

УДК 001.92

DOI: 10.17223/24135542/8/2

Т.Д. Малиновская, В.И. Сачков, Н.И. Каракчиева

*Сибирский физико-технический институт имени академика В.Д. Кузнецова
Томского государственного университета (г. Томск, Россия)*

Значение и роль СФТИ в становлении и развитии химической науки в Томском государственном университете

Настоящая публикация посвящена 85-летию химического факультета Томского государственного университета и отражает историю возникновения и становления химического образования и науки, тесно связанную с этапами развития первого научно-исследовательского института в вузовской системе страны – Сибирского физико-технического института.

Ключевые слова: *химический факультет Томского государственного университета; история Сибирского физико-технического института.*

Регулярные химические исследования в Сибири начались с открытия в 1888 г. Императорского Томского университета на кафедре общей и медицинской химии – единственного в то время медицинского факультета, и были продолжены на кафедрах неорганической, аналитической и органической химии химического отделения организованного в 1917 г. физико-математического факультета. Кафедра физической и коллоидной химии была открыта позднее – в 1927 г. В 1932 г. в соответствии с постановлением Наркомпроса РСФСР химическое отделение было преобразовано в химический факультет Томского государственного университета. В эти годы химики начали исследования природных вод Сибири, с 1904 г. – изучение радиоактивности природных объектов Сибири (вод и минералов), с начала 1915 г. – исследования сложных органических соединений [1].

С 1928 г. исторически сложилось, что становление и развитие химической науки и химического образования в первом в Сибири высшем учебном заведении стало тесно связано с открытием в этом году первого за Уралом научного учреждения – Сибирского физико-технического института (СФТИ), который в 1932 г. был включен в систему Томского государственного университета [2], и это объединение уже в 30-е гг. XX в. можно рассматривать как научно-образовательный комплекс, который во всем мире называют исследовательским университетом.

В те годы основными проблемами, определившими содержание работ СФТИ, соответствующих роли института как научного центра, направленного на решение задач, выдвигаемых индустриализацией Сибири, были:

1. Структура и механические свойства твердых тел.
2. Электрические свойства твердых тел и полупроводников.

3. Электрохимия.
4. Адсорбция и поверхностные явления.
5. Излучение и распространение электромагнитных волн.

Тематика исследований была сгруппирована по следующим лабораториям:

1. Лаборатория молекулярной физики.
2. Лаборатория физической химии.
3. Радиолaborатория.
4. Лаборатория электронных явлений.
5. Рентгеновская лаборатория.
6. Теоретический отдел.
7. Лаборатория электронной химии органических соединений.

Последняя из них с 1 июня 1933 г. была выделена из института и включена в состав кафедры органической химии ТГУ в качестве самостоятельной научно-исследовательской лаборатории органической химии при химическом факультете ТГУ.

В физико-химической лаборатории основным направлением первых работ являлась область электрохимии неводных растворов. Эта тема была очень важна для промышленности. В 1930-е гг. в СССР наметился рост электрохимической промышленности, что потребовало развития теоретической электрохимии, а на тот момент электрохимией неводных растворов занималась лишь одна химическая лаборатория Украинской Академии наук. Поэтому руководить лабораторией был приглашен известный ученый, работавший в химической лаборатории В.И. Вернадского в Киеве, Михаил Ильич Усанович. Работу в лаборатории он совмещал с заведованием кафедрой аналитической химии ТГУ (1929–1936 гг.). С его деятельностью связано открытие в 1932 г. на химическом факультете специализации «Аналитическая химия». Под его руководством исследовались электропроводность и вязкость неводных растворов. В итоге была сформулирована общая теория так называемых аномальных диаграмм. Продолжая работы Плотникова, Избекова и др. по изучению аномального характера электропроводности растворов галоидных солей в органических растворителях, профессор М.И. Усанович с учениками взамен весьма гипотетической теории молекулярного резонанса академика Плотникова дал убедительные доказательства того, что в большинстве неводных растворов электропроводность связана с возникновением комплексных соединений растворенного вещества с растворителем, причем ионы получаются уже не в результате диссоциации молекул растворенного вещества, а в результате диссоциации образующихся комплексов.

В процессе работ по исследованию электропроводности М.И. Усанович разработал новый метод физико-химического анализа, позволяющий обнаруживать неустойчивые комплексные соединения, образующиеся в неводных растворах. Метод Усановича заключается в изучении хода кривых зависимости температурного коэффициента электропроводности от концентрации. При концентрациях, соответствующих составу образующихся в растворе комплексных соединений, кривая температурного коэффици-

ента электропроводности имеет либо максимум, либо минимум, либо точку перегиба, что соответствует обращению в ноль первой производной температурного коэффициента по концентрации.

В 1938 г. М.И. Усанович сформулировал обобщённую теорию кислот и оснований [3]. Основное положение этой теории состоит в отказе от водорода как универсального носителя кислотных свойств соединений. По Усановичу, кислотами являются все вещества, которые могут реагировать с основаниями, образуя соли; при этом наличие в составе кислот водорода не является обязательным (например, к кислотам должны быть причислены все катионы). Таким образом, в теории Усановича при рассмотрении вопроса о кислотах и основаниях речь идёт не о классах веществ, а о химических функциях. Реакции комплексообразования также рассматриваются как кислотно-основное взаимодействие.

После 1931 г. коллектив лаборатории стал заниматься проблемами коррозии. Постановка работ была направлена на выяснение электрохимическими методами самого механизма коррозии и защиты от него. Проблема коррозии изучалась в связи с исследованием перенапряжения водородных ионов на металлах, проводимых сотрудником СФТИ Л.Е. Сабининой. В 1932–1935 гг. она возглавляла в ТГУ кафедру аналитической химии.

Ещё одно направление работ физико-химической лаборатории было связано с Кемеровским коксобензолным заводом (кристаллизация нафталина, причины его покраснения на свету и т.д.) [4]. В 1930-х гг. под руководством профессора Б.В. Тронова (руководитель группы специальной лаборатории СФТИ, а затем заведующий лабораторией электронной химии органических соединений СФТИ) началась разработка вопроса о причинах самовозгорания углей, причем Б.В. Троновым этот вопрос изучался со стороны определения наиболее легко окисляемых компонентов каменного угля, а аспирантами СФТИ С.М. Петровым и Л.Г. Майдановской изучались адсорбционные свойства углей [5]. Группа адсорбции и поверхностных явлений под руководством уже старшего научного сотрудника СФТИ С.М. Петрова начала работать в составе лаборатории физической химии с 1933 г. Работы группы велись не только в области исследования активированной адсорбции, но и гетерогенного катализа. В задачи группы входят на ближайшее будущее включение в свою тематику вопроса о природе процессов окисления каменного угля при низких температурах (самовозгорание угля) и исследование окислительных процессов твердого топлива при высоких температурах. Первая проблема имела актуальнейшее значение для каменноугольной промышленности Кузбасса, так как самовозгорание угля в пластах представляет собой широко распространенное явление в шахтах Кузбасса, явление, приносящее значительные убытки и усложняющее эксплуатацию. Вторая проблема имела непосредственное отношение к доменному процессу.

На основании исследований окисляемости различных органических соединений и каменных углей, проведенных в СФТИ и на кафедрах

органической химии ТГУ и ТПИ, которые Б.В. Тронов по совместительству возглавлял с небольшими перерывами с 1923 по 1965 г. в ТГУ и 1926–1960 гг. в ТПИ, была создана фенольная теория окисления углей [5]. Сделаны практические выводы, помогающие распознавать ранние стадии шахтных пожаров и предотвращать их. Результаты работ были доложены на заседании научно-технического совета НИИ «Кузбассуголь» в 1938 г. и опубликованы в ряде статей. Дальнейшая работа была направлена на развитие и уточнение отдельных положений теории.

Что касается направления, связанного с изучением адсорбции и поверхностных явлений, то с 1938 г. оно развивалось на кафедре физической и коллоидной химии на протяжении ряда десятилетий и до сих пор является актуальным. В 1939 г. С.М. Петров и Л.Г. Майдановская защитили кандидатские диссертации, посвященные явлениям адсорбции простых газов (водорода, кислорода) на оксидах металлов. И как продолжение этого направления в СФТИ с 1990 г. в отделе полупроводников под научным руководством кандидата физико-математических наук Н.К. Максимовой успешно проводятся исследования обратимой хемосорбции активных газов на поверхности тонких пленок металлооксидных полупроводников, сопровождаемые обратимыми изменениями их проводимости, и на их основе разрабатываются миниатюрные химические сенсоры газов, отличающиеся низким энергопотреблением, высоким быстродействием, стабильностью работы и дешевизной [6]. По этой тематике уже защищены 3 кандидатские и подготовлена докторская диссертация. С 1938 по 1941 г. кафедрой физической химии руководил доцент С.М. Петров, в 1941 г. погибший на фронте. С 1941 по 1971 г. бессменной заведующей кафедрой была Л.Г. Майдановская (с 1968 г. – профессор). Вовлекая в круг научных исследований своих учеников, Майдановская положила начало созданию научной школы физической и коллоидной химии в ТГУ. Среди ее учеников – профессора И.А. Кировская, Л.Н. Курина, доценты Н.И. Петрова, Т.С. Минакова, В.Н. Белоусова, Л.Н. Шиляева и многие другие [1].

В 1997 г. на кафедре была открыта новая специализация – фотохимия, руководителем которой становится профессор Г.В. Майер, который с 1989 г. возглавлял в СФТИ отдел фотоники молекул, возникший на базе лаборатории молекулярной спектроскопии. В педагогическом процессе данной специализации принимают участие сотрудники отдела фотоники, профессора Т.Н. Копылова, И.В. Соколова, В.Я. Артюхов, Р.Т. Кузнецова и др. Исторически школа Г.В. Майера является естественным продолжением и развитием школы профессора Н.А. Прилежаевой (ученица и сотрудница академика А.Н. Теренина). С приездом в Томск в 1935 г. Н.А. Прилежаева возглавила в СФТИ лабораторию спектроскопии. Первоначально работы лаборатории велись в основном в двух направлениях: первое – спектральное исследование химических реакций, протекающих на поверхностях (катализаторах); второе – спектральное исследование химических реакций, протекающих в газовой фазе. Общей задачей

этих исследований являлось применение спектральных методов исследования к химии, выяснение механизма химических реакций с целью нахождения наиболее выгодных условий их проведения.

В 1940 г. на физико-математическом факультете Томского университета была открыта кафедра оптики и спектроскопии, которой профессор Н.А. Прилежаева руководила с 1946 по 1969 г., совмещая заведование лабораторией СФТИ с руководством кафедрой. С момента возникновения кафедры преподаватели, аспиранты, студенты и научные сотрудники лаборатории СФТИ вели научные исследования по единой тематике. Были исследованы механизмы обмена энергии при фотохимических процессах. В конце 1950-х гг. начаты исследования фотофизических процессов в сложных органических молекулах. Эти исследования возглавила старший научный сотрудник лаборатории, кандидат химических наук В.И. Данилова, в прошлом аспирантка Н.А. Прилежаевой.

Комплексные исследования фотофизических процессов, протекающих в органических молекулах различного строения, сочетающие экспериментальные и квантово-химические исследования, позволили установить закономерности их изменения в зависимости от строения молекул, выявить возможности их изменения в зависимости от межмолекулярных взаимодействий. В конце 1970-х гг. к этим исследованиям активно подключились В.Я. Артюхов и Г.В. Майер. Так, В.Я. Артюховым разработан и создан комплекс квантово-химических методик и моделей для теоретического исследования спектрально-люминесцентных и фотохимических свойств многоатомных органических молекул. Г.В. Маеиrom показано, что достижения современной теории процессов дезактивации электронно-возбужденных состояний многоатомных молекул и вычислительной квантовой химии могут быть использованы для интерпретации и прогнозирования оптических свойств органических люминофоров.

Теоретическое прогнозирование перспективных в генерационном отношении структур и их целенаправленный синтез привели к разработке и созданию целого ряда новых активных сред перестраиваемых лазеров. Под руководством Т.Н. Копыловой для проведения экспериментальных исследований спектрально-люминесцентных и генерационных свойств органических молекул была создана современная экспериментальная база, которая позволила успешно сочетать экспериментальные исследования с теоретическими и создать целый ряд новых лазерно-активных сред с высокой эффективностью преобразования и фотостабильностью. Большой вклад в развитие этого направления внесли И.В. Соколова, Р.Т. Кузнецова, О.К. Базыль, Л.Г. Самсонова, Л.И. Лобода, Н.Ю. Васильева, К.М. Дегтяренко, Е.Н. Тельминов, О.Н. Чайковская и др. Результаты выполненных исследований внесли значительный вклад в развитие молекулярной спектроскопии и квантовой электроники, широко известны научной общественности, отражены в 5 докторских диссертациях.

В 1986 г. из состава лаборатории спектроскопии СФТИ в самостоятельную лабораторию выделилась группа молекулярной спектроскопии

(зав. лабораторией стала доктор химических наук В.И. Данилова), а в начале 1987 г. лабораторию возглавил профессор Г.В. Майер, в 1989 г. лаборатория была преобразована в отдел фотоники молекул под его руководством. В настоящее время в составе отдела работают три лаборатории: теоретической фотоники (заведующий – профессор В.Я. Артюхов); лазерной физики (заведующая – профессор Т.Н. Копылова); спектроскопии плазмы (заведующий – профессор А.Н. Солдатов). В отделе фотоники молекул выполняют научные исследования докторанты, аспиранты, магистранты, студенты радиофизического, физического и химического факультетов Томского государственного университета, готовятся кадры высшей квалификации в области молекулярной спектроскопии, лазерной физики, фотохимии.

В конце 1980-х гг. в Томском государственном университете были открыты две лаборатории: лаборатория лазерной физики и кристаллофизики, возглавляемая доктором физико-математических наук А.Н. Солдатовым, и лаборатория фотофизики и фотохимии молекул под руководством профессора Г.В. Майера, исследования в которых неразрывно связаны с исследованиями, проводимыми в отделе фотоники молекул. В 1997 г. на базе отдела фотоники молекул СФТИ, лаборатории лазерной физики и кристаллографии ТГУ, лаборатории фотофизики и фотохимии молекул ТГУ, кафедр ТГУ физической и коллоидной химии химического факультета, оптики и спектроскопии физического факультета создан Лазерный центр, в котором передовые достижения науки и научная база используются для подготовки кадров.

Научные исследования института имели комплексный характер не только в связи с его участием в решении крупных проблем совместно с другими научными учреждениями страны, но и в силу все более утверждавшейся в институте тенденции браться за разработку стратегических задач, для решения которых требуются усилия специалистов разного профиля. В полной мере подтверждением этому служит развитие полупроводникового направления в Томске [7].

Исследования по физике полупроводников проводились в Ленинградском физико-техническом институте и СФТИ еще в 20-е и 30-е гг. XX в. Однако уровень технологии еще не позволял полностью реализовать технические возможности полупроводников. Основные усилия ученых в эти годы были направлены на исследование механизмов электропроводности в полупроводниках и диэлектриках. На принципиально новый уровень исследования в области полупроводников вышли после изобретения транзистора (1947 г.), гетероперехода, светоизлучающего диода и интегральной схемы (1960-е гг.).

Стало очевидным, что полупроводники – это особый класс материалов, свойства которых могут быть полностью реализованы только при условии создания технологий нового уровня. Уже в начале 1950-х гг. были разработаны технологии получения высокочистых германия и кремния в форме монокристаллов, и почти сразу же начались исследования сложных

полупроводников. В 1954 г. в институте были развернуты комплексные исследования новых полупроводниковых материалов на базе открытой лаборатории полупроводников (зав. лабораторией В.А. Преснов). Основным материалом, на котором сотрудники лаборатории полупроводников СФТИ проводили исследования по целому ряду научных и научно-технических направлений (и эти исследования продолжаются и в настоящее время), стал GaAs. Арсенид галлия считается наиболее перспективным материалом современной микро- и оптоэлектроники. По значимости он занимает второе место после кремния в ряду полупроводниковых материалов.

В лаборатории полупроводников формируются группы по основным научным направлениям: технологии выращивания монокристаллов полупроводников (группа А.П. Изергина), изучение физических свойств полупроводников (группа М.А. Кривова), физика полупроводниковых приборов (группа А.П. Вяткина), исследование структуры полупроводников (группа М.П. Якубеня) и полупроводниковых пленок (группа Л.Г. Лаврентьевой), разработка технологий обработки поверхности полупроводников (группа В.А. Санникова). В последующем на базе этих групп сформировались лаборатории отдела физики полупроводников (1973 г.).

В.А. Преснов заинтересовал новым делом и другие коллективы. К исследованию полупроводников подключилась кафедра аналитической химии химического факультета ТГУ (заведующий кафедрой Г.А. Катаев), где разрабатывали методы химического анализа полупроводников (З.И. Отмахова) и методы защиты поверхности полупроводников (И.И. Отмахов). Постепенно создавалась технологическая база для очистки веществ, выращивания полупроводниковых кристаллов и пленок, создания сплавных контактов металл – полупроводник, химического анализа высокочистых веществ и т.д. Значительное развитие получили работы по изучению физико-химических явлений на поверхности полупроводников. В 1957 г. на химическом факультете ТГУ была открыта проблемная лаборатория химии полупроводников. А в 1964 г. на базе исследовательских коллективов ТГУ и СФТИ в Томске был создан НИИ полупроводниковых приборов. Директором института был назначен профессор В.А. Преснов, ряд сотрудников ТГУ и СФТИ стали руководителями научных подразделений НИИПП (С.С. Хлудков, Л.Л. Люзе, Е.К. Брыснев, Г.Ф. Караваев, Ю.К. Пантелеев, И.К. Ковалев, В.Г. Божков).

В последующие годы коллектив НИИПП пополнялся за счет выпускников ТГУ и других томских вузов (ТПИ, ТИАСУРа). Под научным руководством В.А. Преснова в НИИПП были сформированы основные научно-производственные направления, ориентированные на использование арсенида галлия и его аналогов в излучающих и СВЧ-приборах. Были выполнены разработки соответствующих приборов, налажен их выпуск. В этот же период сформировалось тесное сотрудничество теоретиков и экспериментаторов, направленное на изучение материалов и процессов, перспективных для применения в приборах. Научные направления, сформировавшиеся в НИИПП еще в 1960–1970-е гг., являются основными и в

настоящее время. В последующие годы (после смерти П.Е. Рамазанова и В.А. Санникова) лаборатории люминесценции и химико-технологическая были объединены и преобразованы в лабораторию полупроводникового материаловедения (заведующий В.Г. Воеводин). Основная тематика этой лаборатории – синтез, кристаллизация, исследование и применение тройных (трехкомпонентных) алмазоподобных полупроводников. Ее сотрудниками были изучены физико-химические закономерности процессов синтеза и кристаллизации соединений $A_2B_4C_5^S$, разработаны технологии синтеза соединений и выращивания крупных монокристаллов. Предложен динамический вариант двухтемпературного синтеза соединения $ZnGeP_2$, существенно увеличивающий производительность процесса. Подготовлено 5 кандидатов наук, двое из которых – В.Г. Воеводин, О.В. Воеводина – стали докторами наук.

В 1970-е гг. в отделе радиоэлектроники СФТИ (зав. отделом В.Н. Детинко) сотрудниками лаборатории квантовой электроники (зав. лабораторией А.С. Петров) А.В. Войцеховским, Ю.В. Медведевым, Г.И. Тюльковым, Н.П. Солдаткиным, А.А. Ушеренко были исследованы электрофизические, фотоэлектрические, рекомбинационные и флуктуационные свойства ряда полупроводников (кремния, германия, легированного золотом и цинком, GaAs, легированного медью и марганцем, CdHgTe и др.). Фоторезисторы, созданные на основе исследованных полупроводников, были использованы как активные элементы фотоприемных устройств. В химико-технологической группе лаборатории под руководством Т.Д. Лезиной разрабатывались технология обработки поверхности полупроводников InSb, InAs, $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ и электрохимического формирования границы раздела полупроводник (П) – диэлектрик (Д), методы управления составом анодных оксидных пленок (Д) и параметрами фоточувствительных элементов для регистрации ИК-излучения на основе МДП структур. Результаты этих исследований нашли отражение в кандидатских диссертациях Т.Д. Лезиной (1984 г.), И.И. Фефеловой (1989 г.), Е.П. Лиленко (1992 г.) (научный руководитель – доцент кафедры аналитической химии ТГУ Г.М. Мокроусов).

В дальнейшем научная работа химико-технологической группы лаборатории квантовой электроники проводилась в направлении углубления и развития физико-химических основ технологии получения сложных оксидов редких и рассеянных элементов в качестве пигментов и покрытий как функциональных материалов ИК области спектра. Научные результаты работы были изложены в кандидатских диссертациях А.И. Апарнева (1999 г.), В.И. Сачкова (2004 г.), докторских диссертациях Т.Д. Малиновской (Лезиной) и В.И. Сачкова. Разработанные технологии были внедрены в производство, а в настоящее время продолжены в Инновационно-технологическом центре СФТИ (ИТЦ СФТИ) (заведующий – доктор химических наук В.И. Сачков), организованном в 2005 г. Получаемые материалы нашли широкое применение в фотокаталитических процессах и новых ресурсоэффективных технологиях, включая разделение изотопов [8–10].

Так, в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» сотрудниками ИТЦ в 2014–2016 гг. выполнялась НИР на тему «Нанодисперсные полупроводниковые широкозонные оксидные материалы с заданными оптическими, электрофизическими и физико-химическими свойствами» (научный руководитель Т.Д. Малиновская). Была разработана технология производства нанодисперсных металлоксидных полупроводниковых материалов. В процессе золь-гель синтеза в их состав вводились элементы, повышающие концентрацию свободных носителей заряда, что позволяло задавать материалу желаемые свойства. Например, можно было варьировать уровнем поглощения и отражения электромагнитного излучения в заданном диапазоне длин волн. Селективные покрытия, выполненные на основе нанодисперсных полупроводниковых материалов, могут использоваться в самолето- и судостроении, космической и гелиотехнике для поддержания нужного теплового режима объекта и защиты его приборов от перегрева. Наряду с этим технология синтеза дисперсных полупроводниковых материалов, разработанная в ИТЦ СФТИ, дает возможность наладить в России промышленный выпуск мишеней для магнетронного распыления. Ведущие мировые производители электроники используют их при производстве тонкопленочных прозрачных проводящих покрытий для экранов телевизоров, планшетов, смартфонов и т.д.

Отличительной чертой технологии полупроводниковых материалов, разработанной в ИТЦ СФТИ, является отсутствие токсичных побочных продуктов, поэтому в случае ее промышленного применения опасность выброса вредных веществ исключена. Сконструированная автоматизированная установка для золь-гель синтеза позволяет уже сегодня в достаточном количестве производить нанодисперсные металлоксидные материалы с управляемыми характеристиками. На международной выставке «Редкие и редкоземельные элементы и материалы на их основе» (г. Белокураиха) в 2015 г. за разработку «Методики синтеза образцов нанодисперсных оксидных систем типа In–Sn–O» сотрудники ИТЦ СФТИ награждены золотой медалью.

Изобретение ученых может применяться в самых разных областях: для повышения КПД солнечных батарей, защиты космических аппаратов от перегрева, производства экранов смартфонов, планшетов и других гаджетов. Работа в ИТЦ СФТИ в этом направлении будет продолжена в 2017–2019 гг. в проекте «Технология материалов на основе оксидов редких и редкоземельных металлов, применяемых для создания элементов сенсорной и оптоэлектроники», выполняемом в рамках государственного задания Минобрнауки России № 16.3037.2017/ПЧ.

Совместно с сотрудниками НИЯУ МИФИ проведен цикл исследований по разработке неводных методов переработки оксидных ТВЭЛ [11–12], разработаны способы эффективной переработки апатитового рудного сырья. Также специалисты ИТЦ были привлечены для выполнения ряда работ в рамках

ФЦП проектов 14.578.21.0018 «Высокоэнергетические магниты на основе РЗМ для электромашин большой мощности» и 14.578.21.0002 «Нанодисперсные гидриды РЗМ: получение и применение во внепечной технологии наноструктурированных сплавов и лигатур» (Организация-исполнитель: НИЯУ МИФИ, руководитель: А.С. Буйновский). Сотрудниками под руководством В.И. Сачкова были исследованы свойства фторидов РЗМ и железа, разработаны методики и исследованы коррозионные свойства гидридов, которые используются для получения сплавов и лигатур. Наноструктурированные магнитные сплавы и лигатуры, получаемые в результате гидридного измельчения, имеют большой потенциал на рынке магнитных материалов и могут быть использованы при производстве магнитов с улучшенной структурой, повышенными и стабильными эксплуатационными характеристиками, применяемых в бесколлекторных электромашинных точного машиностроения в исполнительных механизмах, в транспортных системах, в агрессивных и вакуумных средах, ветрогенераторах и других областях, где предъявляются высокие требования к массогабаритным, динамическим и удельным энергетическим характеристикам. Методом компактирования синтезированы высокоэнергетические постоянные магниты на основе системы Nd–Fe–B со стабильными и повышенными эксплуатационными характеристиками. Полученные магниты и магнитные системы предназначены для предприятий электронной промышленности, производителей ветрогенераторов, автомобилей с гибридным приводом, высокоэффективных машин постоянного тока.

Также в рамках темы по исследованию гидридов редких и редкоземельных металлов под руководством В.И. Сачкова разработана технология получения многокомпонентных сплавов и/или интерметаллидов на основе гидридов переходных металлов. Отработаны технологические режимы получения гидридов. Получены экспериментальные образцы двухкомпонентной системы Ti–Al с добавками редких и редкоземельных металлов (Sc, Dy, Nd, Y и др.). Синтезированы однофазные и многофазные материалы на основе наноструктурных интерметаллидов системы Ti–Al. Полученные результаты опубликованы в российских и зарубежных журналах.

Выполнена серия научно-исследовательских и хозяйственных работ в направлении разработки технологий и создания образцов новых органических субстанций для фармацевтики и сельского хозяйства по заказу и совместно с Концерном Bayer, НИИ кардиологии и НИИ онкологии СО РАМН. Разработаны новые методы введения фтора в структуру органических соединений [13]. В тесном сотрудничестве с Федеральным государственным бюджетным учреждением науки «Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий» Российской академии наук и ОАО «Гидрометаллургический завод» разработаны и проходят апробацию новые рецептуры органоминеральных удобрений с добавками микроэлементов на основе РЗЭ [14].

В рамках проекта по заказу Министерства промышленности и торговли РФ по Федеральной целевой программе «Разработка, восстановление и организация производства стратегических, дефицитных и импортоза-

мещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной и специальной техники на 2009–2011 годы и на период до 2015 года» в ИТЦ проводились исследования, направленные на разработку универсальной технологии плазмохимического получения дисперсных оксидов титана, циркония, иттрия и церия и изучение их физико-химических свойств [15, 16]. Была разработана опытно-промышленная технология и организовано производство порошков оксидов церия и иттрия на основе плазмохимического окисления на технологическом участке ООО «Нанокерамика» для дальнейшего использования в качестве наноструктурных керамических композиционных материалов и изделий конструкционного и функционального назначения.

Кроме вышеотмеченных традиционных химических научных направлений СФТИ и ХФ ТГУ в ИТЦ осуществляются исследования, нацеленные на научное и технологическое обеспечение реализации современных задач и национальных приоритетов РФ, определенных в документах стратегического планирования и сконцентрированных в Указе Президента Российской Федерации «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» от 1 декабря 2016 г. № 642 [17].

Продолжением научного направления химии и технологии редких и редкоземельных элементов, которое развивалось на химическом факультете ТГУ начиная с 1935 г. под руководством профессора В.В. Серебrenникова, стали работы в области химии и технологии РЗЭ, проводимые в ИТЦ. Одной из стратегических задач технологии редких и редкоземельных металлов является дезактивация природной радиоактивности, равно как и рекультивация загрязненных объектов. От ее решения напрямую зависит переход страны на новый технологический уровень, поскольку все сверхмагнитные, сверхлегкие, сверхтвердые, сверхжаростойкие и высокопрочные конструкционные материалы создаются на основе или с использованием редких и редкоземельных элементов. Непосредственное отношение к решению этой задачи имеет разработка высокоселективных сорбентов и экстрагентов для технологий гидрометаллургической переработки руд редких и редкоземельных металлов, которой в рамках госзадания № 10.3031.2017/ПЧ под руководством доктора химических наук В.И. Сачкова занимаются сотрудники СФТИ.

В ИТЦ уже есть хороший задел по созданию подобных технологий. В 2016 г. по заказу Минпроторга РФ вместе с промпартнером – ОАО «Гидрометаллургический завод» (г. Лермонтов) – были разработаны сорбенты, смолы и технология выделения радионуклидов для промышленной технологии редкоземельных металлов. Осенью того же года технология была внедрена на площадке завода. Разрабатываемые высокоселективные сорбенты и экстрагенты помогут осваивать трудные объекты, например такие, как Чинейское месторождение. По запасам ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд оно считается одним из крупнейших в мире. Новые материалы и технологии позволят выделять данные элементы в процессе гидрометаллургического обогащения рудного сырья,

получая на выходе редкие металлы и богатую железную руду, соответствующую всем требованиям чугуно-литейных производств. Вместе с тем указанная разработка поможет организовать переработку минерального сырья в труднодоступных регионах Сибири и Заполярья. Континентальные месторождения уже сильно выработаны, поэтому очевидно, что будущее за освоением дна и шельфов морей и океанов. Многие государства включились в борьбу за богатства Арктики. Россия не должна упустить свой шанс для создания стратегических заделов на будущее. Ключевую роль в этом будут играть новые материалы и технологии, созданные учеными. В рамках развития этих направлений ученые ИТЦ СФТИ наладили тесное взаимодействие с Федеральным исследовательским центром комплексного изучения Арктики РАН (г. Архангельск).

У высокоселективных материалов есть еще одна область применения – это рекультивация загрязненных земель и водных объектов. Данная проблема характерна для России и других стран, где происходили экологические катастрофы, подобные Чернобылю, Фукусиме, Семипалатинску. Пустуют огромные территории, которые можно вернуть в сельхозоборот при помощи материалов, дезактивирующих высокотоксичные элементы. Технология их применения довольно проста: сорбент начинает работать сразу после внесения в почву. Такие разработки проведены совместно с промышленным партнером ОАО «Гидрометаллургический завод» на основе их многолетнего опыта и уже апробированы в многотоннажных промышленных масштабах на площадках завода.

Интенсивные работы проводятся в направлении развития новых гидрометаллургических экологических и ресурсоэффективных технологий переработки природного и техногенного минерального сырья. Налажено тесное взаимодействие с ведущими отраслевыми предприятиями России (Уральская горно-металлургическая компания, ООО «ЭН+ групп», «ФосАгро» и др.), Казахстана и Киргизии.

Одной из стратегических задач и наиболее актуальных проблем нефтегазовой отрасли России является добыча трудноизвлекаемой нефти. Она составляет 60–70% от общего запаса ресурсов, имеющихся в стране. Дело в том, что в процессе добычи нефти выделяют три этапа: на первом нефть поступает из пласта под действием естественных сил, поддерживающих высокое давление в пласте. На втором этапе разработка осуществляется за счёт поддержания пластового давления в продуктивных пластах закачкой в них воды или (и) газа. В ходе двух первых этапов удается добыть от 25 до 40% запасов месторождения. Третий этап – добыча трудноизвлекаемой нефти – требует особых технологий для увеличения нефтеотдачи. Без них более половины запасов всех месторождений останутся под землей.

В рамках проекта ФЦП «Разработка технологических решений по комплексной интенсификации добычи трудноизвлекаемого углеродсодержащего сырья» (научный руководитель В.А. Яновский) в ИТЦ разработаны новые реагенты, которые существенно повышают коэффициент извлече-

ния «тяжелой» нефти. В ИТЦ СФТИ удалось создать новые реагенты на основе отечественного сырья, которые в 2,5–3 раза дешевле, при этом не уступают импортным продуктам не только в качестве, но и превосходят их КПД. В состав некоторых из них входят наночастицы, повышающие рабочие характеристики реагента (нанодиоксид кремния, наноуглеродные материалы, наноалмазные частицы и др.). На основе данных реагентов можно создать несколько десятков различных эмульсионных составов, подобрав при этом композицию, оптимально подходящую под то или иное месторождение. Эффективность новых нефтевытесняющих составов подтверждена серией лабораторных экспериментов.

На сегодняшний день ИТЦ СФТИ, являясь одним из самых молодых подразделений института за время своего существования (с 2005 г.), выполнил общий объем научно-исследовательских и хозяйственных работ на сумму более 1 млрд руб., издано более 10 научных монографий по различным направлениям химической науки [11, 12, 13–22], получено более 25 патентов РФ, с 2014 г. организуется и проводится Международный симпозиум по фундаментальным вопросам разведки, добычи, разделения редких и редкоземельных элементов и создания современных материалов на их основе, по итогам которого заключены стратегические соглашения:

– Меморандум о взаимопонимании между Национальной академией наук Республики Армения и Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» от 01.09.2014 г.;

– Меморандум о взаимопонимании между научно-производственным объединением ООО «Экоатом» (Республика Армения) и Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» от 21.08.2014 г.;

– Меморандум о взаимопонимании между Акционерным обществом «Волковгеология» и Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» от 10.05.2016 г.

Подводя итог краткому обзору химико-технологических работ, выполненных в СФТИ ТГУ со дня его основания и во многом определивших научные направления на химическом факультете ТГУ, следует отметить существование в настоящее время ряда перспективных стратегических задач, которые могли бы быть выполнены объединенными химическими коллективами СФТИ и ТГУ, например:

– технологии получения титана, циркония, ниобия, тантала и редкоземельных металлов из рудно-сырьевого потенциала Мурманского сегмента Арктической зоны Российской Федерации (МС АЗР) с созданием функциональных материалов стратегического назначения на их основе. Новые сварочные материалы для арктических условий с использованием наноматериалов и нанотехнологий. Комплексная гидрометаллургическая тех-

нология переработки титаномагнетитовых и эвдиалитовых руд уникальных месторождений-гигантов МС АЗР;

– исследование аспектов ядерной, радиационной и экологической безопасности региональных объектов обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом атомных флотов с подземными комплексами размещения;

– качественные и количественные аспекты закономерностей накопления радиоизотопов, тяжелых металлов и других токсикантов в донных осадках рек и зоны смешения речных и морских вод;

– создание наноструктурированных материалов для очистки акваторий от нефти и нефтепродуктов и многие другие.

На сегодняшний день геополитические и стратегические вызовы в области развития технологий химических производств, материалов, биотехнологий, медицины и фармацевтики и других делают необходимым консолидацию совместных усилий научных коллективов Томского государственного университета в направлении разработки и реализации объединенной концепции современного развития химического направления и смежных отраслей знаний.

Литература

1. Химический факультет Томского государственного университета (к 75-летию образования) / ред. Ю.Г. Слизов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2007. 152 с.
2. Фоминых С.Ф., Куш В.В., Потекаев А.И. Организация СФТИ и его деятельность в предвоенный период: исторический очерк // Сибирский физико-технический институт: История создания в документах и материалах (1928–1941 гг.). Томск, 2005. 340 с.
3. Усанович М.И. Исследование в области теории растворов и теории кислот и оснований. Алма-Ата : Наука, 1970. 363 с.
4. Кудрявцева В.М. Сибирский физико-технический институт // Журнал технической химии. 1932. Т. 2, вып. 1.
5. Петров С.М., Майдановская Л.Г. О самовозгорании каменных углей // Труды Сибирского физико-технического института. 1936. Т. 4, вып. 3.
6. Максимова Н.К., Севастьянов Е.Ю., Сергейченко Н.В., Черников Е.В. Полупроводниковые тонкопленочные газовые сенсоры. Томск : Изд-во НТЛ, 2016. 164 с.
7. Вяткин А.П., Кривов М.А., Лаврентьева Л.Г. История организации и становления научного направления по физике полупроводников в Томском университете и Сибирском физико-техническом институте // Вестник ТГУ. 2005. № 285. С. 3–12.
8. Турубаров С.В. Фотокаталитическая селекция изотопов углерода на поверхности полупроводниковых наночастиц : дис. ... канд. физ.-мат. наук. Кемерово, 2011. 134 с.
9. Лысак Г.В. Создание и физико-химическое исследование систем «наночастицы (Ag, TiO₂, SnO₂, TiO₂/SnO₂) – полипропиленовый волокнистый носитель» : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Томск, 2011. 18 с.
10. Мелентьев С.В. Резистивный материал на основе углероднаполненного полиуретана : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2014. 18 с.
11. Мариненко Е.П., Сачков В.И., Хохлов В.А. Неводные методы переработки оксидных тепловыделяющих элементов. Ч. I: Фторирование оксидов урана и десублимация гексафторида урана. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2010. 123 с.

12. Буйновский А.С., Лазарчук В.В., Мариненко Е.П., Сачков В.И. Неводные методы переработки оксидных тепловыделяющих элементов. Ч. II: Теория и практика ректификационной и сорбционно-термической очистки гексафторида урана от примесей. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2011. 170 с.
13. Андриенко О.С., Сачков В.И., Яновский В.А. Практические методы введения фтора в органические соединения. Томск : Изд-во НТЛ, 2010. 176 с.
14. Аврамчик А.Н., Андриенко О.С., Ануфриева С.И. и др. Современные технологии редкометальной и редкоземельной промышленности / под ред. Л.И. Леонтьева, В.И. Сачкова. Томск : Изд-во НТЛ, 2016. 312 с.
15. Буйновский А.С., Жуков А.С., Малиновская Т.Д. и др. Синтез дисперсных металлоксидных материалов. Кн. 1: Плазмохимический метод получения оксидов иттрия и церия / отв. ред. Т.Д. Малиновская. Томск : Изд-во НТЛ, 2014. 140 с.
16. Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Малиновская Т.Д., Сачков В.И. Синтез дисперсных металлоксидных материалов. Кн. 1: Плазмохимический метод получения оксидов титана и циркония / отв. ред. Т.Д. Малиновская. Томск : Изд-во НТЛ, 2014. 168 с.
17. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации». М. : Кремль, 2016. 25 с. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449>
18. Абовян М.Ю., Большухин В.А., Буйновский А.С. и др. Функциональные оксидные материалы на основе редких и редкоземельных металлов / под ред. М.А. Казаряна, В.И. Сачкова. Томск : Изд-во НТЛ, 2014. 120 с.
19. Андриенко О.С., Буйновский А.С., Косова Н.И. и др. Радионуклиды в технологии переработки концентратов редких и редкоземельных металлов / под ред. Н.П. Лаверова. Томск : Изд-во НТЛ, 2015. 280 с.
20. Казарян М.А., Коновалов К.Б., Косова Н.И. и др. Жидкотопливные антитурбулентные присадки / под ред. акад. М.А. Казаряна. Томск : Изд-во НТЛ, 2014. 112 с.
21. Айрапетян В.С., Акопян А.К., Акопян К.Е. и др. Редкие и редкоземельные металлы: технологии, функциональные материалы и применение / под ред. А.С. Буйновского, М.А. Казаряна, В.И. Сачкова. Томск : Изд-во НТЛ, 2014. 560 с.
22. Казарян М.А., Бохан П.А., Бучанов В.В. и др. Оптическое и лазерно-химическое разделение изотопов в атомарных парах. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. 224 с.

Авторский коллектив:

Сачков Виктор Иванович, д-р хим. наук, доцент, зав. Инновационно-технологическим центром Сибирского физико-технического института Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: itc@spti.tsu.ru

Каракчиева Наталья Ивановна, канд. хим. наук, старший научный сотрудник Инновационно-технологического центра Сибирского физико-технического института Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: kosovanatalia@yandex.ru

Малиновская Татьяна Дмитриевна, д-р хим. наук, профессор, ведущий научный сотрудник Инновационно-технологического центра Сибирского физико-технического института Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: itc@spti.tsu.ru

Tomsk State University Journal of Chemistry, 2017, 8, 21-37. DOI: 10.17223/24135542/8/2

T.D. Malinovskaya, V.I. Sachkov, N.I. Karakchieva

Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation)

**The importance and role of Siberian-Physical Technical Institute
in the development of chemistry in Tomsk State University**

The article describes the history of chemistry becoming and developing as a science at Tomsk State University, with historical data on leading researchers and

the work they engaged in. Since 1928, the formation and development of chemical science and chemical education at the first higher educational institution in Siberia became closely connected with the opening that year of the first scientific institution beyond the Urals, the Siberian Physical–Technical Institute (SFTI), which in 1932 was included in the system of Tomsk State University (TSU). In the 1930s, this association could already be regarded as a scientific and educational complex, which throughout the world is called a research university. The emergence of the topics of scientific research and the reasons for the allocation of individual departments in the 1930s are described. For the entire period of formation, the subjects of the Institute were grouped in the following laboratories: laboratory of molecular physics, laboratory of physical chemistry, radio-laboratory, laboratory of electronic phenomena, x-ray laboratory, theoretical department, and laboratory of electronic chemistry of organic compounds. The last of them was from June 1, 1933, separated from the Institute and included in the complement of the Department of Organic Chemistry of TSU as an independent research laboratory of organic chemistry at the Chemical Faculty of TSU. The works of M.I. Usanovicha, L.E. Sabininoq, B.V. Tronov, L.G. Maidanovskaya, G.V. Mayer, N.A. Prilegaeva, A.N. Soldatov, and V.A. Presnov are described, as are the works performed at the Innovation of Technology Center of SPTI (ITC SPTI)(head of the laboratory, Doctor of Chemical Sciences V.I. Sachkov) and others. To date, ITC SPTI, one of the youngest subdivisions of the Institute since its inception in 2005, has performed a general volume of research and contract work of more than 1 billion Rub, has published more than 10 monographs on different areas of chemical science, and received more than 25 patents of the Russian Federation. Since 2014, an international symposium has been organized and conducted on fundamental questions of exploration, production, and separation of rare and rare-earth elements and creation of modern materials based on them. The topics of the works presented are enumerated along with the basic results of the projects, and monographs prepared and published.

Keywords: *Chemical Faculty of Tomsk State University; the history of the Siberian Physical-Technical Institute.*

References

1. Khimicheskii fakultet Tomskogo gosudarstvennogo universiteta (k 75-letiyuobrazovaniya) / Red. YU.G. Slizhov. Tomsk: Izd-voTom. gos. un-ta. 2007, p.152 .
2. Fominykh S.F., Kushch V.V., Potekaev A.I. Organizatsiya SFTI I ego deyatelnost v predvoennyi period: istoricheskii ocherk. Sibirskiy fiziko-tekhnicheskii institut: Istoriya sozdaniya v dokumentakh I materialakh (1928-1941 gg.). 2005, Tomsk, p. 340.
3. Usanovich M.I. Issledovanie v oblasti teorii rastvorov i teorii kislot i osnovaniy. Alma-Ata: Nauka, Kaz. SSR. 1970, p. 363.
4. Kudryavtseva V.M. Sibirskiy fiziko-tekhnicheskii institute. Zhurnal tekhnicheskoy khimii. 1932, 2 (1).
5. Petrov S.M., Maydanovskaya L.G. O samovozgoranii kamennykh ugley. Trudy Sibirskogo fiziko-tekhnicheskogo instituta. 1936, 4(3).
6. Maksimova N.K., Sevastyanov E.Yu., Sergeychenko N.V., Chernikov E.V. Poluprovodnikovye tonkoplenochnye gazovye sensory. Tomsk: izd-vo NTL. 2016, p. 164.
7. Vyatkin A.P., Krivov M.A., Lavrenteva L.G. Istoriya organizatsii i stanovleniya nauchnogo napravleniya po fizike poluprovodnikov v Tomskom universitete i Sibirskom fiziko-tekhnicheskome institute. Vestnik TGU. 2005, 285, 3-12.
8. Turubarov S.V. Fotokataliticheskaya selektsiya izotopov ugleroda na poverkhnosti poluprovodnikovykh nanochastits: dis. ... kand. fiz.-mat. nauk: 02.00.04 / S.V. Turubarov; Tomskiygos. un-t. Kemerovo, 2011, p.134.

9. Lysak G.V. Sozdanie I fiziko-khimicheskoe issledovanie sistem "nanochastitsy (Ag, TiO₂, SnO₂, TiO₂/SnO₂) – polipropilenovyy voloknistyy nositel" avtoreferat dis. ... kandidata khimicheskikh nauk: 02.00.04 / Tomsk, 2011, p. 18.
10. Melentev S.V. Rezivivnyy material na osnove ughlerodnapolnennogo poliuretana avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.16.09. Tomsk, 2014, p. 18.
11. Marinenko E.P., Sachkov V.I., Khokhlov V.A. () Nevodnye metody pererabotki oksidnykh teplovydelyayushchikh elementov. CH. I. Ftirovanie oksidov urana i desublimatsiya geksaftorida urana. Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. un-ta system upr. I radioelektroniki. 2010, p. 123.
12. Buynovskiy A.S., Lazarchuk V.V., Marinenko E.P., Sachkov V.I. Nevodnye metody pererabotki oksidnykh teplovydelyayushchikh elementov. CH. II. Teoriya i praktika rektifikatsionnoy i sorbtionno- termicheskoy ochistki geksaftorida urana ot primesey / Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. un-ta sistem upr. iradioelektroniki. 2011, p. 170.
13. Andrienko O.S., Sachkov V.I., Yanovskiy V.A. Prakticheskie metody vvedeniya flora v organicheskie soedineniya. Tomsk: Izd-vo NTL; 2010, p. 176.
14. Avramchik A.N., Andrienko O.S., Anufrieva S.I. i dr. Sovremennye tekhnologii redkometalnoy i redkozemelnoy promyshlennosti / pod red. Chlena Prezidiuma RAN L.I. Leonteva, d-ra khim. nauk V.I. Sachkova. Tomsk: Izd-vo NTL. 2016. P. 312.
15. Buynovskiy A.S., Zhukov A.S., Malinovskaya T.D. i dr. Sintez dispersnykh metalloksidnykh materialov. Kniga 1. Plazmokhimicheskii metod polucheniya oksidov ittriya i tseriya / otv. Red. T.D. Malinovskaya. Tomsk: Izd-vo NTL. 2014, p. 140.
16. Vorozhtsov A.B., Zhukov A.S., Malinovskaya T.D., Sachkov V.I. Sintez dispersnykh metalloksidnykh materialov. Kniga 1. Plazmokhimicheskii metod polucheniya oksidov titana i tsirkoniya / otv. Red. T.D. Malinovskaya. Tomsk: Izd-vo NTL. 2014, P. 168.
17. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449>
18. Abovyan M.Yu., Bolshukhin V.A., Buynovskiy A.S., i dr. Funktsionalnye oksidnye materialy na osnove redkikh i redkozemelnykh metallov / pod red. akad. NAN RA, d-ra fiz.-mat. nauk, professora M.A. Kazaryana, d-ra khim. nauk V.I. Sachkova. Tomsk: Izd-vo NTL. 2014, P. 120.
19. Andrienko O.S., Buynovskiy A.S., Kosova N.I. i dr. Radionuklidy v tekhnologii pererabotki kontsentratorov redkikh i redkozemelnykh metallov / pod red. d-ra geol.-min. nauk, akademika N.P. Laverova. Tomsk: Izd-vo NTL. 2015, P. 280.
20. Kazaryan M.A., Konovalov K.B., Kosova N.I. i dr. Zhidkotoplivnye antiturbulentnye prisadki / pod red. akad. NAN RA, d-ra fiz.-mat. nauk, professora M.A. Kazaryana. Tomsk: Izd-vo NTL. 2014, P. 112.
21. Ayrapetyan V.S., Akopyan A.K., Akopyan K.E. i dr. Redkie i redkozemelnye metally: tekhnologii, funktsionalnye materialy i primeneniye / pod red. d-ra tekhn. nauk, professora A.S. Buynovskogo, akad. NAN RA, d-ra fiz.-mat. nauk, professora M.A. Kazaryana, d-ra khim. nauk V.I. Sachkova. Tomsk: Izd- voNTL. 2014, P. 560.
22. Kazaryan M.A., Bokhan P.A., Buchanov V.V. i dr. Opticheskoe i lazerno-khimicheskoe razdeleniye izotopov v atomarnykh parakh. M.: FIZMATLIT. 2010, P. 224.

Information about authors:

Sachkov Victor I., Professor of Science, Head of Innovative-Technical Center of Siberian Physico-Technical Institute of Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: itc@spti.tsu.ru

Karakchieva Natalia I., Ph.D, Senior Researcher, Innovative-Technical Center of Siberian Physico-Technical Institute of Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: kosovanatalia@yandex.ru

Malinovskaya Tatyana D., Professor of Science, Leading Researcher of Innovative-Technical Center of Siberian Physico-Technical Institute of Tomsk State University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: itc@spti.tsu.ru