

УДК 666.263:666.9.015:55(075.8)

## СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.И. Верещагин, Л.П. Рихванов, Ю.С. Саркисов\*, Ю.Ф. Асосков\*\*, А.П. Смирнов

Томский политехнический университет

\*Томский государственный архитектурно-строительный университет

\*\*ООО «Завод крупнопанельного домостроения Томской домостроительной компании»

E-mail: vver@tpu.ru

*В развитие идей А.Е. Ферсмана и с позиций синергетики рассматриваются различные аспекты приложения геологических и геохимических знаний к разработке технологий искусственных материалов с заранее заданными свойствами. Показано, что закономерности физических и химических процессов, определяющих зарождение и эволюцию структур геологических объектов, имеют большой трансдисциплинарный потенциал при решении проблем техногенеза промышленной деятельности.*

### Ключевые слова:

*Синергетика, строительные материалы, композиционные материалы, геохимические процессы, геоника, технологии, наноматериалы.*

### Key words:

*Synergy, constructional materials, composite materials, geochemical processes, technologies, nanomaterials.*

Синергетика как учение о взаимодействии отдельных частей и целого, целого и окружающей среды позволяет по-новому организовать процесс познания объектов живой и неживой природы, выявлять и устанавливать законы самоорганизации и коэволюции даже самых сложных систем [1]. Значимость синергетики – в ее меж-, поли- и трансдисциплинарности [2]. Междисциплинарность предполагает кооперацию различных научных областей знания в изучении того или иного явления. Полидисциплинарность предусматривает одновременное исследование одного и того же объекта с разных сторон различными научными дисциплинами. Трансдисциплинарное исследование характеризуется переносом познавательных схем, идей, закономерностей из одной научной дисциплины в другую. Синергетика – это основа для возникновения и развития новых научных направлений в самых различных областях знания.

Наиболее полно все эти подходы реализованы в настоящее время в бионике – самостоятельном направлении в науке и технике, целью которого является осознанное применение достижений биологических наук в решении инженерных задач и развитии техники [3]. Конструирование деталей, узлов, механизмов и машин наподобие живых структур стало возможным, благодаря становлению и развитию современной биологической картины мира.

Нам представляется, что назрела необходимость в выделении подобного направления в геологии, когда на основе глубокого обобщения, всестороннего изучения и использования фундаментальных геологических и геохимических знаний закономерностей формирования структур объектов естественного происхождения можно разрабатывать технологии искусственных материалов полифункционального назначения.

А.Е. Ферсман [4], отмечая, что промышленная деятельность человека в настоящее время по масштабу перемещения и использования химических элементов становится соизмеримой с действием факторов геологического и геохимического порядка, разделил все основные типы геохимических реакций на следующие виды: сжигание С, Н, S в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ; выплавка из окисленных и сернистых соединений металлов (Fe, Cu, Al, Zn, Pb и др.); перемещение и создание устойчивых строительных или дорожных материалов; промышленное использование редких и дисперсных элементов; химическая переработка природных солей (растворимых, с большими кларками). А.Е. Ферсман впервые обратил внимание на то, что пути освоения данных геохимических реакций в промышленности подобны природным.

Таким образом, физические и химические процессы, определяющие зарождение и эволюцию структур геологических объектов, с одной стороны, и, например, искусственных систем типа «цемент – вода», с другой стороны, имеют, по-видимому, огромный трансдисциплинарный потенциал [5, 6].

Анализируя геологическую историю развития Земли [7, 8], особенно в ранние периоды её развития [9], и опираясь на закономерности геохимических процессов, можно выявить огромную роль углекислого газа в формировании состава, структуры и разнообразия протоминералов, образующих литосферу, а также его влияние на процессы, протекающие в системе «вода – горная порода».

Следует заметить, что в условиях повышенных давлений и температур прошлых лет орто-форма угольной кислоты  $\text{C}(\text{OH})_4$  была более устойчивой, чем метаугольная кислота  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Учитывая, что орто-форма угольной кислоты во многом поли-

морфна и изоструктурна ортокремниевой кислоте  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , процесс осаждения кремнегеля и гелевидных соединений гидроксидов первичных металлов происходил более интенсивно и с более глубокой степенью превращения. Угольная кислота, как более сильная по сравнению с кремниевыми мета-, орто- и поликислотами, вытесняла различные формы ионов кремния из силикатических и симатических пород с последующим образованием гидрогеля кремниевых кислот, а также  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , известняков и доломитов.

Процесс растворения значительно усиливался возбуждением и переходом в активированное состояние молекул  $\text{CO}_2$  за счет поглощения квантов электромагнитного поля в условиях интенсивно протекающих электроразрядных и пьезоэлектрических явлений в недрах Земли и ее атмосфере. Это способствовало практически полному растворению кварца и других минералов. Непрерывное взаимодействие воды, углекислого газа и протоминеральных пород приводило к формированию и периодической смене минеральных фаз как в качественном, так и в количественном отношении. В результате менялся не только состав твердой фазы, но и состав самой водной среды. Последняя, будучи равновесной к одной группе минералов, становилась неравновесной по отношению к другой группе минералов. Чередование этих процессов растянуто во времени, но носит затухающий характер. Равновесно-неравновесный фактор [5] выступает в этом случае как движущая сила процесса.

Таким образом, отмеченные выше особенности превращают систему «вода –  $\text{CO}_2$  – первичные симатические и силикатические породы» в одну из важнейших в геологической истории развития Земли. Все последующие этапы эволюции системы «вода – горная порода» вплоть до наших дней следует рассматривать как самоорганизацию этой системы. Очевидно, последовательность превращений  $\text{CO}_2 \rightarrow$  электромагнитные излучения и поля, давление и температура  $\rightarrow$  возбужденные молекулы  $\text{CO}_2 \rightarrow$  вода  $\rightarrow$  ортоугольная кислота  $\rightarrow$  гидроксил-ионы  $\rightarrow$  кремнийсодержащие породы  $\rightarrow$  кремнегель можно считать одной из центральных в геохимическом отношении и фундаментальной основой природных золь-гель процессов.

Влияние  $\text{CO}_2$  на формирование искусственных систем изучалось и использовалось на практике ранее. Так, в работе [10] исследовано влияние углекислого газа на гидратацию алюмоферритов кальция. Для получения необходимой среды при проведении этих экспериментов пропускали  $\text{CO}_2$  через воду затворения и воду, в которой хранились образцы. Авторами данной работы установлено, что в твердых остатках гидратированных в присутствии углекислого газа образцов  $\text{C}_4\text{AF}$  обнаруживаются фазы  $\text{AH}_3$  и  $\text{CaCO}_3$ , не характерные для обычной гидратации четырехкальциевого алюмоферрита. При этом, как оказалось, гидроферриты кальция в

этих условиях образуются в более ранние сроки, чем при твердении в чистой воде. Периодическое чередование структур, состава образующихся фаз, скорости процессов обусловлены действием равновесно – неравновесного фактора, так как система «клинкерный минерал –  $\text{CO}_2$  – вода» также способна к самоорганизации и последующей эволюции подобно природной, рассмотренной выше.

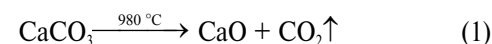
Таким образом, присутствие угольной кислоты в жидкой фазе при гидратации минералов алюмоферритного ряда влияет не только на кинетику гидратации, ускоряя процессы, но и на состав и последовательность образования гидратных фаз. Очевидно, что диссипативное состояние системы «клинкерный минерал –  $\text{CO}_2$  – вода» зависит от активности молекулы  $\text{CO}_2$ . Избыточная концентрация активированной электромагнитным полем угольной кислоты, повышенные давление и температура могут привести к образованию солей не только кремниевых кислот и кремнегеля, но и  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , что в корне может изменить механизм формирования структур твердения и привести к возникновению совершенно отличных по своему составу и строению гидратных фаз по сравнению с контрольной системой «цемент – вода».

Нам представляется интересным предложение по разработке технологий получения строительных и композиционных материалов при использовании цепочки превращений, инициируемых не только углекислым газом, но и другими газами, такими как  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ , оксиды азота и серы, сероводород и другие. Большие перспективы имеет применение при создании новых материалов природнобалансированных структурообразующих добавок.

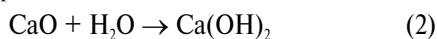
Таким образом, изучая механизм процессов, лежащих в основе формирования структуры и свойств природных материалов, можно с успехом применять выявленные еще А.Е. Ферсманом геохимические закономерности при создании искусственных каменных и других материалов. Считаем целесообразным весь комплекс исследований в этом направлении со времен А.Е. Ферсмана и до наших дней объединить под названием геоника. Следуя логике геоники, резонно было бы предположить возможность создания новых прогрессивных золь-гель технологий в строительном и техническом материаловедении, основанных на глубокой химической переработке минерального сырья.

Очень важно отметить, что принципы геоники позволят не только обобщить достижения геологических наук, но и строить на их основе новую методологию создания искусственных материалов.

Например, известно, что известняки представляют собой прочную породу неправильной геометрической формы. Чтобы получить прочный камень правильной геометрической формы, в практику внедрена технология получения искусственного каменного материала по схеме, приведенной в работе [11].



природный  
каменный  
материал



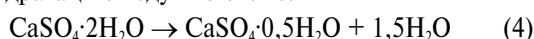
искусственный  
каменный  
материал

включающей стадии обжига (1), гашения извести (2) и карбонизации (3).

Методологический принцип, отраженный в данном примере, основан на идее использовать природный камень определенного состава, затем разрушить его путем обжига на составляющие и вновь сформировать искусственный камень этого же состава, но уже правильной формы.

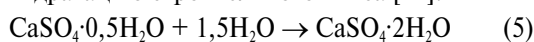
Другим примером применения геонических принципов в искусственных материалах является процесс получения и твердения гипса.

Природный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  подвергают термообработке при  $180^\circ\text{C}$ , удаляя из него часть воды. Дегидратацию ведут по схеме:



Природный гипс

Получение искусственного гипсового камня заданной формы ведут по обратной схеме, осуществляя гидратацию строительного гипса [12].



Искусственный гипс

Необходимо заметить, что приведенные упрощенные схемы получения известнякового и гипсового камней не отражают всей сложности физико-химических и технологических процессов на практике, но важны в методологическом отношении.

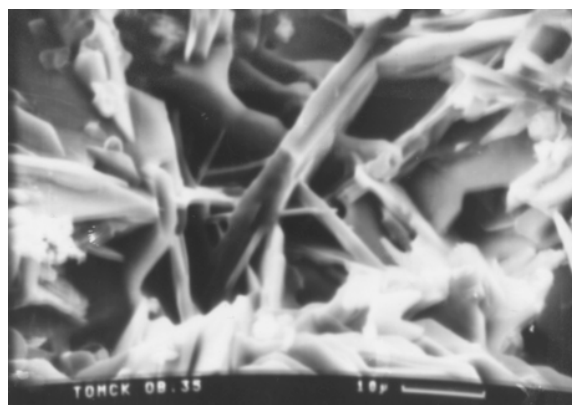
Очевидно, что, используя эту методологию, можно аналогично поступать не только с карбонатами кальция, но и с карбонатами других металлов (магния, бария и других), не только с гипсом, но и, например, с кизеритом  $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , не только с кристаллогидратами сульфатов, но и хлоридов, фосфатов и т. д.

Объединяет эти два методологических подхода принцип П.А. Ребиндера «прочность через разрушение», хорошо известный в физико-химической механике дисперсных структур [13]. В самой физико-химической механике также можно найти множество примеров применения геонических принципов – до сих пор не осознаваемых как геонические.

Заслуживает пристального внимания, на наш взгляд, пример применения геонических принципов при разработке технологий получения керамических материалов на основе синтезированных волластонитовых структур с одновременным вве-

дением в систему добавок природного волластонита [14]. Таким образом, удалось решить одну из актуальных проблем устранения температурных усадочных напряжений, так как температурные коэффициенты линейного расширения природного и искусственного волластонита, как оказалось, практически не отличались между собой. Весьма сложной проблемой экологической геохимии является вопрос о сохранении радиоактивных отходов атомной энергетики.

До последнего времени эта проблема считалась чисто технической, однако геохимический анализ показал, что для захоронения отходов на многие тысячелетия необходима такая поглощающая их среда, которая не разрушалась бы при взаимодействии с грунтовыми водами и не давала бы им возможности выщелачивать радионуклиды. Должны быть также определены те геологические породы и условия, в которых возможность соприкосновения радиоактивных отходов с грунтовыми водами была бы минимальной. Известный австралийский геохимик А.Е. Рингвуд [15] сообщил о создании титановой керамики, представляющей собой термодинамически устойчивую ассоциацию из четырех природных минералов: холландита ( $\text{Ba(Al,Ti)}_2\text{Ti}_6\text{O}_{16}$ ), цирконолита ( $\text{CaZrTi}_2\text{O}_7$ ), перовскита ( $\text{CaTiO}_3$ ) и рутила ( $\text{TiO}_2$ ). Эта керамика – синрок – способна изоморфно поглощать почти все радиоактивные элементы, содержащиеся в отходах атомной энергетики. Вместе с тем, для захоронения радиоактивных отходов должны выбираться породы с наименьшей пористостью и проницаемостью.



**Рисунок.** Игольчатые структуры модифицированной алюмонитридной керамики

Применяя природнобалансированную структурообразующую добавку, авторам [16] удалось получить керамику на основе алюмонитридных систем с широким диапазоном электрофизических, физико-механических, термических и других свойств. В полученной керамике упрочняющие структуры – пластины, иглы, волокна – выращены непосредственно в процессе спекания при температурах до  $2073\text{ K}$  в среде азота без предварительного введения в шихту игл волокон и усов природного происхождения (рисунок). Исследование свойств синтезированной керамики показало, что

его прочность на изгиб достигает 600 МПа, твердость по Виккерсу – до 1200, плотность – до 3 г/см<sup>3</sup> (98 % от теоретической). По этим параметрам такая керамика не уступает нитридным керамикам, полученным фирмой «Тошиба» (Япония).

Будущее в развитии технологий искусственных материалов с уникальными свойствами связано с

комбинированием и осознанным применением геонических и бионических принципов материаловедения. Успехи в создании «умных» материалов, в том числе основанных на использовании наноразмерных эффектов [17], во многом зависят от глубины проникновения человека в тайны Природы на микро-, мезо-, макро- и мегауровнях её организации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействиях. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 300 с.
2. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики. Человечество, конструирующий себя и свое будущее. – М.: Комкнига, 2007. – 232 с.
3. Захаров В.Б., Мамонтов С.Г., Сивоглазов В.И. Биология: Общие закономерности. – М.: Школа – Пресс, 1996. – 624 с.
4. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 3. – Л.: ОНТИ – Химтеорет, 1937. – 593 с.
5. Шварцев С.Л. Геологическая система «вода – порода» // Вестник РАН. – 1997. – Т. 57. – № 6. – С. 518–523.
6. Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Семенова Г.Д. Информационные взаимодействия в системе «цемент – вода» // Техника и технология силикатов. – 2004. – № 1–2. – С. 9–16.
7. Грушевицкая Т.Г., Садохин А.П. Концепции современного естествознания. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2003. – 670 с.
8. Гаврилов В.П. Путешествия в прошлое Земли. – М.: Недра, 1976. – 144 с.
9. Рид Г., Уотсон Дж. История Земли. Ранние стадии истории Земли / Пер. с англ. – Л.: Недра, 1981. – 290 с.
10. Самченко С.В., Суворова А.А. Влияние CO<sub>2</sub> на гидратацию алюмоферритов кальция // Техника и технология силикатов. – 2005. – Т. 2. – № 3–4. – С. 31–35.
11. Батитон У. Химия и технология извести. – М.: Стройиздат, 1972. – 280 с.
12. Волженский А.В., Ферронская А.В. Гипсовые вяжущие и изделия. – М.: Стройиздат, 1974. – 578 с.
13. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. Избранные труды. – М.: Наука, 1979. – 384 с.
14. Смирнская В.Н., Антипина С.А., Верещагин В.И. Структура и свойства термосиликатного материала с использованием волластонита Синюхинского месторождения // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – № 10. – С. 40–43.
15. Таусон Л.В. Современные проблемы геохимии техногенеза // Геохимия техногенных процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 5–9.
16. Рихванов Л.П., Поцелуев А.А., Советов В.М., Добрикова Г.В., Гузев В.В. Природнобалансированная структурообразующая добавка для производства высокотемпературной керамики // Проблемы современных материалов и технологий. Производство наукоемкой продукции: Тезисы докл. V Междунар. конф. – Пермь, 1993. – Ч. 2. – С. 31–32.
17. Суздаев И.П. Многофункциональные наноматериалы // Успехи химии. – 2009. – Т. 78. – № 3. – С. 266–301.

*Поступила 23.09.2009 г.*