

УДК 549;549.1

*В. А. ГЛАГОЛЕВ, В. Л. ЛЕВИН, Т. А. ШАБАНОВА, П. Е. КОТЕЛЬНИКОВ, Г. К. БЕКЕНОВА*

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПАРАДОКСЫ КАЗАХСТАНСКОЙ НАНОМИНЕРАЛОГИИ

Выявлены первоочередные и перспективные геологические критерии для поисков наноминеральных форм вещества.

В настоящее время изучение наноразмерных объектов находится на этапе становления, так как еще не существует баз данных по всем разновидностям нановещества в классическом понимании. Поэтому в литературе достаточно часто приводятся противоречивые данные и не отработана терминология.

Для систематизации размерностей изучаемых частиц на собрании Всероссийского минералогического общества (Россия) в 1995 г. была предложена система из четырех размерных уровней, имеющих достаточно условные границы, к последнему из которых отнесен наноуровень [1].

Наноуровень является новым переходным уровнем, объединяющим кристаллообразующие элементы (атомы, ионы, молекулы и т. п.) в наноиндивиды и наноагрегаты. Для наночастиц характерны чрезвычайно высокая доля вещества в поверхностном слое и преобладающее влияние поверхностных сил. К особенностям наночастиц может быть отнесена агрегация без образования химических связей, что отличает их от минералообразующих элементов, а сами наноиндивиды представляют собой элементарные кристаллические структуры, сложенные ограниченным числом структурообразующих единиц (всего несколько элементарных ячеек). Они имеют

четкие фазовые границы, практически бездефектные структуры, часто с кристаллическими очертаниями. Конституция и форма этих образований определяются только внутренними факторами и практически не зависят от внешних воздействий [2].

Под наноразмерными материалами принято понимать такие материалы, у которых размер отдельных фаз, не превышает 100 нм хотя бы в одном измерении. Этот предел достаточно условен и определен характерным размером для того или иного физического явления (размер петли Франка–Рида для скольжения дислокаций, длина свободного пробега электрона для электрокинетических свойств, размер доменов для магнитных характеристик и т. д.) [3]. Но следует учитывать, что наноструктурированный индивид не всегда укладывается в наноразмеры (рис. 1, а, б).

Данные о нахождении наноминералов в природе пока немногочисленны и иногда противоречивы. Методы извлечения, обогащения не отработаны, но диагностика, аппаратура и методы исследования достаточно определились.

Ретроспективный взгляд на проводившиеся в Институте геологических наук им. К. И. Сатпаева исследования обнаруживает, что многое из обильной информации по нановеществу давно описано в

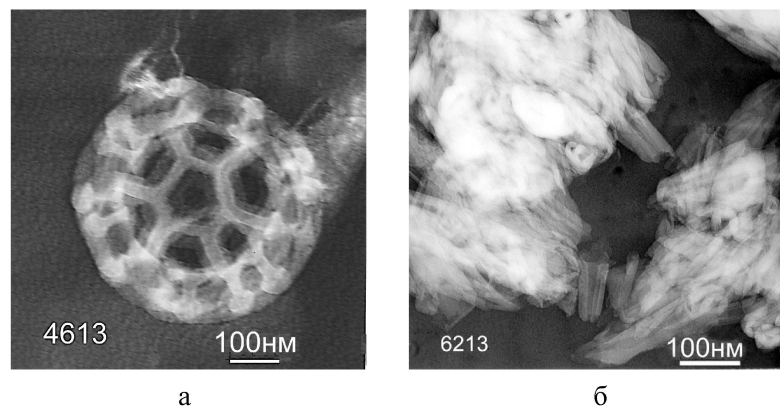
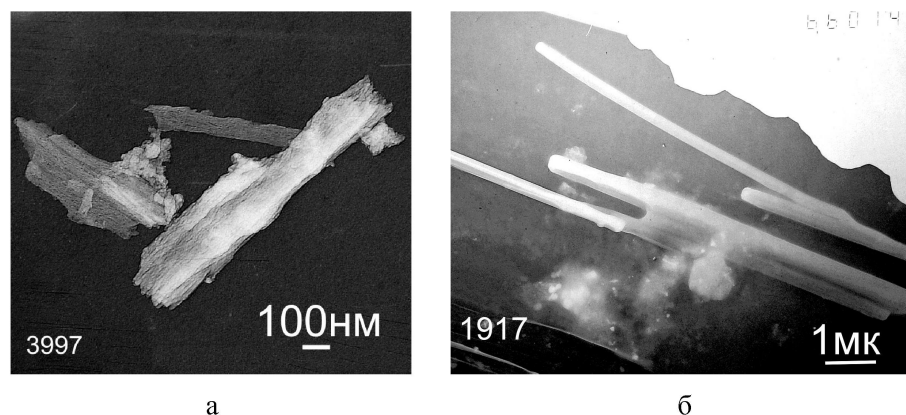


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки: а – наноиндивид (фуллерит); б – наноразмерные частицы (образец галуазита), месторождение Балаускандык. База данных группы электронно-микроскопических методов исследований ИГН – ИПГ (ГрЭММИ, ИГН – ИПГ)

Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки:  
а – наноструктурированные частицы русаковита, месторождение Баласаускандык;  
б – тубулены, месторождение Текели. (База данных ГрЭММИ, ИГН – ИПГ)



статьях и отчетах. Это стало результатом как высокого научного уровня исследователей, так и того, что институт получил первым или одним из первых электронные микроскопы и микроанализаторы – основные инструменты изучения наноминералов и накопил большой опыт в их применении.

Интересные результаты в этой области были получены и в других геологических научно-исследовательских группах (Е. А. Анкинович) (рис. 2, а), которых уже не существует.

Наиболее полно соответствующими современному уровню представлений и терминологии о кластерах и нановеществе можно назвать работы В. Н. Матвиенко с коллегами о наноминеральных формах золота [4] и исследования А. Н. Эсминцева по фуллеренам и тубуленам района Текели (рис. 2, б) [5]. В других и более ранних работах были получены основные данные для идентификации наноминеральных форм вещества. В рудах – работы М. К. Сатпаевой, Н. Л. Раденко, З. Н. Павловой, А. В. Степанова, Н. М. Митряевой и др.; в углеродистом веществе – Г. Б. Паталахи, Л. Г. Марченко; в глинах – работы лаборатории литологии под руководством П. Т. Тажибаевой. Требуется лишь выделить из общих результатов исследований эту ставшую сейчас актуальной часть, описать ее языком современных терминов и дать рекомендации по технологии извлечения нановещества. Для этого необходимы специализированные исследования.

Современные методы и приборы для изучения наноструктурных материалов и наноминералов включают:

ПЭМ – просвечивающая электронная микроскопия (просвечивающий электронный микроскоп в комплекте с аналитической приставкой и программами анализа изображения);

ПЭМ ВР – просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения (просвечивающий электронный микроскоп ВР с аналитической приставкой и программами анализа изображения, с помощью которых можно установить форму, структуру и ее дефекты, число атомных слоев в изучаемых объектах);

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия (сканирующий электронный микроскоп в комплекте с энергодисперсионным спектрометром);

АСМ – атомно-силовая микроскопия в различных ее вариантах;

высокоразрешающий рентгеноструктурный анализ с базой порошковых дифракционных данных Международного центра по дифракционным данным (PDF ICDD) (с постоянным обновлением);

масс-спектрометрия;

ИК-спектроскопия;

ЭПР – электронно-парамагнитный резонанс;

программы для термодинамических расчетов;

компьютерное моделирование для интерпретации изображений ПЭМ ВР.

Уже известны фуллерены, простые и многослойные нанотрубки и стержни, не только углеродные, но и другого состава: металлические, карбидов кремния и переходных металлов, сульфидов молибдена, цинка и др., оксида ванадия и других нитридов бора и титана, платиноидов и др. благородных металлов, металлофуллеренов, фуллеритов (см. рис. 1, а) и др., наноформы более сложного состава. Многочисленные публикации японских исследователей об условиях синтеза наноминералов на сфалеритовой матрице, содержащие данные о составе, Р-Т условиях и морфоструктурах вещества, соответствуют описаниям комплексных руд Жезказганского месторождения в публикациях и отчетах М. К. Сатпаевой [6].

С учетом параметров синтеза нановещества в известных нанотехнологиях следует ожидать формирования наноминеральных и кластерных структур при фазовых изменениях состояния природного вещества, т. е. в основных геологических процессах пороодо- и рудообразования. Первоочередными, перспективными для поисков наноминеральных форм вещества являются следующие объекты и условия:

1) наличие сред и вещества на геологических объектах (месторождениях, местонахождениях, зонах тектонического смятия или гидротермальной переработки), соответствующих средам и веществу, уже используемым для синтеза нановещества в лабораторных условиях;

2) наличие углеродистых или/и углеводородных (лучше циклических, тяжелых алканов) соединений в породах и рудах [7];

3) резкие перепады температур и давлений (эксплозивные высокобарические, инъекционные образования и стекла различного происхождения);

4) наличие прямых признаков наноминеральных компонентов в веществе (рудах или минералах) месторождений:

элементный состав не укладывается в стехиометрические формулы минералов;

содержания элементов выше границ изоморфизма допускаемых структурой минералов;

долгие тщетные поиски самостоятельных минеральных форм «лишних элементов» оптически, а иногда и электронно-микроскопическими методами (нужно знать, что искать и в каких формах встречаются наноминералы);

характерное поведение рудных элементов, хотя и «уложившихся» в принятый минеральный состав и структуры, но «разбегающихся» в технологических процессах добычи и переработки.

Разумеется, это не полный перечень, а только те признаки, по которым можно получить результаты в ближайшее время.

Синтезом наночастиц сейчас активно занимаются как в исследовательских лабораториях разных направлений науки, так и в промышленности, однако многие из этих веществ есть или должны быть в природе.

Новые открытия в минералогии и успехи в технологических процессах переработки минерального сырья [4] позволяют многократно увеличить извлекаемость редких и благородных металлов.

Парадокс заключается в том, что значимая часть синтезируемых наноминералов, необходимых для развития самых бурно развивающихся отраслей промышленности, использует те же металлы, что и получаемые разрушением наноминералов природного происхождения. Это результат образовавшегося разрыва в темпах развития естественных (геология и минералогия) и точных (химия и физическая химия) наук, так необходимых друг другу и исторически тесно связанных.

Опубликована статья Н. С. Бектурганова [7] о проблемах, возможностях и перспективах нанотехнологий. Необходимо отметить, что проблема у нанотехнологий одна и для синтеза вещества, и для использования природных наноминералов – получение чистого вещества в промышленных масштабах и с приемлемыми ценами. Проблема эта, несомненно, будет решена. Разнообразие условий для образования нановещества в природе, безусловно, намного выше, чем в лабораториях. Результаты предлагаемых исследований будут востребованы при любом исходе, который все же определит эконо-

номика. В заключение можно отметить, что сотрудниками ИГН в некоторых месторождениях Казахстана наноминералы уже установлены. Их изучение опередило и ныне принятую терминологию, и ажиотажный спрос на наноматериалы. В настоящее время эти ценнейшие вещества теряются при добыче и переработке традиционных полезных ископаемых, осложняют процессы обогащения. Благодаря упомянутым исследованиям и данным о синтезе и свойствах наноминералов и нановещества есть основания утверждать, что при целенаправленном поиске разнообразные и многочисленные наноминеральные компоненты будут найдены в уже разрабатываемых месторождениях. Это позволит развивать методы прогнозирования и поиска наноминеральных компонентов в полезных ископаемых или самих наноминералов как нового вида полезных ископаемых. Необходимо ликвидировать «отставание в нанотехнологиях, в материальной базе, и в целенаправленности работ на производство, на бизнес» [7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы годичного собрания ВМО (май 1995 г.) по теме «Дисперсное и ультрадисперсное состояние минерального вещества (проблемы конституции, изучения, технологии)». М.: Наука, 1995. 285 с.

2. Юшкин Н. П., Павлович В. И., Асхабов А. М. Ультрадисперсное состояние минерального вещества и проблемы минералогии // Минералогический журнал. 2003. Т. 25, № 4. С. 7-30.

3. Немцевич Л. В., Шадров В. Г. Нанокристаллические ферромагнетики – новый класс магнитомягких материалов // Успехи современной радиоэлектроники. 2003. №3. С. 62-72.

4. Матвиенко В.Н., Калашиков Ю.Д., Нарсеев В.А. Кластеры – протоформы нахождения драгметаллов в рудах минерализованных пород // Руды и металлы. 2005. № 5. С. 28-36.

5. Шабанова Т.А., Эсминцев А.Н. Электронно-микроскопическое изучение структур природного углеродистого веще-

ства месторождения Текели // Материалы III международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов/наноинженерия». Алматы, 2004. С. 211-214.

6. Сатпаева М.К. Руды Джекказгана и условия их формирования // Алма-Ата: Наука КазССР, 1985. 208 с.

7. Наука и высшая школа Казахстана. 2006. № 7(125). С. 4-5.

*Институт геологических наук  
им. К. И. Сатпаева МОН РК,  
г. Алматы*

*Поступила 2.06.06г.*