

УЧЕНОМУ ВАЖНО ПРОЙТИ ПУТЬ ОТ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДО ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассказывает научный руководитель Института физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина Российской академии наук академик **Аслан Юсупович Цивадзе**



Институт физической химии и электрохимии им. академика А.Н.Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН) – учреждение уникальное. В области химии трудно найти другой исследовательский центр со столь широким охватом научных проблем, развитой научно-экспериментальной базой, со столь мощными и разносторонними научными школами. У его истоков стояли академики В.А.Кистяковский и А.Н.Фрумкин, П.А.Ребиндер и Б.В.Дерягин, М.М.Дубинин и В.И.Спицын, ряд других выдающихся российских ученых. Сегодня в институте более 800 сотрудников, среди которых семь академиков и девять членов-корреспондентов РАН, более 100 профессоров, 260 кандидатов наук. Спектр деятельности ИФХЭ РАН охватывает вопросы радиохимии и радиационной химии, коллоидно-дисперсных систем, адсорбции, физико-химической механики, защиты от коррозии, супрамолекулярных наноразмерных систем, электрохимической автономной энергетики, биоэлектрохимии клеточных мембран и вирусологии и многие-многие другие направления. Помимо сугубо фундаментальных исследований, в институте всегда были широко поставлены прикладные

работы. В 1990-е годы по известным причинам институт оказался в очень сложной ситуации, однако в середине 2000-х началось его возрождение. Именно тогда кресло директора института занял Аслан Юсупович Цивадзе, известный российский ученый в области координационной и супрамолекулярной химии.

Каковы наиболее интересные прикладные достижения ИФХЭ РАН сегодня? Каковы перспективы их промышленного освоения в России? Об этом – наш разговор с академиком РАН Асланом Юсуповичем Цивадзе.

Аслан Юсупович, Институт физической химии и электрохимии был образован слиянием Института физической химии РАН и Института электрохимии им. А.Н.Фрумкина. С чем было связано объединение этих ведущих научных учреждений страны?

Это было скорее воссоединение. Наш институт ведет свою историю с 1929 года, когда академик АН СССР Владимир Александрович Кистяковский организовал Ленинградскую

коллоидно-электрохимическую лабораторию (ЛАКЭ АН СССР). В 1934 году многие академические организации перебазировались в Москву, в том числе и ЛАКЭ. Одновременно она была преобразована в Коллоидно-электрохимический институт АН, который возглавил В.А.Кистяковский. В 1945 году он был переименован в Институт физической химии. С 1939 по 1946 год директором Института физической химии был один из основоположников

современной электрохимии, Александр Наумович Фрумкин. В 1957 году академик Фрумкин на базе возглавляемого им отдела электрохимии организовал самостоятельный Институт электрохимии АН, которым и руководил до своей смерти в 1976 году.

Я возглавил Институт физической химии РАН в 2002 году. И практически сразу встал вопрос о воссоединении с Институтом электрохимии РАН им. А.Н.Фрумкина.

Аслан Юсупович Цивадзе, академик РАН, доктор химических наук, профессор, академик Российской академии наук, Иностраный член Академии наук Грузии. С 1982 года – заведующий лабораторией координационной химии щелочных и редких металлов ИОНХ АН СССР, с 1999 года – заместитель директора ИОНХ РАН. С 2002 года – директор Института физической химии и электрохимии РАН; заведующий кафедрой неорганической химии МИТХТ, профессор МГУ им. М.В.Ломоносова. С 2013 года – академик-секретарь Отделения химии и наук о материалах РАН. Член Президиума РАН, президент Российского химического общества имени Д.И.Менделеева.

За выдающиеся успехи в области неорганической, координационной, физической и супрамолекулярной химии награжден орденами Дружбы (2000) и Почета (2008), удостоен Государственной премии РФ в области

науки и техники (2000), премии РАН им. Л.А.Чугаева (2009), Премиями Правительства РФ в области науки и техники (2003 и 2011), в области образования (2009), Главной премии Международной академической издательской компании "Наука/Интерпериодика" за лучшие публикации (2006, 2015), Государственной премии Грузии в области науки и техники (1998), золотой медали Итальянского химического общества (2009), Государственным орденом Франции в области науки и образования с присвоением звания "Офицера ордена академических пальм" (2016). Заслуженный работник высшего образования России (2000), почетный профессор ряда российских и зарубежных университетов. Председатель Научного совета РАН по физической химии. Главный редактор журналов "Электрохимия", "Физикохимия поверхности и защита материалов", "Коррозия: материалы, защита".

В 2004 году было принято соответствующее решение Президиума РАН, в 2005 году произошло объединение Института физической химии и Института электрохимии в Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН). В 2006 году, когда объединение было завершено фактически, меня избрали директором уже ИФХЭ РАН, в 2011 году переизбрали на второй срок. 1 июня 2016 года этот срок завершился, теперь я – научный руководитель ИФХЭ РАН. Новым директором стал Алексей Константинович Буряк, доктор химических наук, профессор в области физикохимии поверхности, хроматографии и масс-спектрометрии. Для ученого он еще молод, у него все впереди.

В каких основных направлениях ИФХЭ РАН работает сегодня?

Области наших научных исследований в целом соответствуют приоритетным направлениям развития науки и тех-

ники в стране. Во-первых, это исследование поверхностных явлений в коллоидно-дисперсных системах, физико-химическая механика и адсорбционные процессы. Второе направление – нано- и супрамолекулярные самоорганизующиеся системы и материалы для высоких технологий. Очень важна для нас область химии и технологии радиоактивных элементов. Мы занимаемся разработкой эффективных экологически чистых и максимально безопасных технологических процессов переработки ядерного топлива, радиоактивных отходов и материалов, проблемами радиоэкологии и биобезопасности, радиационно-химической стойкости материалов. Большое внимание уделяем вопросам химического сопротивления материалов, защите металлов и других материалов от коррозии и окисления.

Отдельно отмечу направление электрохимии. Мы исследуем кинетику и механизмы электро-

химических реакций, электрокатализа, работаем в области новых химических источников тока, топливных элементов, электрохимических информационных систем, биоэлектрохимии клеточных мембран.

Еще одно важнейшее направление – синтез и изучение новых веществ, разработка материалов с заданными свойствами. Речь идет о полимерах и композитах, сорбентах, керамиках, продуктах биологического и медицинского назначения, о создании оптических и сверхпроводящих материалов.

Работа в рамках перечисленных направлений приоритетна для нас по определению. Но у института есть свое лицо, сформировавшееся за многие годы. Так, ИФХЭ – единственный академический институт, который фундаментально занимается проблемами коррозии. У нас есть отдельный корпус противокоррозионной защиты, который был построен на средства Министерства

среднего машиностроения СССР, поскольку атомная промышленность остро нуждалась в этих исследованиях. Аналогично, еще в военное время был выстроен корпус радиохимии. Эти два направ-

пор адсорбентов. Сегодня продолжателями научной школы М.М.Дубинина выступают четыре лаборатории ИФХЭ РАН, занятые проблемами адсорбции, разработкой сорбентов нового поколения.

семинары, но когда вместе делаешь одну работу – общение совсем иное. И совсем другие результаты.

ИФХЭ – единственный академический институт, фундаментально занимающийся проблемами коррозии

ления специально были внедрены в систему АН СССР, чтобы на основе фундаментальных исследований создавать материалы и технологии для нужд атомной и оборонной промышленности.

Безусловно, лицо института формирует и направление электрохимии. Во многом оно связано с именем А.Н.Фрумкина. Удивительно, что этот выдающийся ученый не удостоился Нобелевской премии. Его вклад в теорию двойного электрического слоя признан во всем мире. Он создал серьезную научную школу, которая сегодня живет и развивается. Как и научные школы в других направлениях, созданные академиками В.А.Кистяковским, П.А.Ребиндером, Б.В.Дерягиным, М.М.Дубининым, В.И.Спицыным. Например, Михаил Михайлович Дубинин с 1946 года в нашем институте заведовал лабораторией сорбционных процессов. Уравнение Дубинина-Радужкевича используют во всем мире для расчета заполнения

ИФХЭ РАН – очень многопрофильный институт. Каждое направление развивается независимо, или есть определенный синергетический эффект?

Основная структурная единица в институте – лаборатория. Если изначально в ИФХЭ РАН было 55 лабораторий, сейчас мы укрупнили их до 43. Я начал свою работу с того, что объединил семь лабораторий в рамках одной темы. И сегодня лаборатории сгруппированы по каждому из направлений исследований. Например, в направлении радиохимии действуют 11 лабораторий, проблемами электрохимии занято 6 лабораторий, в сфере нано- и высокомолекулярных систем работают 12 лабораторий и т.д. В результате фундаментальные исследования стали проводиться более комплексно. Ведь когда лаборатория работает сама по себе, ее сотрудники замыкаются на своих задачах и перестают замечать вокруг много интересного. Конечно, проводятся межлабораторные

Институт традиционно сочетал фундаментальные исследования и прикладные работы. Удастся ли сегодня соблюдать этот баланс?

Наша основная задача – открывать новые знания. Фундаментальные исследования для нас – самое главное. При этом мы получаем результаты, на основе которых можно создавать эффективные и востребованные промышленные технологии. Соответственно, институт занимается и прикладными работами. Но нельзя сказать, что они вторичны. Ведь для ученого очень важно пройти путь от фундаментальных исследований до практического внедрения. На этом пути генерируются новые идеи, возникают новые вопросы, на которые нужно получать ответы. Видя конечную цель фундаментальных работ, ученый по-другому подходит к своему эксперименту. Появляются альтернативы, открываются новые направления исследований.

С другой стороны, что такое, например, современная электрохимия? Это очень востребованная прикладная область. Например, специалисты института разрабатывают литий-ионные аккумуляторы нового поколения. В традиционных литий-ионных аккумуляторах используют углеродный анод. Мы же применяем тонкопленочные электроды на основе аморфного кремния. Емкость у такого электрода на порядок выше, чем у углеродного анода. Создаем новые многослой-

ные композитные электроды (кремний-углерод, кремний-кислород, кремний-кислород-алюминий) на основе наноструктурированных материалов. Одновременно проводим исследования в области новых материалов катодов – на основе оксидов пентавалентного ванадия, смешанных оксидов и т.д. Решено немало технологических проблем, наши разработки уже внедряются в промышленность.

Мы работаем и над совершенно новым типом аккумуляторов – литиево-кислородных. Они могут быть как открытого типа – на атмосферном кислороде, так и закрытого – чистый кислород подается в систему под давлением. Теоретическая удельная энергоемкость таких химических источников тока – порядка 11,4 кВт·ч/кг, что сопоставимо с энергоемкостью бензина (13 кВт·ч/кг). Конечно, это теория, здесь немало нерешенных проблем. Однако речь может идти не просто об аккумуляторных батареях, но о совершенно новом типе систем хранения энергии, способных, например, подпитывать целый микрорайон.

Столь же бурно развивается и направление топливных элементов. Свой первый топливный элемент А.Н.Фрумкин демонстрировал еще в 1962 году на заседании Президиума АН СССР. Сегодня в основном известны водородно-воздушные топливные элементы: к аноду подводится водород, к катоду – кислород (воздух), между электродами – электролит (сегодня – в основном твердые полимерные протонпроводящие электролиты) и мембрана. На практике

используют многослойные структуры анод-мембрана-катод, так называемые мембранно-электродные блоки (МЭБ). Например, созданный нами МЭБ содержит 250 слоев анод-мембрана-катод.

Основные токообразующие реакции в топливном элементе – восстановление кислорода на катоде и анодное окисление водорода. Для таких реакций необходимы катализаторы, прежде всего, платина и системы на ее основе. Однако здесь немало проблем. Прежде всего, откуда брать водород? Лучше всего получать его электролизом воды, тогда он лишен отравляющих катализатор примесей, но это очень дорогое удовольствие. Да и платиновые катализаторы очень дороги. Поэтому такие топливные элементы не стали массовым продуктом, хотя и используются в ряде специаль-

тины либо совсем без этого элемента. Прежде всего, речь идет о бинарных катализаторах на основе сплавов палладия в виде наноразмерных систем. Так, нашими специалистами был разработан метод высокотемпературного синтеза бинарных катализаторов на дисперсном носителе. Используя органические прекурсоры на саже XC72, мы синтезировали наноразмерные системы PdCo и PdFe. Их электрокаталитическая активность сопоставима с платиновым катализатором. При этом достигнута приемлемая коррозионная стойкость. Выполнены перспективные работы по созданию топливных элементов на основе электроокисления этанола в щелочном электролите. Ведутся работы и над полимерными мембранами, это тоже достаточно серьезная задача.

Для ученого очень важно пройти путь от фундаментальных исследований до практического внедрения

ных задач, например, на подводных лодках.

Вместо водорода можно окислять углеводородные соединения: метанол, этанол, диметиловый эфир, – что гораздо дешевле. Мы работаем в этом направлении. Кроме того, в ИФХЭ ведутся исследования по созданию катализаторов с низким содержанием пла-

С электрохимией связана и такая интереснейшая область, как биология. У нас действует лаборатория биоэлектрохимии, где методами электрохимии изучают биологические системы. Ее создавал еще А.Н.Фрумкин, а сегодня лабораторию возглавляют очень известный специалист, член-корр. РАН Ю.А.Чизмаджев

и молодой перспективный ученый О.В.Батищев. Лаборатория работает в области исследования липидных/белковых наноструктур клеточных мембран, механизмов вирусных инфекций, эндоцитоза, молекулярного механизма действия Na/K-АТФ-фазы и др. В частности, получены интересные результаты в сфере вирусологии, изучения процессов самоорганизации вирусных частиц, молекулярных механизмов проникновения вирусов в клетку. Ведь если именно на уровне отдельных молекул понять, как реализуются эти процессы, будет совершен скачок в поиске новых противовирусных препаратов.

Не менее интересная работа была связана с разработкой электрохимически управляемой гемосорбции – метода электрохимического удаления теней эритроцитов и других

более интересные практические результаты в этой области?

Интереснейшее направление исследований нашего института – системы адсорбционного концентрирования метана и водорода. С одной стороны, это характерный пример того, как результаты фундаментальных исследований привели к созданию новых продуктов. С другой, сами работы по реализации этих продуктов поставили новые фундаментальные проблемы, которые мы продолжаем решать.

Сегодня известен ряд сорбентов, которые позволяют концентрировать различные газы. Идея проста: в любую емкость засыпается порошкообразный адсорбент, а затем в него под давлением нагнетается газ, который заполняет поры в сорбенте. Получается так называемый газовый аккумулятор. Для хранения

Мы уже разработали газовые аккумуляторы на основе обычных углеродных сорбентов. Они дешевы, выдерживают формование и другие виды обработки. Подобные накопители полезны для создания буферных хранилищ в газораспределительных системах, чтобы компенсировать, например, сезонные колебания потребления газа. Обычно для этого формируют огромные подземные емкости либо хранят газ под давлением. У таких методов множество недостатков. А в случае адсорбционного концентрирования можно взять любую трубу, даже бывшую в употреблении, заполнить ее сорбентом – накопитель готов. Это решение уже проверено и испытано, им заинтересовался "Газпром".

Подобные технологии очень востребованы и на транспорте. Однако для этого нужно по крайней мере вдвое улучшить удельные характеристики сорбента, что достаточно сложно. Последнее время весь мир начал интенсивно заниматься металлоорганическими каркасными структурами (MOF). Это трехмерные высокопористые координационные полимеры с очень высокой удельной площадью – до 2000 м²/г и выше. В частности, больших успехов в промышленном освоении таких материалов добился немецкий концерн BASF, широко известны такие его продукты, как MOF-5, MOF-199 и др. Они демонстрируют высокую адсорбционную способность, до 150 см³/см³ и даже выше. Однако характеристики, полученные в лабораторных условиях, – это еще не все. При практическом приме-

Свой первый топливный элемент академик А.Н.Фрумкин демонстрировал еще в 1962 году

токсина из крови. По результатам этой работы мы опубликовали статью, и ей сразу была присуждена Главная премия издательства "Наука/Интерпериодика" – столь высоко оценили ее значение.

ИФХЭ РАН известен своими исследованиями в области сорбентов. Каковы наибо-

газов не требуется высокое давление, аккумулятор работает при обычной температуре, нет проблем с пожаробезопасностью. Просто открываете кран – начинается подача газа. Такие газовые аккумуляторы нужны везде: на транспорте, для терминалов и крупных газохранилищ и т.п.

нении адсорбент нужно формировать, чтобы заполнять им емкости. BASF передавала нам свои материалы для исследований, и мы выявили, что при формировании их сорбционные свойства ухудшаются.

Мы разработали соединения, похожие на MOF, – порфириномодифицированные фосфаты, с неизвестными прежде адсорбционными свойствами. Планируем на их основе создавать супрамолекулярные адсорбционные структуры, внедряя эти соединения между слоями графена либо углеродных нанотрубок. Возможно, из соображений экономики будем использовать силикагели. Уже разработаны новые адсорбционные системы аккумуляции природного газа с удельным объемом до 220–300 см³/см³ и новые адсорбционные системы аккумуляции водорода с удельной плотностью до 6,2% при давлениях до 22 МПа. Я недавно докладывал об этом в "Газпроме", результаты настолько понравились руководителям этой компании, что они будут заказывать у нас разработку газовых аккумуляторов на сорбентах совершенно нового поколения. Конечно, еще предстоит создать материал, который выдерживает все необходимые воздействия. Однако здесь мы пионеры, и если доведем работу до практических результатов, в области газовых аккумуляторов произойдет революция.

Но адсорбционное концентрирование газов – далеко не единственное направление, где мы можем предложить прорывные решения. Так, очень значимы наши работы в области исследований фотонных и электронных процессов в полимерных материалах.

Речь идет об органических светодиодах и о системах фотовольтаики?

С точки зрения практических результатов – да. Мы вышли на новый уровень в области органических преобразователей солнечной энергии. Для гибридных солнечных эле-

рекордная характеристика для пленочных солнечных элементов. Следующий этап – создание tandemных солнечных элементов, когда в единой структуре объединены слои, чувствительные к различным спектральным диапазонам солнечного света.

Мы разработали соединения, похожие на MOF, – порфириномодифицированные фосфаты, с неизвестными прежде адсорбционными свойствами

ментов в институте разработан ряд соединений на основе порфиринов и фталоцианинов металлов, существенно повышающих поглощение солнечного света и генерацию свободных носителей тока. В фотоактивный полимерный слой органического преобразователя солнечной энергии мы вводим порфириновые комплексы – например, краунзамещенные порфирилаты металлов. Ведь порфирин – основа хлорофилла, естественного материала для фотосинтеза.

В качестве акцепторных слоев используем соединения фуллеренов, исследуем возможность внедрения наночастиц металлов между прозрачным анодом и фотоактивным слоем и т.п. Полученные структуры наносятся на пленочные подложки, в том числе на пленки аморфного или микрокристаллического кремния. Нам удалось достичь КПД преобразователя порядка 15% – это

Результаты наших работ в области фотовольтаики могут быть оформлены в виде промышленных технологий. Причем речь идет об относительно недорогих, массовых технологиях печатной электроники. Но для этого нужны инвестиции.

Значимых успехов мы достигли и в области органических светоизлучающих диодов (СИД). Особенность органических СИД – в отличие от традиционных светодиодов, это не точечный источник. Светоизлучающие слои можно наносить на различные подложки, в том числе на пленку, получать светящиеся панели. Представляете, такими материалами можно даже картины писать, делать стеклянные двери со светящимися надписями и т.п.

Мы разработали органические СИД на основе полимерных наноматериалов, когда в высокомолекулярные проводящие структуры вво-

дятся наноразмерные органические кристаллы (так называемые J-агрегаты). Эти частицы состоят из молекул ароматических гетеросоединений. В результате существенно расширяются возможности контроля спектрального диапазона излучения СИД, его насыщенность. На лабораторных образцах мы достигли очень хороших характеристик органических СИД – при напряжении не более 10 В яркость све-

световой энергии, для записи динамических фазовых голограмм – областей практического применения у таких материалов множество.

Насколько широко разработки института находят практическое применение?

Некоторые продукты, например МЭБ для топливных элементов, мы создаем в единичных экземплярах для специальных задач. Сейчас мы

массовую продукцию, нужно изучить спрос, рассчитать экономику всех процессов, определить, востребован ли продукт на рынке, по какой цене. Здесь учитывается каждая копейка.

О массовом внедрении результатов наших работ говорить сложно прежде всего потому, что в России невозможно найти частных инвесторов. Действительно, с какой стати частный инвестор будет вкладываться в топливные элементы и литиевые аккумуляторы, если не понимает в таких технологиях? Как ему объяснить экономику процесса? Тот же МЭБ – это 250 слоев, каждый слой состоит из различных химических соединений, каждое соединение надо синтезировать. Необходимо разрабатывать множество технологий, причем экономически рентабельных, для производства соединений, нанесения их на пленку, сборки слоев и МЭБ в целом. Мы сталкивались с ситуациями, когда инвестор нанимает "экспертов" для оценки наших технологий, а те его откровенно обманывают, чтобы привлечь других исполнителей в своих корыстных интересах. Посмотрите, сегодня конкурсы зачастую выигрывают предприятия, которые потом не могут выполнить работы. Все ведь привыкли отчитываться на бумаге, не отвечая за практический результат. Я так не могу – если берусь, то хотя бы сделаю опытную установку. Покажу, что принцип работает.

Так что в плане внедрения разработок в стране очень сложная ситуация. У меня в Японии есть друг – профессор Кобаяши. Ученый, известный своими работами в области фталоцианинов, которые используются, в частности, для актив-

Мы вышли на новый уровень в области органических преобразователей солнечной энергии

чения превышает 1000 кд/м², демонстрируя энергетическую эффективность более 70 лм/Вт. Можно создавать источники как мягкого белого света, так и различных цветов. Подчеркну, разработанные материалы пригодны для нанесения на полимерные пленки методами печатной электроники, то есть подходят для массовой промышленной технологии.

Кроме того, в ИФХЭ ведутся работы над электрохромными материалами, которые изменяют окраску под воздействием электрического поля. Весьма значимо направление фоторефрактивных материалов. Их можно использовать в различных электронно-оптических устройствах в качестве высокоэффективных активных оптических элементов при передаче информации и регулировании

ставим вопрос перед Министерством обороны РФ о разработке топливных элементов и аккумуляторов для систем вооружения. Тогда, возможно, внедрение наших разработок пойдет быстрее.

Однако о массовом производстве говорить не приходится, и не потому, что это невозможно, просто некому им заниматься. Одно дело – изготавливать мелкие партии, и совсем другое – наладить серийное производство. Проблемы начинаются с проектирования предприятий – в стране ведь проектных институтов практически не осталось, не говоря уже об отраслевых институтах, которые дорабатывали бы технологию до промышленного применения. Сейчас нам приходится самим выполнять функции таких институтов. Чтобы выпускать

ных слоев компакт-дисков. Он рассказывал: "Достаточно лишь сказать, объявить по телевизору о новой разработке, как на следующее утро ко мне выстраивается очередь из представителей различных компаний". И не удивительно, ведь новые разработки – основа для инновации, путь к завоеванию рынка. Это хорошо понимают руководители крупных зарубежных фирм, поэтому они и заинтересованы в развитии науки. К сожалению, у нас ничего подобного не происходит.

За рубежом есть такие компании, как Lockheed Martin, General Motors, Siemens и т.п. Они получают огромные заказы от государства и, чтобы их выполнить, обращаются к науке, финансируют фундаментальные и прикладные исследования. Иначе просто невозможно создавать современную продукцию. Крупные корпорации привлекают ученых, прежде всего в университетах, создают научные группы у себя и т.д. Поэтому за рубежом результаты научных исследований востребованы.

У нас таких компаний практически нет. Есть единичные исключения, например, ПАО "Газпром". У нас заключен ряд контрактов с этой корпорацией, но на это ушли многие годы – ведь когда ты продаешь нефть, ничего вроде и делать не нужно. Так, сейчас мы заключили контракт с "Газпромом" на разработку газовых аккумуляторов, компания фактически выступает инвестором на стадии НИР. Это хороший партнер.

Но даже "Газпром" не всегда заинтересован в инновациях. Например, заказали нам системы электрохимической защиты труб от коррозии, но пока предпочитают покупать

трубы в Германии, а не защищать уже проложенные. И действительно, для менеджера разве плохо – поехал в командировку, заключил контракт, получил, извините за выражение, откат. И зачем ему головная боль о внедрении инновационной технологии?

Другой пример – недавно в Росатоме прошло совещание, где мы обсуждали технологии получения изотопов лития. В природных образцах содержание целевого изотопа составляет 7%, а нужно достичь 99%. Эффективность существующих систем экстракции такова, что после однократного разделения изотопов изменение концентрации можно определить только прецизионным прибором, и то не всегда. Мы сделали очень компактный каскад из 30 экстракторов, которые обеспечивают уровень обогащения до 35%. Достаточно нарастить число экстракторов, и полу-

чистое решение. Но чтобы наладить производство, опять же нужны определенные финансовые вливания.

Иными словами, мы можем провести революционные преобразования во многих промышленных областях. Сейчас компании всего мира работают над топливными элементами, литиевыми аккумуляторами, преобразователями солнечной энергии, газовыми аккумуляторами, органическими светодиодами. Каждый день работают. И кто будет быстрее, тот и окажется в дамках. А у нас уже есть результаты, которых нет ни у кого. Их нужно срочно внедрять в производство. Но мы ждем, пока аналогичные работы сделают в Америке или в Китае. Иначе вам не поверят. Как вы можете доказать, что разработали что-то хорошее? Нужно сослаться на аналогичные работы в США. Но зачем нам смотреть на зарубежные рынки, когда необходимо

Мы можем провести революционные преобразования во многих промышленных областях

читать нужный результат. Может быть, потребуется не 30, а 300 экстракторов, но все равно установка поместится в маленькой комнате. А ведь сегодня аналогичные задачи решают лишь огромные предприятия, с протяженностью до 10 км. Причем на них используется очень грязная технология. Мы же предлагаем компактное, экологически

производить продукцию прежде всего для рынка российского? Но никто серьезно этим не занимается. Созданы различные фонды, среди них есть и очень хорошие научные фонды, например, РФФИ и РНФ. Но они обеспечивают только публикации. А вот финансирование инноваций – для этого тоже созданы фонды, они что-то делают, но

не опираются на фундаментальные исследования. Как результат – вкладываются огромные деньги, но вы видели хоть один действительно инновационный продукт, созданный на эти средства?

Есть ли выход из этой ситуации?

Я нашел единственную схему, которая способна работать, – это взаимодействие с крупными государственными заказчиками. Такими, как "Газпром", Минпромторг, Минобрнауки, Минобороны и др. Но подобные структуры работают только с производителями. А их мало – сегодня очень сложно найти предпринимателей, которые хотя бы разумно представляли производственную задачу. И основная проблема сегодня даже не с деньгами, а именно с производственными партнерами, способными проработать и представить грамотный проект. Под такой проект можно получить грант.

наших разработок. Они подготовили необходимую техническую документацию, используя наши данные. Будут представлять проект в Минпромторг, чтобы получить грант. Потом закажут нам необходимые разработки, мы их выполним и будем сопровождать проект.

По такой схеме я хочу идти в других направлениях. Ищу тех, кто имеет практику строительства высокотехнологичных заводов. Подобных компаний в стране очень мало, если вообще есть. Но если с проработанным проектом доходишь до правительства, есть все шансы на успех.

Вы не только выступаете научным руководителем ИФХЭ РАН, но и являетесь академиком-секретарем Отделения химии и наук о материалах РАН. Насколько велико значение современной химии для развития технологий в других областях?

Направлений развития химии очень много, обо всех

металлурги и технологи, и не было возможности доказать, что ты тоже решаешь крупные государственные задачи. Ведь металлургия – огромные предприятия и огромные деньги. А сейчас практически вся новая химическая наука основывается на координационных соединениях. Катализаторы, в том числе на основе палладия (Нобелевская премия 2010 года), солнечные батареи с рутениевым комплексом, супрамолекулярная химия – все это возникало на основе координационной химии. Наночастицы – это ведь супрамолекулярные ансамбли, и выделены они в особый класс не по формальным критериям, а именно потому, что при размерах от 10 до 100 нм самоорганизация атомов и молекул происходит наилучшим образом.

Новые направления появляются постоянно. Многие из них вызывают бум, потом он стихает, но это не значит, что направление оказалось неверным. Просто спадает ажиотаж, а работа продолжается. Например, недавно одним из самых горячих из новых направлений стала химия металлоорганических каркасных структур. Вскоре выяснилось, что MOF не решают всех проблем, нужно что-то новое. Но работы в этой области продолжаются. И что немаловажно, они подтолкнули исследования в других направлениях. Мы пошли по одному из них, и нашли уникальное решение.

Координационные соединения интересны тем, что в одной молекуле совмещаются органические и неорганические структуры. Химия начала

Ищу тех, кто имеет практику строительства высокотехнологичных заводов

Его хватит, чтобы построить опытно-промышленную установку, отработать технологию, но не создать серийное производство.

Тем не менее, подобная схема работает. Я уже нашел производственных партнеров, которые решили выпускать органические СИД на основе

невозможно рассказать. Наука меняется каждый день. Но посмотрите лишь на одно из них – на координационную химию. Когда я начинал заниматься координационной химией, в отделении физикохимии и технологии неорганических материалов Академии наук преобладали

оперировать понятиями 3D-структур. Это уже художественное произведение, химия стала очень красивой наукой, впрочем, она всегда была такой. И она активно влияет на другие науки: на физику, математику, биологию. Потому что дает пищу для размышлений.

А медицина? Организм настолько сложная система, что невозможно представить его химию. До сих пор не могут разобраться в химии крови. А как происходит перенос зарядов по синаптическим связям – просто диву даешься. Есть макроциклические соединения типа валиномицина, устроенные как краун-эфиры. Они захватывают ионы калия во внутреннюю область, как в клещи, и обеспечивают их транспорт через клеточные мембраны. Причем валиномицин не образует с калием химических соединений посредством валентных связей. Это другая химия, другая физика. Но именно за счет такого механизма реализуется калий-натриевый обмен – основа нервной деятельности. Заметьте, все это – координационная химия. Причем изучать подобные процессы научились совсем недавно. И по большому счету, медицина только сейчас стала подлинной наукой – раньше она занималась лишь эмпирическими закономерностями.

Несколько лет назад в РАН произошло объединение – к нам присоединили Академии медицинских и сельскохозяйственных наук. Поначалу у нас было некое ироничное отношение, особенно к ученым в области сельского хозяйства – вроде как они рангом ниже. А сейчас, выслушав ряд докладов,

мы уже так не считаем. Мы стали серьезно рассматривать медицинские и сельскохозяйственные проблемы. Недавно отделение химии и наук о материалах и отделение сельского

хозяйства провели совместное заседание. Выяснилось, что химики могут дать сельскому хозяйству несравненно больше, чем сейчас. Например, к химии относятся как к источнику загрязнений. А все наоборот: химия – единственная наука, которая может спасти мир от загрязнений. Только химически можно перерабатывать отходы, превращая их в полезный продукт. И такие технологии у нас уже есть.

Химия – единственная наука, которая может спасти мир от загрязнений

хозяйства провели совместное заседание. Выяснилось, что химики могут дать сельскому хозяйству несравненно больше, чем сейчас. Например, к химии относятся как к источнику загрязнений. А все наоборот: химия – единственная наука, которая может спасти мир от загрязнений. Только химически можно перерабатывать отходы, превращая их в полезный продукт. И такие технологии у нас уже есть.

Удастся ли практически воплотить все эти технологии и возможности, в том числе достижения ИФХЭ РАН?

Конечно. В институте немало инновационных, прорывных разработок, многие из них я даже не упомянул. Но все они очень важны для российской промышленности.

В 2002 году я начинал фактически с нуля. Тогда в институте даже войти было страшно, показывать было практически нечего. А сегодня по каждому направлению исследований у нас есть опытные образцы разработанных новых материа-

лов и изделий. И если раньше мне говорили: "Это все наука, а что можно потрогать?", то сейчас мы можем реально показать материалы совершенно нового поколения, лучшие в мире органические светодиоды, органические солнечные элементы с выдающимися характеристиками, топливные элементы и литиевые источники тока, газовые аккумуляторы и сорбенты. Можно увидеть в действии технологии переработки радиоактивных отходов в полезные продукты, системы электронно-лучевой конверсии попутных нефтяных газов, биомассы, мусора. И все эти технологии мы намерены внедрять. Нужен лишь правильный подход. И желание руководителя делать свое дело со страстью – вот самое главное.

Мой учитель, академик Николай Михайлович Жаворонков, спрашивал: "Что главное для ученого"? Одни говорили – способности, другие – талант, работоспособность. "Нет, – отвечал Н.М.Жаворонков, – все это производные. Главное – темперамент". С какой страстью ученый работает над своей проблемой, таков и результат.

Спасибо за интересный рассказ.

С.А.Ю.Цивадзе беседовал
И.В.Шахнович