



УДК 544, 666

С. А. Кириллова, В. И. Альмяшев, О. В. Альмяшева
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Физическая химия – основа новых материалов и технологий

Рассмотрены основы физико-химического конструирования новых функциональных материалов, базирующиеся на использовании физико-химических моделей, устанавливающих связь между изотопным, элементным, химическим и фазовым составами, строением и свойствами химических соединений, веществ и материалов, в том числе наноструктурированных. Представлены примеры создания новых материалов, перспективных для использования в атомной энергетике, катализе, медицине.

Физическая химия, физико-химическое конструирование материалов, пассивная система безопасности АЭС, жертвенные материалы, катализ, биосовместимые материалы

Вплоть до середины XVIII в. миры химии и физики были разделены четкой границей. Впервые эти науки обрели пересечение в труде М. В. Ломоносова «Курс истинной физической химии», вышедшем в 1752 г. (рис. 1), где он вводит следующее определение: «Физическая химия есть наука, дающая объяснение на основании физических начал и опытов тому, что происходит при смешении тел вследствие химических операций» [1]. М. В. Ломоносов, заложив основы новой науки, предвосхитил ее развитие более чем на век. Как самостоятельная наука и учебная дисциплина физическая химия утвердилась лишь во второй половине XIX в. В России в этот период начинают активно развиваться исследования в области физической химии. Ярким примером таких работ является докторская диссертация Д. И. Менделеева «Рассуждение о соединении спирта с водой», посвященная физической химии растворов [2]. В 1865 г. Н. Н. Бекетов начинает читать курс физической химии для студентов Харьковского университета. В конце XIX в. центром развития физической химии становится Лейпцигский университет (Германия). В нем работают выдающиеся физикохимики, такие как В. Оствальд, Я. Х. Вант-Гофф, С. Аррениус, В. Г. Нернст. В 1887 г. учреждается первая в мире

кафедра физической химии, которую возглавляет В. Оствальд. В этом же году В. Оствальдом и Я. Х. Вант-Гоффом выпускается в свет первый научный журнал по физической химии. На стыке XIX и XX вв. в Электротехническом институте Н. С. Курнаковым открывается лаборатория физической химии, где закладываются основы нового важнейшего в фундаментальном и прикладном плане направления – физико-химического анализа и разрабатывается инструментальное обеспечение для решения возникших задач (пирометр Курнакова). Первая в России кафедра физической химии открывается в 1914 г. на физико-математическом факультете Санкт-Петербургского университета. Лекции и практикум ведет М. С. Вревский – ученик выдающегося русского физикохимика Д. П. Коновалова.

За историю своего существования физическая химия превратилась из небольшого ответвления химической науки в наиболее обширный и разнообразный ее раздел. Результаты, полученные с использованием методологии физической химии, являются фундаментальным и прикладным базисом для создания новых материалов и новых химических технологий. Яркими примерами реализации стратегически значимых для страны материалов и технологий, основанных на физико-

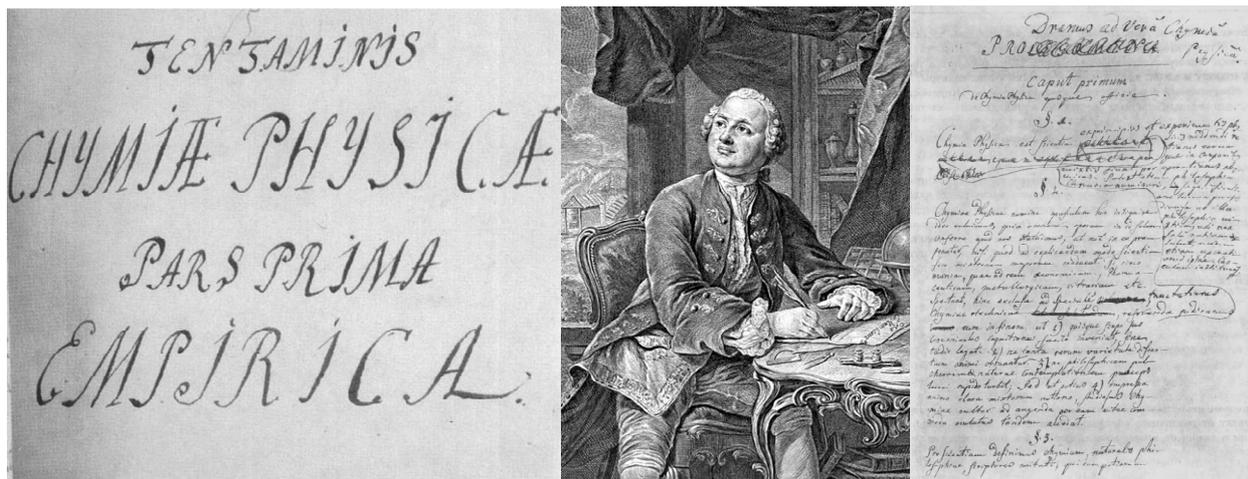


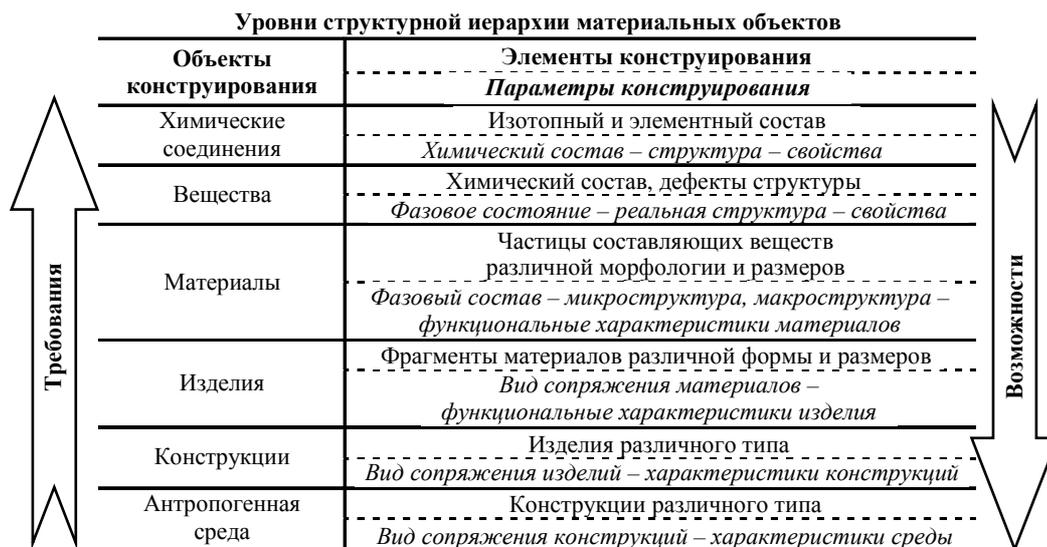
Рис. 1

химических принципах, являются успехи отечественных научных школ, многие годы работавших и готовивших специалистов в Электротехническом институте под руководством Н. С. Курнакова (физико-химический анализ и его использование для эффективного осваивания калийных месторождений и месторождений драгоценных металлов), И. В. Гребенщикова (физикохимия силикатных систем, технология оптического стекла, технология пористых стекол), А. А. Кракау, Н. А. Пушина, П. Ф. Антипина, А. Ф. Алабышева (теория и практика электролитического получения легких металлов), Б. Ф. Ормонта (физикохимия полупроводниковых материалов) и др. Многие выпускники электрохимического отделения стали выдающимися учеными с мировым признанием. К сожалению, в 30-е гг. XX в. непродуманная реформа высшего образования и стратегические ошибки новой администрации вуза явились причиной закрытия выпускающих кафедр химического профиля, что привело к сворачиванию научной деятельности химического и материаловедческого направления. В начале XXI в. на кафедре физической химии СПбГЭТУ «ЛЭТИ» была открыта оригинальная магистерская программа «Биосовместимые материалы». Это активировало научную деятельность в области физической химии материалов, в том числе, биомедицинского назначения.

Традиционно при создании нового материала отталкиваются от уже известных химических композиций, несколько изменяя их состав и условия обработки. Структурное многообразие, обусловленное как строением, так и организацией телесных областей фаз в объеме поликристаллических тел, делает этот подход довольно эффек-

тивным. Однако число и многообразие неорганических веществ велико и продолжает увеличиваться. Постоянно ведется поиск новых веществ и технологий их преобразования в материал. Данный процесс, довольно естественный, если следовать известным принципам и технологиям, при бессистемной попытке отступить от привычной последовательности действий становится крайне запутанным. В этом случае для достижения цели необходимо опираться на закономерности, вытекающие из общности физико-химической природы разнородных процессов и материалов.

Любой материал может быть рассмотрен как занимающий определенный уровень в структурной иерархии материальных объектов [3]. Самым фундаментальным уровнем любого материального объекта является уровень химического соединения, который определяется выбором элементного (а иногда и изотопного) состава и на котором можно анализировать химический состав, идеализированную структуру и ее свойства. На следующем уровне принимается во внимание фазовое состояние и свойства реальной структуры выбранного вещества. В качестве следующих иерархических уровней принято выделять микро- и макроструктуру материала. Указанные уровни в большинстве случаев оказывают определяющее влияние на выбор того или иного варианта. Следующие уровни иерархии – структура изделий и конструкций – не связаны непосредственно с моделированием поведения материала, но тем не менее определяются характеристиками материалов, обеспечивающих определенный уровень прочности, жесткости, пластичности, вязности и т. п. отдельных элементов и всей конструкции в целом. В последнее время в связи с ростом горо-



дов, увеличением мощности производств и, как следствие, появлением множества техногенных проблем все большее значение приобретает анализ качества сопряжения конструкций на уровне антропогенной среды. Все рассмотренные уровни структурной иерархии имеют четкую взаимосвязь с точки зрения обеспечения потенциальных возможностей и формирования требований. При осуществлении неудачного выбора на уровнях высшего порядка крайне сложно, а порой и вовсе не представляется возможным обеспечить необходимые требования, несмотря на возрастающее поле возможностей по мере продвижения по иерархическим уровням. Именно поэтому разработку нового материала принципиально важно начинать с наиболее фундаментального уровня (рис. 2).

При решении материаловедческих задач, следуя по уровням структурной иерархии материала, необходимо опираться на совокупность фундаментальных *физико-химических принципов*:

- периодичности изменения свойств химических элементов, расположенных в порядке возрастания атомного номера, и их соединений (Периодический закон Менделеева);
- химического и структурного подобия;
- физико-химического анализа: непрерывности, соответствия, совместимости компонентов равновесной системы и ограничения числа независимых параметров состояния в равновесной системе;
- последовательного усложнения химического и фазового состава и строения системы;
- стремления к равновесию в замкнутой системе или стационарному состоянию в открытой системе;

– неавтономности состояния системы в пространстве, ограниченном размерами, меньшими размеров критического зародыша фазы (строение и свойства вещества в неавтономном состоянии отличаются от строения и свойств вещества того же состава в автономном состоянии);

- влияния предыстории системы на ее структуру и свойства в неравновесном состоянии;
- многообразия метастабильных состояний.

Изначально все перечисленные принципы равноправны, но при реализации конкретной задачи обычно выделяется один или несколько принципов, которые представляются наиболее существенными. При этом по мере решения задачи следует обращаться к системе принципов и, если это необходимо, менять их приоритеты, а также возвращаться к более фундаментальным уровням иерархии, если в рамках сделанного выбора задача не поддается решению.

Итак, решение проблем создания неорганических материалов с заданными свойствами и разработки рациональной технологии, позволяющей воспроизводимым образом в значимых количествах получать указанные материалы, требует применения системного подхода. Пример схемы критического анализа, иллюстрирующей пользу систематизации и выработки системы критериев, приведен на рис. 3 [4].

При решении обозначенных проблем на уровне материала целесообразно, опираясь на систему фундаментальных физико-химических принципов, следовать по всем ступеням иерархической лестницы, а на уровне технологии необходимо ориентироваться на систему факторов, определяющих мини-



Рис. 3

мум энергетических, трудовых, материальных затрат, а также затрат, связанных с ограничениями, накладываемыми необходимостью проведения природоохранных мероприятий.

Причины необходимости развития фундаментального подхода к созданию новых материалов и технологий лежат во все возрастающем разрыве между ресурсами, которыми располагает человечество, и потребностями отдельной личности. С

одной стороны, природные ресурсы постепенно истощаются или требуют для своего возобновления крайне высоких затрат. С другой стороны, потребности отдельной личности в увеличении продолжительности жизни, комфортном жилье, высококачественном питании, полноценном образовании, духовном и культурном развитии растут. Создание и эффективное использование новых материалов и технологий – единственно возмож-

ный путь решения стоящих перед человечеством глобальных задач и вызовов. Физико-химический подход представляет собой универсальный и мощный инструмент, который позволяет обеспечить фундаментальную поддержку необходимых темпов решения указанных проблем.

В качестве примеров реализации рассмотренного физико-химического подхода к конструированию новых функциональных материалов можно привести три разработки группы химического конструирования материалов, включающей коллективы кафедры физической химии СПбГЭТУ «ЛЭТИ», кафедры физической химии СПбГТИ (ТУ), лаборатории новых неорганических материалов ФТИ им. А. Ф. Иоффе, отдела исследования тяжелых аварий НИТИ им. А. П. Александрова, в той или иной степени прошедшие алгоритм, приведенный на рис. 3.

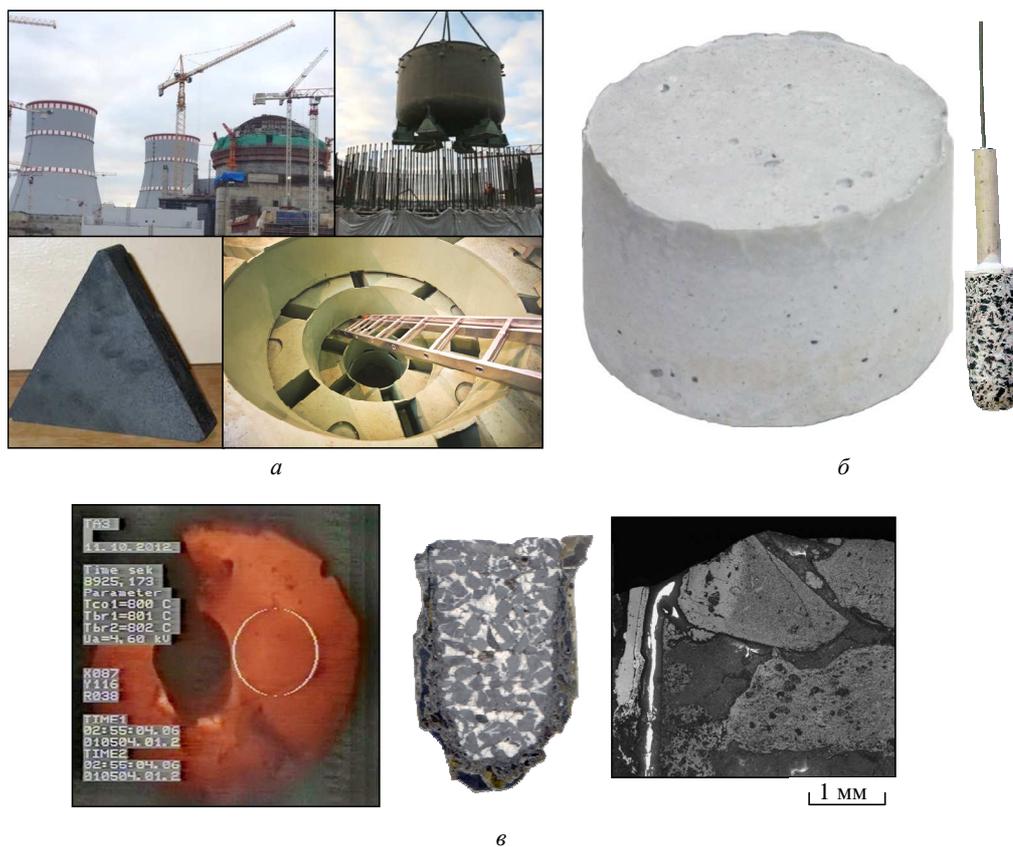
Одним из необходимых элементов систем безопасности атомных электростанций нового поколения являются так называемые пассивные системы безопасности, работа которых не зависит от энергообеспечения, квалификации персонала и приводящих обстоятельств, а обеспечивается лишь фундаментальными физико-химическими принципами, лежащими в основе работы такой системы. Как известно из истории эксплуатации АЭС, наибольшую опасность представляют аварии с расплавлением активной зоны ядерного реактора, приводящие к большим социальным и экономическим потерям, а также к экологической катастрофе в региональном и, опосредованно, мировом масштабе. Одним из путей решения данной проблемы является создание пассивных систем локализации расплава, в основе работы которых лежит функциональный наполнитель (так называемый жертвенный материал), меняющий свойства расплава активной зоны таким образом, чтобы гарантированно обеспечить его локализацию в пределах специального устройства (так называемой ловушки расплава), устанавливаемого под реактором при строительстве АЭС. Для устройств локализации расплава проектов отечественных реакторов типа ВВЭР и корейских реакторов EU-APR1400 были разработаны жертвенные материалы, отвечающие необходимым требованиям [5], [6]. На основании анализа возможных сценариев протекания тяжелых аварий для соответствующих проектов АЭС были сформулированы требования к жертвенным материалам устройств локализации расплава активной зоны и дан сравнительный анализ потенциальных компонентов и их композиций. Проведенная мно-

гокритериальная экспертная оценка возможных вариантов показала, что на существующем уровне знаний о физико-химических процессах взаимодействия расплава активной зоны с материалами наиболее перспективной для получения композиции жертвенных материалов является система: $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{Fe}_3\text{O}_4)\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}$ – для устройства локализации расплава реакторов ВВЭР; $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-SrO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-Fe}$ – для устройства локализации расплава реакторов EU-APR1400.

На следующем этапе выбора состава композиции проведен термодинамический анализ процесса взаимодействия расплава активной зоны с компонентами композиции жертвенных материалов и установлен диапазон соотношений компонентов, приемлемый с точки зрения минимизации газовыделения и максимизации теплопоглощения в системе при условии полного окисления наиболее активных восстановителей, входящих в состав расплава активной зоны – Zr и U. Выполнен анализ влияния состава оксидного жертвенного материала на процесс пространственной инверсии металлической и оксидной составляющих расплава в устройствах локализации расплава активной зоны, показавший, что условие пространственной инверсии оксидной и металлической составляющих расплава соблюдается для всего диапазона выбранного состава жертвенного материала с большим запасом.

Разработана технология жертвенных материалов (для проекта ВВЭР выбрана керамическая технология [5], [7], для проекта EU-APR1400 – бетонная [6]). Исследован состав, строение, прочностные и теплофизические свойства изготовленных по разработанной технологии жертвенных материалов, а также выполнена экспериментальная проверка их функциональных характеристик. На рис. 4 представлены промышленно изготовленное изделие из оксидного жертвенного материала для реакторов ВВЭР (производитель – ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров») и ловушка расплава, установленная на ЛАЭС-2 (рис. 4, а), бетонный блок и экспериментальные образцы из жертвенного материала для реакторов EU-APR1400 (рис. 4, б) и результаты экспериментального исследования взаимодействия жертвенного материала с расплавом активной зоны (рис. 4 в).

На основании полученных данных о скорости взаимодействия жертвенного материала с металлической и оксидной составляющими расплава активной зоны и структуре границы взаимодей-



в

Рис. 4

ствия сделано заключение, что процесс взаимодействия материала с расплавом активной зоны может быть описан в рамках теории горения. Таким образом, обнаружен новый вид горения – жидкофазное горение на границе «твердый окислитель – жидкий восстановитель» (жертвенный материал – расплав активной зоны ядерного реактора). Показано, что при определенных условиях процесс взаимодействия оксидного материала с расплавом, содержащим активные восстановители, может приводить к поглощению тепла [8], [9]. Разработанные модели жидкофазного горения жертвенного материала были использованы при анализе физико-химических процессов в устройстве локализации расплава и разработке программных кодов для моделирования этих процессов.

В [10], [11] был описан и теоретически обоснован эффект стабилизации аморфного состояния вещества путем включения наночастиц в матрицу на его основе (рис. 5, а). Исследование свойств подобного нанокompозита «наночастицы ZrO_2 – аморфная матрица Al_2O_3 » показало, что такие материалы обладают необычно высоким уровнем каталитической активности и термостабильности (рис. 5, б) [12]. С применением физико-химического подхода на основе композиции «наноча-

стицы ZrO_2 – аморфная матрица Al_2O_3 » был создан и исследован катализатор окисления водорода, обладающий каталитической активностью, сравнимой с лучшими Pt/Pd-катализаторами, а по ряду показателей и превосходящий их (рис. 5, в) [13], [14]. Катализатор окисления водорода с подобными характеристиками весьма перспективен для использования в системах водородной безопасности, в связи с чем авторами была разработана и оптимизирована технология такого материала. Так как разработанный катализатор относится к разряду катализаторов окисления, потенциально он может быть перспективен для систем каталитического окисления CO, в частности в автомобилестроении.

В ходе термохимического исследования десорбции и адсорбции воды на поверхности нанопорошков на основе ZrO_2 , проведенного в [15], была показана потенциальная возможность применения этого нанопорошка в устройствах аккумулирования тепловой энергии. На основании анализа результатов работы [16], посвященной исследованию влияния наночастиц на основе ZrO_2 в их водной дисперсии на предельную плотность теплового потока, отводимого кипящей жидкостью от теплообменной поверхности, авто-

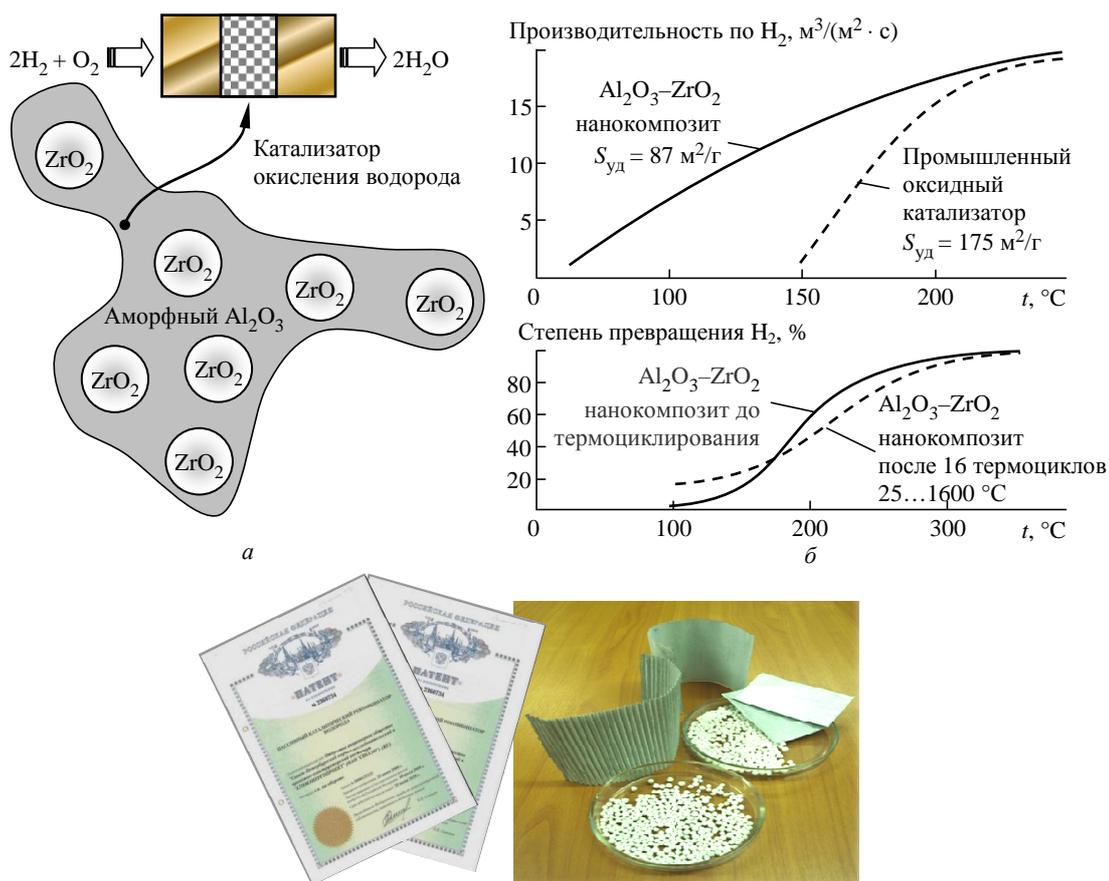


Рис. 5

ры показали иерархическое строение формирующегося на поверхности нагрева в процессе кипения слоя наночастиц, следствием чего стало повышение критической плотности теплового потока до перехода от пузырькового режима кипения к пленочному.

В [17], [18] получены и исследованы полимерные наноконкомпозиты, содержащие в качестве включений оксидные наночастицы различного состава и морфологии: нанокристаллы изометрической формы на основе диоксида циркония, гидросиликатные нанотрубки и нанопластины. Полученные результаты показали перспективность использования оксидных наночастиц для повышения механических, термических и транспортных свойств полимерных материалов. В частности, была показана перспективность применения полимерных наноконкомпозитов, содержащих гидросиликатные нанотрубки для создания мембран, используемых в процессах первапарации и обладающих повышенной селективностью и производительностью.

Таким образом, обобщая полученные результаты по синтезу и исследованию свойств наносистем, следует отметить, что решающая роль химического

взаимодействия в формировании наночастиц и наноконкомпозитов требует развития методов химического конструирования наноматериалов.

Неотъемлемой частью передовых исследований в области материаловедения, биологии и медицины является разработка материалов на основе фосфатов кальция (ФК) [19]. Современные методики лечения требуют от биоматериалов быстрого растворения в организме и замещения имплантата костной тканью (биорезорбируемость). Чистый гидроксипатит (ГАП – $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), активно используемый ранее, является биорезистивным материалом, т. е. он сопротивляется растворению в организме при имплантации, поэтому в настоящий момент многие исследования направлены на изучение других, более резорбируемых фосфатов кальция как в качестве однофазных материалов, так и в виде композитов. Причем важную роль играет дисперсность компонентов таких материалов. Среди наиболее изученных и широко применяемых резорбируемых материалов можно отметить материалы на основе трехкальциевого фосфата (ТКФ – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) и на основе биостекол. Пирофосфат кальция (ПФК – $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$), а также

керамические композиционные материалы (нанокерамика), содержащие ПФК, в качестве биоматериала недостаточно изучены.

Концепция бифазных материалов системы ГАП–ТКФ была разработана, исходя из предположения о возможности регулирования кинетики резорбции путем изменения соотношения менее (ГАП) и более (ТКФ) растворимых фаз в одном материале. Повышение биоактивности керамики на основе ГАП может быть достигнуто применением материалов, содержащих в качестве резорбируемой фазы ТКФ. В качестве альтернативных резорбируемых фаз рассматриваются ПФК, полифосфаты кальция, фосфатные стекла, карбонат кальция, а также ренанит (двойной фосфат натрия кальция – NaCaPO_4) [20], [21]. Двойные фосфаты кальция и щелочного металла обладают более высокой растворимостью по сравнению с ТКФ благодаря замещению иона Ca^{2+} на ион с большим радиусом и/или меньшим зарядом. Двойные фосфаты обычно получают при высокой температуре (выше 600°C) взаимодействием ФК и соединения щелочного металла.

Резорбируемые материалы на основе фосфатов кальция в организме замещаются растущей костью, так как являются источником необходимых для построения костной ткани элементов. Таким образом, получение новых керамических наноматериалов на основе двойных фосфатов кальция, обладающих высокой резорбируемостью, является актуальной задачей современного медицинского материаловедения.

В [22] показано, что синтезированные методом гидротермальной обработки нанопорошки фосфатов кальция могут быть использованы для получения биосовместимых нанокерамических композиционных материалов, содержащих биорезорбируемую фазу, – двойных фосфатов кальция натрия,

таких как $\text{Ca}_{10}\text{Na}(\text{PO}_4)_7$, $\beta\text{-NaCaPO}_4$, $\text{Na}_3\text{Ca}_6(\text{PO}_4)_5$. Предложенный способ синтеза позволил получить как плотную нанокерамику, так и пористую, в зависимости от условий термообработки. Микротвердость полученных образцов нанокерамики сопоставима со значениями, приведенными в литературе.

В ходе экспериментов *in vitro* показано, что нанокерамика с подобными фазовым и элементным составами и микроструктурными параметрами может рассматриваться как биорезорбируемая. Уровень pH в изотоническом растворе после обработки нанокерамики на основе двойных фосфатов близок к нейтральному и составляет около 7–8 (образцы керамики, обожженные при 1100°C), что делает их пригодными для дальнейших биологических испытаний. Наблюдаемый тип структурных элементов (рис. 6: *a* – «переплетенные снопы»; *b* – «яблочные огрызки»; *в* – «сцепленные ежи») должен формировать довольно прочную каркасную структуру, что позволит использовать нанокерамику подобных элементного и фазового составов с определенными микроструктурными параметрами как биорезорбируемую. На определенном этапе формирования костной ткани важно сохранить жесткость заменяемого элемента кости, что в данном случае может быть обеспечено за счет армирующего действия подобных элементов наноструктуры.

Таким образом, можно констатировать, что создание новых конкурентоспособных материалов должно базироваться на использовании физико-химического подхода, позволяющего пройти весь путь от идеи до внедрения материала с минимальными рисками получения отрицательного результата. При этом часто в процессе создания и исследования материала, который основан на проведении физико-химического конструирования с самых

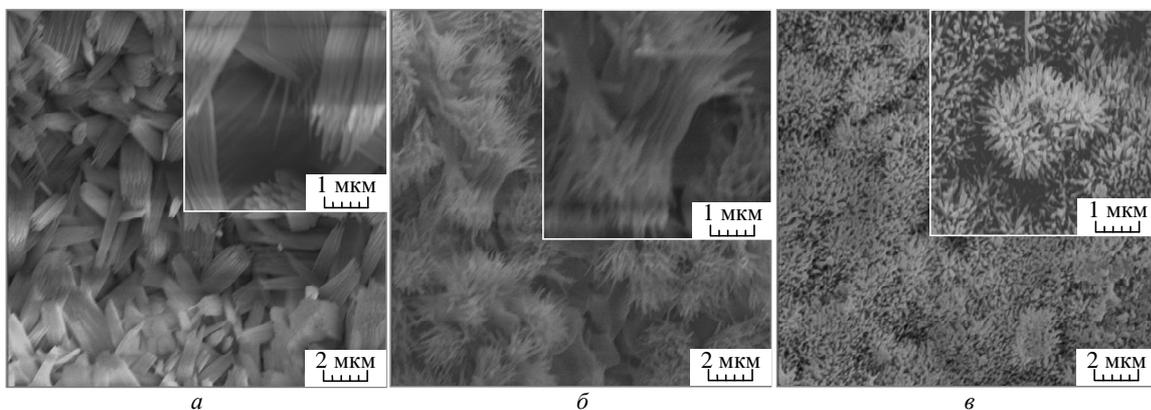


Рис. 6

фундаментальных уровней структурной иерархии, открываются новые, иногда беспрецедентные свойства и явления, на основе которых возможно появление новых классов материалов и технологий. Физическая химия была и остается той областью знания, которая находится на переднем крае развития материальных основ нашей цивилизации, и в значительной степени от умения использовать

накопленный опыт и дальнейшего развития идей и методов физической химии зависит прогресс и благополучие человечества.

Авторы выражают искреннюю благодарность В. В. Гусарову за ценные советы и обсуждения, а также всем своим коллегам, принимавшим активное участие в создании и исследовании упомянутых в статье функциональных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ломоносов М. В. Полное собрание сочинений. Т. 2: тр. по физике и химии 1747–1752 гг. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1951. с. 461.
2. Менделеев Д. И. Рассуждение о соединении спирта с водой. СПб.: Типография Товарищества «Общественная Польза», 1865. 120 с.
3. Гусаров В. В. Статика и динамика поликристаллических систем на основе тугоплавких оксидов: дис. ... д-ра хим. наук. СПб., 1996. 598 с.
4. Фахльман Б. Химия новых материалов и нанотехнологий / пер. с англ. Д. О. Чаркина, В. В. Уточниковой; под ред. Ю. Д. Третьякова, Е. А. Гудилина. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. 464 с.
5. Новый класс функциональных материалов для устройства локализации расплава активной зоны ядерного реактора / В. В. Гусаров, В. И. Альмяшев, В. Б. Хабенский, С. В. Бешта, В. С. Грановский // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). 2005. Т. XLIX, № 4. С. 42–53.
6. New sacrificial material for ex-vessel core catcher / A. A. Komlev, V. I. Almjashv, S. V. Bechta, V. B. Khabensky, V. S. Granovsky, V. V. Gusarov // J. of Nuclear Materials. 2015. Vol. 467. P. 778–784.
7. Пат. 2206930 РФ, МПК7 G21C 9/016. Способ получения керамических материалов для ловушки расплава активной зоны ядерного реактора, содержащих оксиды железа, алюминия и диоксид кремния / В. В. Гусаров, В. И. Альмяшев, И. В. Саенко, С. В. Бешта, В. С. Грановский, В. Б. Хабенский, В. П. Мигаль, В. А. Можжерин, В. Я. Сакулин, А. Н. Новиков, Г. Н. Салагина, Е. А. Штерн; заявитель и патентообладатель ОАО «Боровичский комбинат огнеупоров». № 2002108484/06; заявл. 02.04.2002; опубл. 20.06.2003. Бюл. № 17 (III ч.). 7 с.
8. Физико-химическое моделирование горения материалов с суммарным эндотермическим эффектом / В. В. Гусаров, В. И. Альмяшев, В. Б. Хабенский, С. В. Бешта, В. С. Грановский // Физика и химия стекла. 2007. Т. 33, № 5. С. 678–685.
9. Взаимодействие материала на основе оксидов алюминия и железа с расплавом металлов / В. В. Гусаров, В. И. Альмяшев, В. Б. Хабенский, С. В. Бешта, В. С. Грановский // Журн. прикл. химии. 2007. Т. 80, вып. 4. С. 541–548.
10. Альмяшева О. В., Гусаров В. В. Зародышеобразование в средах с распределенными в них наночастицами другой фазы // Докл. Академии наук. 2009. Т. 424, № 5. С. 641–643.
11. Альмяшева О. В., Гусаров В. В. Особенности процесса фазообразования в нанокompозитах // Журн. общей химии. 2010. Т. 80, № 3. С. 359–364.
12. Термическая устойчивость и каталитическая активность композита аморфный Al_2O_3 -нанокристаллы ZrO_2 / О. В. Альмяшева, Е. А. Власов, В. Б. Хабенский, В. В. Гусаров // Журн. прикл. химии. 2009. Т. 82, № 2. С. 224–229.
13. Пат. 2360734 РФ, МПК8 B01J 21/06, B01J 21/04, G21C 9/06, B82B 1/00. Пассивный каталитический реактор водорода / В. В. Гусаров, О. В. Альмяшева, Е. А. Власов, С. В. Онуфриенко, В. В. Безлепкин, С. Е. Семашко, И. М. Ивков, В. Б. Хабенский, В. С. Грановский, С. В. Бешта; заявитель и патентообладатель ОАО «Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт „АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ“». № 2008127137/04; заявл. 23.06.2008; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 19. 11 с.: ил.
14. Пат. 2522561 РФ, МПК8 B01J 37/02, B01J 37/08, B01D 53/94. Способ получения каталитического покрытия для очистки газов / Е. А. Власов, А. Ю. Постнов, Н. В. Мальцева, О. В. Альмяшева, О. В. Проскурина, Е. А. Спецов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (ТУ)». № 2012145820/04; заявл. 26.10.2012; опубл. 20.07.2014. Бюл. № 20. 24 с.
15. Нанокристаллы ZrO_2 как сорбционные тепловые аккумуляторы / О. В. Альмяшева, В. В. Гусаров, Я. Б. Данилевич, А. Н. Коваленко, В. Л. Уголков // Физика и химия стекла. 2007. Т. 33, № 6. С. 517–520.
16. Критический тепловой поток при кипении водной дисперсии наночастиц / Б. С. Фокин, М. Я. Бельский, В. И. Альмяшев, В. Б. Хабенский, О. В. Альмяшева, В. В. Гусаров // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35, № 10. С. 1–5.
17. Распределение наночастиц диоксида циркония в матрице поли-(4,4'-оксифенилен)пиромеллитимида / А. Н. Бугров, Е. Н. Власова, М. В. Мокеев, Е. Н. Попова, Е. М. Ивановна, О. В. Альмяшева, В. М. Светличный // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 2012. Т. 54, № 10. С. 1566–1575.
18. Effects of nanofiller morphology and aspect ratio on the rheo-mechanical properties of polyimide nanocomposites / V. E. Yudin, J. U. Otaigbe, V. M. Svetlichnyi, E. N. Korytkova, O. V. Almjashv, V. V. Gusarov // Express Polymer Letters. 2008. Vol. 2, № 7. P. 485–493.

19. Баринов С. М., Комлев В. С. Биокерамика на основе фосфатов кальция / под ред. К. А. Солнцева. М.: Наука, 2005. 204 с.

20. Керамика на основе гидроксиапатита кальция, синтезированного из ацетата кальция, гидроксида кальция и гидрофосфата калия / Т. В. Сафронова, С. А. Корнейчук, В. И. Путляев, В. К. Крутько // Стекло и керамика. 2012. № 1. С. 30–36.

21. Остеокондуктивная керамика с заданной системой сквозных пор на основе смешанных фосфатов кальция и щелочных металлов / П. В. Евдокимов, В. И. Путляев, В. М. Иевлев, Е. С. Климашина, Т. В. Сафронова // Докл. Академии наук. 2015. Т. 460, № 6. С. 677–681.

22. Афонько А. А., Кириллова С. А., Альмяшев В. И. Керамические и композиционные наноматериалы на основе ортофосфатов кальция // Наносистемы: физика, химия, математика. 2012. Т. 3, № 5. С. 84–102.

S. A. Kirillova, V. I. Almjashev, O. V. Almjasheva
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

PHYSICAL CHEMISTRY IS THE BASIS OF A NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES

Fundamentals of physicochemical design of new functional materials based on the using of physicochemical models which establish relation between the isotopic, elemental, chemical and phase composition, structure and properties of chemical compounds, substances and materials including nanostructure materials are reviewed. Examples of new materials promising for of using in nuclear power engineering, catalysis, medicine are presented.

Physical chemistry, physicochemical design of materials, passive safety system of NPP, sacrificial materials, catalysis, biocompatible materials
