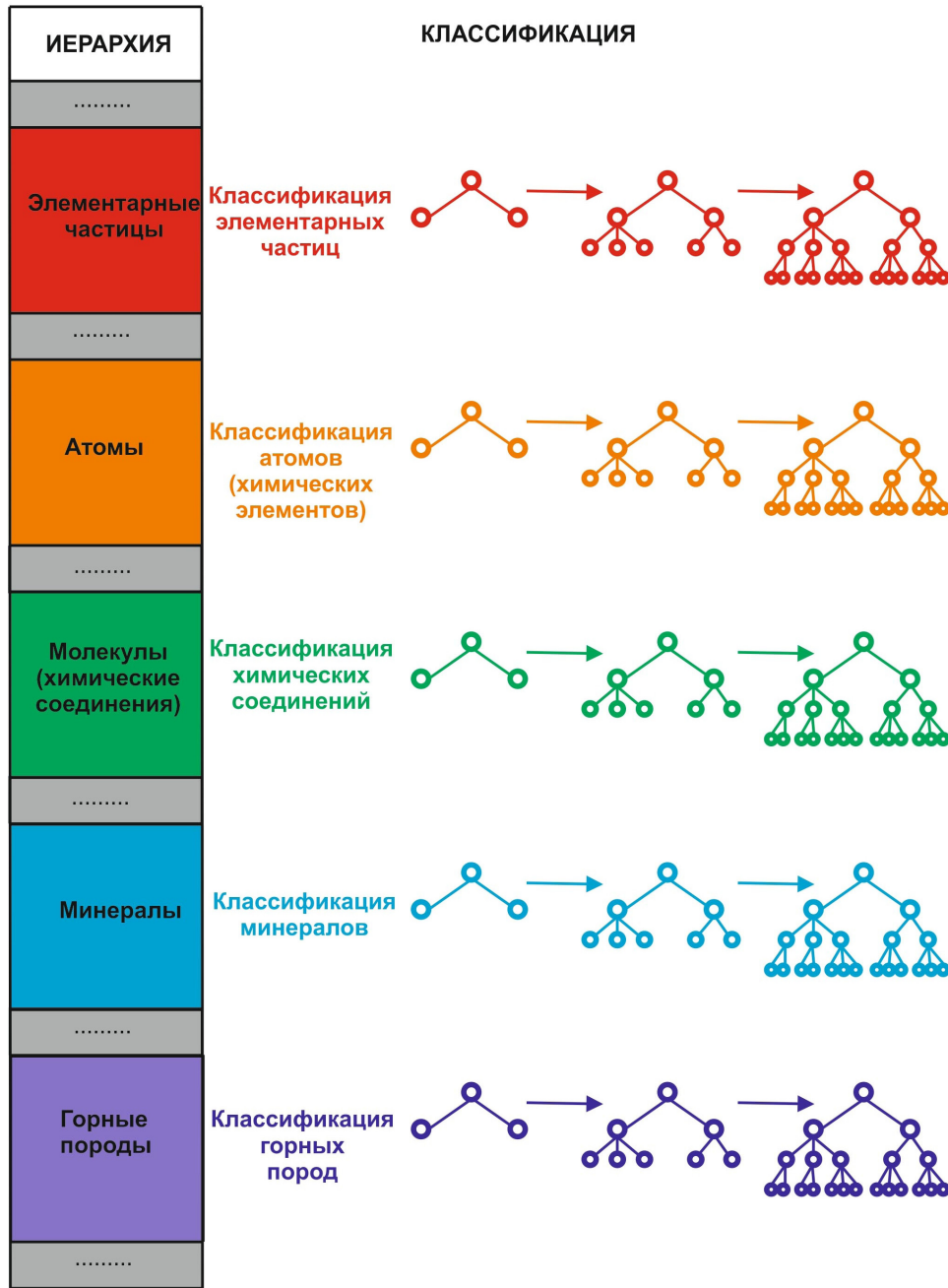


Рис. 1. Соотношение понятий “иерархия” и “классификация”.

виваемая, например, В.Ю. Забродиным, В.А. Кулындышевым, В.А. Соловьевым [Геологические..., 1986, с. 282–286]. Ибо можно считать, что для объектов *любого* уровня объекты предшествующего ему подуровня являются своего рода “элементарной ячейкой”, его частью, элементом, мероном, что объект *любого* уровня представляет собой комбинацию, суперпозицию таких “элементарных ячеек”, “кирпичиков”. Иерархия систем представляет собой не ряд “...объект – элементарная ячейка – объект – элементарная ячейка – объект...”, а ряд “...объект – объект – объект – объект...”. Иными

словами, иерархия – ряд *объектов* разного уровня, при этом объект *каждого* уровня состоит из объектов предыдущего уровня как из “элементарных ячеек” и является “элементарной ячейкой” для объекта следующего уровня.

3. В предлагаемой иерархии намеренно не предусмотрены объекты, относящиеся к сфере полезных ископаемых, геологии месторождений полезных ископаемых (МПИ), металлогении. Это обусловлено тем, что собственно геологические объекты (минерал, горная порода, формация и др.) и объекты, относящиеся к сфере полезных ископае-

мых, принадлежат к **разным иерархиям** – условно говоря, к геологической и металлогенической соответственно. Эти две иерархии разрабатываются в значительной мере сами по себе, что вполне оправданно, поскольку понятийные поля этих двух отраслей геологии, пересекаясь, тем не менее ощущаются самостоятельны. Поэтому, диалектически дополняя самостоятельность разработок геологической и металлогенической иерархий, периодически появляются работы, в которых рассматривается соответствие “чисто геологических” и “металлогенических”, “рудных” единиц. Одна из последних публикаций, посвященных данному вопросу, носит даже нормативный характер: в Металлогеническом кодексе России [2012] нормативно устанавливаются соответствие металлогенических и тектонических таксонов (ст. 8.2, прил. 16) и связь, сопоставление геологических и рудных формаций (ст. 7.2, прил. 14)².

Кроме того, системы, выделяемые в рудно-металлогеническом аспекте, не включены в число рассматриваемых также потому, что относятся лишь к “геологическому интервалу” (условно “минералы–планеты”) предлагаемой иерархии, имеющей более широкий диапазон объектов – от микромира до астрономических систем. Поэтому данные системы не реализуемы в “до-” и “сверх-” геологических частях этого перечня.

2.1.2. Итак, с учетом опыта создания иерархий природных систем (несколько модифицированного и расширенного там, где иерархии включают только системы, полагаемые авторами этих иерархий геологическими) можно предложить следующую иерархию.

ИЕРАРХИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

- Суперструны
- Кварки
- Элементарные частицы
- Агрегаты элементарных частиц
- Атомы
- Агрегаты атомов (например, химические радикалы)
- Молекулы (химические соединения)
- Агрегаты молекул
- Минералы

² Автору, несмотря на декларируемую и обычно выдерживаемую “терминологическую толерантность”, трудно удержаться от резкого протеста против некорректного использования термина “таксон”. “Таксон” представляет собой чисто классификационный термин из области биологических и небологических классификаций. Он обозначает *множество, группу* сходных в каком-либо отношении объектов. В цитируемом издании и некоторых других публикациях прогнозно-металлогенической тематики таксоном называется *единичный* объект, что никак нельзя признать корректным.

- Агрегаты минералов (минеральные агрегаты)
- Горные породы
- Ассоциации (в частности, пачки) горных пород
- Геологические формации
- Формационные комплексы (ряды формаций)
- Фрагменты планетных оболочек (например, для Земли – оболочки земной коры, зоны в составе мантии, ядра)
- Планетные оболочки (например, для Земли – земная кора, мантия, ядро)
- Планеты (и другие небесные тела – кометы, астероиды и др.)
- Планетные системы (звездно-планетные системы, например Солнечная)
- Звезды
- Звездные скопления (созвездия)
- Галактики
- Скопления галактик
- Вселенная

Трудно найти в этом перечне правильное место для еще одного природного субстрата – межзвездной среды. Она служит именно средой для астрономических объектов – от планет до скопления галактик, а частью, важным составляющим компонентом служит только для одной системы – Вселенной.

Ограничим пояснения предлагаемой иерархии природных систем ее изложением, полагая, что объекты разных уровней этой иерархии в первом приближении представимы по терминам, используемым для их обозначения. В противном случае обсуждение многих звеньев этой иерархической цепочки и особенно их ближайших связей могло бы потребовать специальных статей³.

2.2. О таксономических признаках в иерархии природных систем

Приведенная в п. 2.1.2 иерархия природных систем представляет собой классификацию. Мерономического типа, но – *классификацию*.

Эта иерархия как классификация относится к описательному типу [Розова, 1964, 1986]. Поясним, что такие классификации рождаются в значительной мере стихийно, путем полусознанной сортировки наблюдений и представлений. Это неизбежно

³ Например, связка “суперструны – кварки – элементарные частицы”. Кварки в какой-то мере сами – элементарные частицы. Однако они – составные части значительной группы элементарных частиц – адронов, в том числе протонов и нейтронов, тем не менее не всех элементарных частиц. Суперструны (или просто струны) – абстрактно-теоретический одномерный объект, разные формы которого и разные режимы колебаний которого являются представлениями элементарных частиц [Грин, 2007; Хокинг, 2008]. При этом строгое соотношение суперструн и кварков требует специально-разбирательства. Похожая трудность возникает и в связке “атомы – молекулы – минералы”.

ный, хотя и начальный, примитивный, тип научной классификации, в которой классы объектов лишь называются, а объекты, относящиеся к ним, характеризуются, “описываются” без фиксированной системы характеристик. Может быть, каждый класс по-своему. Причем то, что каждый класс “описывается” своей, отличной от другого, системой особенностей, может оставаться незамеченным авторами подобных описаний. На следующей стадии развития научной классификации, по С.С. Розовой, появляются классификации “переходные”, или “описательные с объяснением”, когда для классов объектов, приводимых в “описательных” классификациях, предпринимаются попытки выявить *признаки*, свойственные объектам выделенного класса. Попытки такого рода для иерархий чрезвычайно редки и касаются обычно размеров объектов разных иерархических уровней.

Не отказываясь от использования размеров объектов, можно предложить следующий предварительный комплекс свойств, значения которых (признаки) могли бы оказаться делящими, определяющими для объектов разных уровней приведенной иерархии: 1) пространственные особенности, 2) временные особенности, 3) потенциальная внесистемность существования.

1. Пространственные особенности объектов иерархии – их размеры, объем. Это наиболее наглядные характеристики, мысль о которых приходит в голову первой при ознакомлении с иерархией

систем. Размер типичной струны в теории струн $\approx 10^{-37}$ м [Хокинг, 2008, с. 213], атома $\approx 10^{-10}$ м, минерального индивида $\approx 10^{-6}$ – n м, планеты Земля $\approx 10^6$ м, представляемые размеры Вселенной $\approx 10^{25}$ м ($\approx 10^9$ световых лет).

2. Временные особенности объектов иерархии – прежде всего ритмика, время существования. Например, ритмичность “перескока” электронов в узлах кристаллической решетки составляет 10^{-13} – 10^{-14} с, время обращения Земли вокруг своей оси ≈ 24 ч (оно определяет и суточные ритмы многих земных систем), оборот Земли вокруг Солнца ≈ 1 год, солнечные циклы ≈ 11 лет, оборот галактики вокруг своей оси (галактический год) ≈ 220 млн лет.

3. Потенциальная внесистемность существования объекта – это возможность его существования как одиночного объекта вне системы непосредственно более высокого уровня, возможность быть “в свободном состоянии”, например атома химического элемента – не в составе молекулы; минерала (минерального индивида) – не в составе минерального агрегата или горной породы; планеты – не в составе планетной системы, а в свободном состоянии. Проще всего это состояние представить как несвязанное пребывание в природе в целом, во Вселенной: единичного атома, единичного минерального индивида, единичной планеты.

Возможность существования в свободном состоянии объектов разных уровней иерархии отражена в табл. 1. Обращает на себя внимание то, что про-

Таблица 1. Возможность нахождения в “свободном состоянии” объектов разных иерархических уровней

Иерархический уровень объекта	Возможность нахождения объекта в свободном состоянии
СУПЕРСТРУНЫ (?)	?
КВАРКИ	–
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ	+
АГРЕГАТЫ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ	+
АТОМЫ	+
АГРЕГАТЫ АТОМОВ	+
МОЛЕКУЛЫ (ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ)	+
АГРЕГАТЫ МОЛЕКУЛ	+
МИНЕРАЛЫ	+
АГРЕГАТЫ МИНЕРАЛОВ	?
ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	–
АССОЦИАЦИИ (ПАЧКИ) ГОРНЫХ ПОРОД	–
ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ	–
ФОРМАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ (РЯДЫ ФОРМАЦИЙ)	–
ФРАГМЕНТЫ ПЛАНЕТНЫХ ОБОЛОЧЕК	–
ПЛАНЕТНЫЕ ОБОЛОЧКИ (ЗЕМНАЯ КОРА, МАНТИЯ, ЯДРО ЗЕМЛИ)	–
ПЛАНЕТЫ	+
ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ (ЗВЕЗДНО-ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ)	+
ЗВЕЗДЫ	+
ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ (СОЗВЕЗДИЯ)	+
ГАЛАКТИКИ	+
СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК	+
ВСЕЛЕННАЯ	?

Примечание. Обращает на себя внимание закономерная ритмическая смена возможностей существования объекта “в свободном состоянии” при смене уровня организации объекта.

блематичность (возможность – невозможность) существования в свободном состоянии объектов разных уровней при переходе с одного уровня на другой проявляется ритмически.

Кратко остановимся на проблематичных ситуациях (в табл. 1 они помечены знаком вопроса). Ответ на вопрос, может ли объект существовать в свободном состоянии, представляется затруднительным для объектов трех уровней – суперструн, агрегата минералов и Вселенной. В каждой из трех ситуаций по своей причине. В случае суперструн – в силу их гипотетичности; агрегата минералов – в силу ограниченности данных наблюдения (отдельные минералы в составе межзвездной пыли или среды обнаружены, наличие в ее составе агрегатов минералов проблематично, но не исключено); Вселенной – в силу границ познания (наша Вселенная – это предел нашего познания, и на уровень выше Вселенной оно не поднялось: скажем, “агрегат Вселенных” или свободное существование одной отдельно взятой Вселенной (в чем?!) трудно представить).

Таким образом, дальнейшее совершенствование приведенной иерархии природных систем следует осуществлять в направлении разработки системы таксономических значений признаков трех названных особенностей объектов. Следует также обратить внимание на поиски и других свойств, могущих служить основанием системы таксономических признаков для представленной иерархии (например, каких-либо вещественных или структурных особенностей объектов разных уровней, характера взаимодействия составных частей систем разных уровней (действующих при этом сил) или др.).

2.3. О содержательной неполноте предложенной иерархии природных систем

Иерархия, изложенная в п. 2.1.2, нуждается не только в выявлении и формулировке внятных таксономических признаков для каждой из выделенных единиц (п. 2.2), но и в дополнении, включении в нее систем, не нашедших в ней своего места. В приведенную иерархию входят лишь системы, которые от уровня молекулы (?), минерала (?) и выше могут считаться “косными” системами, находящимися в твердом состоянии. В ней отсутствуют: 1) “косные” системы, находящиеся в других агрегатных состояниях – жидком и газообразном (они могут быть объединены понятием “**флюидные**” системы); 2) **биологические** системы; 3) **социальные** системы.

2.3.1. *Флюидные системы.* Прежде чем говорить о флюидных системах как антитезе твердого агрегатного состояния, уместно обратить внимание на то, что само понятие “агрегатное состояние” неким образом связано с уровнем организации вещества. Представляется лишенным смысла вопрос, какому агрегатному состоянию отвечают электрон, протон. Очевидно, сами понятия “твердое”, “жидкое”, “га-

зообразное” в макромире применимы для вещества, начиная с уровня организации, отвечающего молекуле, “плазма” – для вещества, имеющего атомарную организацию (как некий газ, состоящий из атомов с электронными оболочками, ионизированными в разной степени или полностью “содранными” с ядра).

Кроме того, о формах нахождения химических элементов в системах, названных флюидными, следует сказать, что в геологической литературе им посвящена масса работ. Корпус таких изданий достаточно велик, и информация о вхождении химических элементов в эти системы широко известна, чтобы не приводить отдельные публикации для примера (тем более что они приведены ранее [Покровский, 2016]).

1. *Природные системы, находящиеся в жидком агрегатном состоянии*, чрезвычайно распространены. Это воды – поверхностные (пресные, морские, рассолы), подземные (почвенная влага, грунтовые воды, воды зоны активного водообмена, застойные воды (и тоже – пресные, минерализованные, рассолы)). Помимо вод в жидком состоянии находится еще одна природная система – **нефть**, интересная в научном отношении и важная в практическом.

Нахождение и формы химических элементов в этих системах могут иметь практическое значение как промышленный источник элементов (например, гидроминеральные месторождения Li, B, Mg, нефть как источник Ni, V); и – в гораздо большем наборе химических элементов – в поисковых технологиях как элементы-спутники, индикаторы при гидрогеохимических поисках МПИ.

2. *Природные системы, находящиеся в газообразном агрегатном состоянии*, также широко известны – это надземная и подземная атмосфера Земли. Нахождение химических элементов в них тоже может иметь практическое значение – и как промышленный источник элементов (например, O₂, N₂ в атмосферном воздухе, горючие газы в подземных резервуарах), и в поисковых технологиях (в частности, по концентрации в приповерхностной подземной атмосфере углеводородных газов (при поисках месторождений нефти, урана) и радона (при поисках месторождений урана)).

3. Таким образом, и для жидких, и для газообразных природных систем необходимо предусмотреть определенное место в иерархии природных систем, ибо они не только существуют как объективная реальность, но и могут служить источником получения макро- и микроэлементов, содержащихся в них, а также субстратом проведения геохимических поисков МПИ (гидрогеохимических, атмосферногеохимических).

Кроме того, нельзя не обратить внимания на еще один методологически важный момент, некую родственность смежной ситуации. Уже говорилось о различии и при этом родственности ие-

рархии и классификации (п. 1, 2.2), необходимости различать и одновременно искать соответствие между “геологическими” и “металлогеническими” иерархиями (п. 2.1.1 (3)), искать общий подход к классификациям горных пород и МПИ [Покровский, 2015]. Анализ состояния и направлений развития классификаций горных пород и классификаций МПИ [Покровский, 2004, 2010] приводит к выводу о необходимости учета в этих классификациях агрегатного состояния объектов классификации и выделения жидких, газообразных и смешанных объектов наряду с твердыми как среди горных пород, так и среди МПИ.

Такое сходство рекомендаций по решению хотя и связанных, но разных задач (создание иерархий и создание классификаций) в соответствии с упомянутым принципом существенности вскрываемых универсальных подходов особенностям объектов позволяет считать рекомендацию включать в иерархию природных систем системы, относящиеся к жидкой и газообразной фазам вещества, методологически обоснованной и эвристически перспективной.

2.3.2. Биологические системы. О том, что химические элементы играют большую роль в биологических системах – от единичного организма до биосферы в целом, говорить излишне. Биогеохимия существует и развивается как отрасль науки, основы которой заложены еще В.И. Вернадским и продолжены его учеником и последователем А.П. Виноградовым. Широко известны факты образования минералов в организмах (в норме или при патологиях), например халцедона в стрекательных клетках крапивы, жемчуга (арагонитовых агрегатов) в раковинах моллюсков. Множество беспозвоночных строят наружные скелеты из карбонатов кальция и магния. Радиолярии имеют раковины, состоящие из SiO_2 . Морские одноклеточные *Acantharia* формируют наружный скелет из целестина (SrSO_4). Отолиты рыб представлены апатитом, человека – кальцитом. Возникла отрасль минералогии – биоминералогия, рассматривающая процессы минералообразования в живых организмах [Кораго, 1992]. Нарушение элементного баланса в организме может послужить причиной серьезных патологических состояний (в частности, микроэлементозов человека).

На наличии и характере распределения химических элементов в растениях основаны биогеохимические методы поисков МПИ. Следует отметить, что в чисто научном плане ведутся разработки по установлению общих принципов эволюции органического и неорганического мира [Лима-де-Фариа, 1991], широко известны работы Н.П. Юшкина и его школы по выявлению момента, принципов, механизма перехода неорганической эволюции в органическую. Все сказанное является доводами в пользу очевидного – необходимости при создании иерархии природных систем находить определенное место и биологическим системам.

2.3.3. Социальные системы. Они являются, как можно считать, наиболее высокой формой биологической эволюции. Необходимость учета систем этого типа в иерархии природных систем диктуется двумя моментами. Во-первых, социум (каким бы осознанным он себя ни ощущал и ни прокламировал) – это тоже создание Природы; во-вторых, антропогенное влияние на природу в ходе истории все возрастает, приобретая на сегодня масштаб *геологической* силы.

Все сказанное в п. 2.3 позволяет резюмировать, что, создавая иерархию природных систем, в ней необходимо предусматривать наличие систем всех агрегатных состояний (в том числе жидких и газовых), а также биологических и социальных систем, связанных с привычными геологам “косными” системами и имеющих ощутимое взаимовлияние на функционирование всех названных систем.

2.4. О принципах дальнейшего развития иерархии природных систем

Строить такую универсальную иерархию, включающую, кроме названных в п. 2.1.2 систем, и неорганические жидкие, и газообразные, и биологические, и социальные системы, предлагается “снизу”, от минимальных по размеру объектов (суперструн, кварков, элементарных частиц), в отношении которых категории агрегатного состояния косной – биологической – социальной природы лишены смысла. При этом на каждом последовательно рассматриваемом уровне предлагается:

- 1) создавать классификацию-перечисление объектов уровня;
- 2) оценивать агрегатное состояние объектов разного типа (например, в ряду углеводородов типа $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ по мере увеличения n эти соединения, начиная с газов, сменяются жидкостями, потом квазитвердыми образованиями);
- 3) оценивать неорганический/органический характер данных образований;
- 4) среди органических оценивать абиологический/биологический характер систем;
- 5) среди биологических – асоциальный/социальный характер;
- 6) во всех случаях оценивать возможность существования этих объектов вне систем более высокого уровня (“в свободном состоянии”).

При появлении “разнотипности” в аспектах 2–5 необходимо наращивать параллельно две или несколько иерархических цепочек, ища в них соответствие или аналогию друг с другом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В качестве объектов, которые можно рассматривать на предмет вхождения в них химических элементов, предложена следующая иерархия при-

родных систем: суперструны – кварки – элементарные частицы – агрегаты элементарных частиц – атомы – агрегаты атомов – молекулы (химические соединения) – агрегаты молекул – минералы – агрегаты минералов – горные породы – ассоциации горных пород – геологические формации – формационные комплексы (ряды формаций) – фрагменты планетных оболочек – планетные оболочки – планеты – планетные системы (звездно-планетные системы) – звезды – звездные скопления – галактики – скопления галактик – межзвездная среда – Вселенная.

2. Дальнейшую разработку этой иерархии предлагается вести в направлениях: а) разработки системы таксономических признаков для объектов каждого уровня иерархии; б) дополнительного включения в нее жидких и газовых неорганических, биологических и социальных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геологические тела: терминологический справочник / под ред. Ю.А. Косыгина, В.А. Кулындышева, В.А. Соловьева. М.: Недра, 1986. 334 с.
- Грин Б. Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории: пер. с англ. Изд. 3-е, испр. М.: КомКнига, 2007. 286 с.
- Иерархия геологических тел: терминологический справочник / под ред. Ю.А. Косыгина, В.А. Кулындышева, В.А. Соловьева. Хабаровск: Ин-т тектоники и геофизики ДВНЦ АН СССР, 1978. 680 с.
- Кораго А.А. Введение в биоминералогию. СПб.: Недра, 1992. 280 с.
- Левин Б.С. Статическая геология и соотношения геологических наук // Принципы тектонического анализа. Владивосток: Ин-т тектоники и геофизики ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 52–65.
- Лима-де-Фариа А. Эволюция без отбора. Автоэволюция, формы и функции: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 456 с.
- Металлогенический кодекс России. М.: Геокарт-ГЕОС, 2012. 126 с.
- Покровский М.П. О стратегии совершенствования классификации месторождений полезных ископаемых // Изв. Урал. гос. горн. ун-та. Вып. 19. Сер. геология и геофизика. Екатеринбург: УГГУ, 2004. С. 15–27.
- Покровский М.П. О подразделении горных пород на верхних уровнях их классификации // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 157. 2010. С. 340–344.
- Покровский М.П. Введение в классиологию. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2014. 484 с.
- Покровский М.П. О подразделении горных пород и месторождений полезных ископаемых на верхних уровнях их генетических классификаций: возможности интегративного подхода // Литосфера. 2015. № 3. С. 69–78.
- Покровский М.П. О классификации форм нахождения элементов (к постановке задачи) // Ежегодник-2015. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 163. 2016. С. 119–125.
- Розова С.С. Научная классификация и ее виды // Вопр. философии. 1964. № 8. С. 69–79.
- Розова С.С. Классификационная проблема в современной науке. Новосибирск: Наука, 1986. 224 с.
- Хокинг С. Мир в ореховой скорлупке / пер. с англ. А. Сергеева. СПб.: Амфора, 2008. 218 с.