



**ОТЧЕТ
О РАБОТЕ НАУЧНОГО СОВЕТА РАН
ПО МАТЕРИАЛАМ И НАНОМАТЕРИАЛАМ**

2019 год

Научный совет РАН по наноматериалам организован при Президиуме РАН постановлением Президиума РАН № 97 от 9 апреля 2002 г.

Постановлением президиума РАН от 26 января 2016 г. № 18 «Научный совет РАН по наноматериалам» переименован в «Научный совет РАН по материалам и наноматериалам», утверждено Положение о Совете и его измененный состав

Постановлением президиума РАН № 58 от 10 апреля 2019 г. утверждено Положение о Научном совете РАН по материалам и наноматериалам и состав Совета.

Состав Научного совета РАН по материалам и наноматериалам Бюро совета

- | | |
|----------------|--|
| Алдошин С.М. | - академик РАН, председатель |
| Каблов Е.Н. | - академик РАН, заместитель председателя |
| Карпов М.И. | - член-корреспондент РАН, заместитель председателя |
| Цивадзе А.Ю. | - академик РАН, заместитель председателя |
| Бадамшина Э.Р. | - доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем химической физики Российской академии наук, ученый секретарь |
| Алешин Н.П. | - академик РАН |
| Алфимов М.В. | - академик РАН |
| Алымов М.И. | - член-корреспондент РАН |
| Леонтьев Л.И. | - академик РАН |
| Ляхов Н.З. | - академик РАН |

Члены совета

- | | |
|----------------|--|
| Бойнович Л.Б. | - академик РАН |
| Бузник В.М. | - академик РАН |
| Бухтияров В.И. | - академик РАН |
| Валиев Р.З. | - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» (по согласованию) |
| Волова Т.Г. | - доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» Институт биофизики (по согласованию) |

- Глезер А.М. - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина» (по согласованию)
- Гмошинский И.В. - доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии» (по согласованию)
- Грачев В.А. - член-корреспондент РАН
- Добаткин С.В. - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (по согласованию)
- Иванов В.В. - член-корреспондент РАН
- Иванов В.П. - кандидат технических наук, некоммерческая организация «Российский Союз предприятий и организаций химического комплекса» (Российский Союз химиков) (по согласованию)
- Иевлев В.М. - академик РАН
- Канель Г.И. - член-корреспондент РАН
- Колобов Ю.Р. - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет" (по согласованию)
- Конов В.И. - академик РАН
- Краснянский М.Н. - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (по согласованию)
- Кулаковский В.Д. - член-корреспондент РАН
- Куличихин В.Г. - член-корреспондент РАН
- Лунин В.В. - академик РАН
- Лысак В.И. - академик РАН
- Мажуга А.Г. - доктор химических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева"

- Мелихов И.В. - член-корреспондент РАН
- Микитась А. В. - Федеральное государственное бюджетное учреждение «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (по согласованию)
- Мулюков Р.Р. - член-корреспондент РАН
- Озерин А.Н. - член-корреспондент РАН
- Рудской А.И. - академик РАН
- Санин В. Н. - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук (по согласованию)
- Солнцев К.А. - академик РАН
- Стегайлов В.В. - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук (по согласованию)
- Ткачев А.Г. - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Гамбовский государственный технический университет» (по согласованию)
- Хохлов А.Р. - академик РАН
- Цветков Ю.В. - академик РАН
- Чурбанов М.Ф. - академик РАН
- Шайтан К.В. - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова» (по согласованию)
- Шевченко В.Я. - академик РАН
- Якобовский М.В. - член-корреспондент РАН
Ярославцев А.Б. - член-корреспондент РАН

Положение О Научном совете РАН по материалам и наноматериалам

1. Общие положения

1.1. Научный совет РАН по наноматериалам организован постановлением Президиума РАН от 9 апреля 2002 г. № 97.

Постановлением президиума РАН от 26 января 2016 г. № 18 Научный совет РАН по наноматериалам был преобразован в Научный совет РАН по материалам и наноматериалам.

Научный совет РАН по материалам и наноматериалам (далее – Совет) создан с целью содействия федеральному государственному бюджетному учреждению «Российская академия наук» (далее – Академия) в реализации задач и функций, возложенных на нее Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и уставом РАН, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 27 июня 2014 г. № 589.

1.2. Совет является совещательным и научно-консультативным, координационным органом Академии.

1.3. Совет в своей деятельности руководствуется Конституцией Российской Федерации, законодательством Российской Федерации, уставом Академии, постановлениями общего собрания членов РАН, постановлениями президиума РАН, распоряжениями президента Академии и настоящим Положением.

1.4. Деятельность Совета осуществляется во взаимодействии с отделениями РАН по областям и направлениям науки, региональными отделениями Академии, структурными подразделениями аппарата президиума РАН, а также в информационном сотрудничестве с органами государственной власти, научными организациями и образовательными организациями высшего образования Российской Федерации независимо от их ведомственной принадлежности, иными заинтересованными организациями по вопросам, входящим в компетенцию Совета.

1.5. Совет имеет бланк со своим наименованием.

2. Порядок создания Совета

2.1. Совет состоит при президиуме РАН.

2.2. Решение о создании Совета принимается президиумом РАН по представлению президента Академии, вице-президентов Академии, главного ученого секретаря президиума РАН, членов президиума РАН.

2.3. Председатель Совета утверждается постановлением президиума РАН.

2.4. Положение о Совете его состав и структура утверждаются президиумом РАН. Изменения и дополнения в Положение о Совете, в его составе и структуре осуществляется постановлением президиума РАН.

2.5. Совет может быть реорганизован или ликвидирован постановлением президиума РАН.

3. Основные задачи и функции Совета

3.1. Основной целью Совета является оказание содействия Академии в реализации возложенных на него законодательством Российской Федерации и уставом РАН задач и функций.

3.2. Деятельность Совета направлена на решение следующих основных задач:

3.2.1. изучение, анализ достижений и прогноз развития отечественной и мировой науки, определение приоритетных направлений ее развития в области материалов и наноматериалов;

3.2.2. участие в научно-консультативном и экспертном обеспечении деятельности государственных органов и организаций;

3.2.3. координация научной и научно-технической деятельности в области материалов и наноматериалов;

3.2.4. популяризация и пропаганда науки, научных знаний, достижений научных исследований.

3.3. Для реализации своих основных задач Совет выполняет следующие функции:

3.3.1. проводит анализ состояния и тенденций развития отечественной и мировой науки в области материалов и наноматериалов;

3.3.2. участвует в разработке предложений по определению приоритетных направлений развития фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований в Российской Федерации в области материалов и наноматериалов с учетом мировых тенденций развития науки;

3.3.3. участвует в подготовке предложений по формированию государственных программ научных исследований в области материалов и наноматериалов;

3.3.4. участвует в разработке предложений об использовании результатов законченных научно-исследовательских работ в области материалов и наноматериалов;

3.3.5. участвует в осуществлении экспертного научного обеспечения деятельности государственных органов и организаций в области материалов и наноматериалов;

3.3.6. способствует организации и координации комплексных научных исследований на междисциплинарном и межведомственном уровнях в области материалов и наноматериалов;

3.3.7. представляет предложения по развитию материальной и социальной базы науки, повышению степени интеграции науки и образования, социальной защищенности научных работников;

3.3.8. участвует в работе с молодыми учеными, по привлечению талантливой молодежи к научной деятельности, в разработке предложений по совершенствованию подготовки научных кадров;

3.3.9. участвует в подготовке к изданию аналитических и информационных материалов по тематике материалов и наноматериалов;

3.3.10. участвует в пропаганде и популяризации науки, научных знаний и достижений;

3.3.11. содействует укреплению связей Академии с научными организациями и образовательными организациями высшего образования, выполняющими фундаментальные научные исследования и поисковые научные исследования, иными заинтересованными организациями, органами государственной власти Российской Федерации, органами государственной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, иными государственными органами;

3.3.12. устанавливает необходимые контакты и взаимодействие с другими советами, комитетами и комиссиями Академии;

3.3.13. оказывает содействие в развитии и укреплении международных связей с научными организациями, работающими в области материалов и наноматериалов;

3.3.14. участвует в организации национальных и международных научных конференций, симпозиумов, выставок, семинаров и школ по вопросам, относящимся к области материалов и наноматериалов;

3.3.15. участвует в иных научных и научно-организационных мероприятиях, проводимых Академией;

3.3.16. рассматривает другие вопросы по поручению президиума РАН;

3.3.17. готовит для соответствующих министерств и ведомств аналитические записки о состоянии фундаментальных наук в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях, полученных российскими учеными в области материалов и наноматериалов.

4. Состав и структура Совета

4.1. Совет формируется в составе председателя, заместителей председателя, ученого секретаря и членов Совета.

4.2. Членами Совета могут быть члены РАН, сотрудники аппарата президиума РАН, а также по согласованию ведущие ученые и представители научных организаций и образовательных организаций высшего образования, научных центров, научных и научно-технических обществ, институтов развития, органов государственной власти и других организаций, участвующих в научных исследованиях по направлениям деятельности Совета. К деятельности Совета по согласованию могут привлекаться зарубежные ученые.

4.3. В Совете может быть образовано бюро в составе председателя, его заместителей, ученого секретаря и членов бюро.

4.4. В структуре Совета для решения возложенных на него задач могут быть организованы секции по отдельным направлениям деятельности, постоянные или временные рабочие группы, комиссии (подкомиссии).

4.5. Председатель Совета:

4.5.1. утверждает план работы Совета, повестку заседания и состав лиц, приглашаемых на заседание Совета;

4.5.2. организует работу Совета и председательствует на заседаниях;

4.5.3. подписывает протоколы заседаний и другие документы Совета;

4.5.4. обеспечивает коллективное обсуждение вопросов, внесенных на рассмотрение Совета;

4.5.5. формирует отчет о проделанной работе и наиболее важных результатах, полученных в рамках деятельности Совета;

4.5.6. распределяет обязанности между своими заместителями.

4.6. Заместитель председателя Совета:

4.6.1. курирует одно или несколько направлений деятельности Совета;

4.6.2. участвует в подготовке планов работы Совета;

4.6.3. участвует в подготовке отчета о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности Совета;

4.6.4. в отсутствие председателя осуществляет руководство Советом.

4.7. Ученый секретарь Совета:

4.7.1. организационно обеспечивает работу Совета, готовит рабочие материалы к заседаниям, оформляет протоколы заседаний;

4.7.2. готовит и согласовывает с председателем проекты документов и других материалов для обсуждения на заседаниях Совета;

4.7.3. уведомляет членов Совета о дате, месте и повестке предстоящего заседания;

4.7.4. рассылает членам Совета документы и материалы;

4.7.5. участвует в подготовке отчета о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности Совета;

4.7.6. обеспечивает хранение документации Совета.

4.8. Члены Совета:

4.8.1. руководствуются положением о Совете;

4.8.2. регулярно посещают заседания Совета, назначенные его председателем;

4.8.3. своевременно выполняют поручения Совета;

4.8.4. обеспечивают связь Совета с представляемыми ими организациями;

4.8.5. вносят предложения и замечания к планам работы и по текущей деятельности Совета в целях повышения его эффективности;

4.8.6. запрашивают информацию о рассмотрении своих предложений;

4.8.7. получают информацию о деятельности Совета;

4.8.8. вносят предложения по формированию повестки дня заседаний Совета;

- 4.8.9. по поручению председателя возглавляют секции, рабочие группы и комиссии (подкомиссии) Совета;
- 4.8.10. участвуют в подготовке материалов по рассматриваемым вопросам;
- 4.8.11. выступают с докладами на заседаниях Совета.

5. Порядок работы Совета

- 5.1. Совет работает в соответствии с ежегодными планами, утверждаемыми его председателем.
- 5.2. Совет решает вопросы в пределах задач и полномочий, возложенных на него настоящим положением.
- 5.3. Совет для решения возложенных на него задач и осуществления функций вправе:
 - 5.3.1. рассматривать и принимать решения по вопросам профильной деятельности в области материалов и наноматериалов на своих заседаниях или заседаниях бюро;
 - 5.3.2. создавать секции, постоянные или временные рабочие группы, комиссии (подкомиссии) для решения задач, входящих в компетенцию Совета;
 - 5.3.3. проводить плановые, внеочередные и заочные мероприятия (координационные совещания, конференции, сессии и симпозиумы) по вопросам деятельности Совета в области материалов и наноматериалов;
 - 5.3.4. по согласованию с руководителями научных организаций и образовательных организаций высшего образования, а также научных центров, научных и научно-технических обществ, институтов развития и других организаций запрашивать материалы по вопросам, относящимся к деятельности Совета;
 - 5.3.5. приглашать на свои заседания с правом совещательного голоса представителей заинтересованных организаций, членов РАН, ведущих российских ученых, сотрудников аппарата президиума РАН, представителей органов государственной власти;
 - 5.3.6. готовить и при необходимости выносить на обсуждение президиума РАН вопросы по профилю Совета.
- 5.4. Заседания Совета созываются по решению председателя или бюро по мере необходимости. Заседания могут проводиться с использованием технических средств аудио- и/или видео-конференц-связи.
- 5.5. В перерывах между заседаниями Совета оперативную работу может осуществлять бюро, которое правомочно принимать решения с последующим их утверждением на заседаниях Совета. Заседания бюро проводятся по мере необходимости. Решения бюро Совета принимаются простым большинством голосов присутствующих на заседании членов бюро открытым голосованием и оформляются протоколом заседания за подписью председателя и ученого секретаря Совета.
- 5.6. Совет правомочен принимать решения по рассматриваемым вопросам, если на заседании присутствует не менее половины из списочного состава членов Совета.
- 5.7. Решения Совета принимаются простым большинством голосов присутствующих на заседании открытым голосованием и оформляются протоколом за подписью председателя и ученого секретаря Совета.
- 5.8. Решения Совета носят рекомендательный характер.
- 5.9. Члены Совета могут квалифицированным большинством голосов принять решение о проведении тайного голосования по любому обсуждаемому ими вопросу.
- 5.10. Совет ежегодно до 1 марта представляет в президиум РАН отчеты о проделанной работе и наиболее значимые результаты, полученных в рамках своей деятельности.
- 5.11. Совет может иметь адрес в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», ссылка на который помещается на портале РАН.

Работа Научного совета РАН по материалам и наноматериалам в 2019 г.

1. Малотоннажная химия

Работа Научного совета РАН по материалам (далее Совета, Научного совета) в 2019 г. продолжила начатую в 2018 году такую актуальную для РФ тему как **малотоннажная химия**. Эта работа проводилась при активном участии Первого заместителя Министра Министерства промышленности и торговли РФ С.А. Цыба и сотрудников Министерства.



Актуальность проблемы малотоннажной химии (МТХ) связана с тем, что наращивание инновационной продукции практически невозможно без малотоннажных химических продуктов. На долю производства малотоннажной и среднетоннажной химии в России сегодня приходится не более 10 – 15 % общего объема производства химической продукции, тогда как в развитых странах она составляет 40 % и более, спрос в значительной степени удовлетворяется за счет импорта, причем по многим стратегически важным продуктам зависимость от импорта доходит до 100 %.

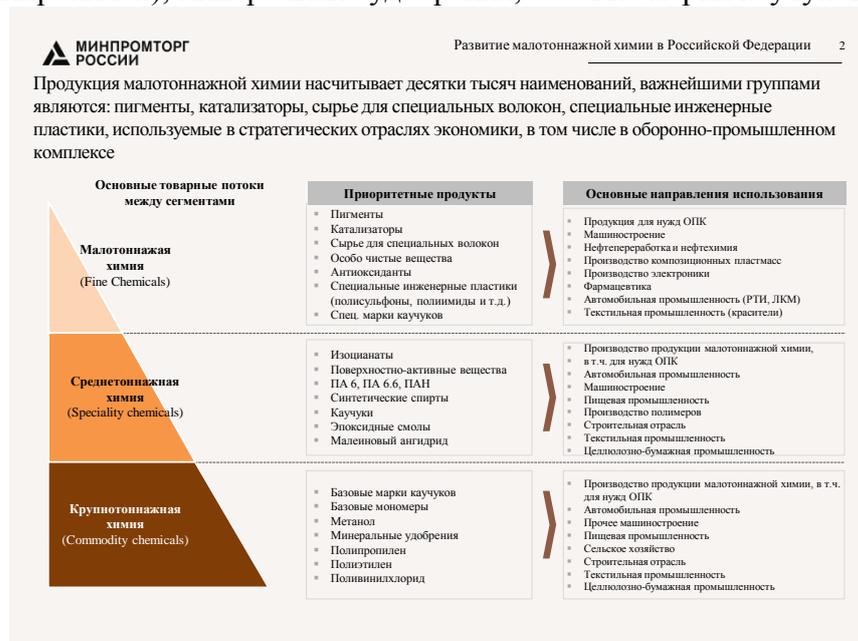
Несмотря на то, что в мировой практике отсутствует единая методология отнесения химической продукции к малотоннажной и среднетоннажной химической продукции, на сегодняшний день применяется относительно устоявшееся деление химической продукции на следующие сегменты:

commodity chemicals — крупнотоннажные, базовые, биржевые продукты;
 specialty chemicals — среднетоннажная специальная химия;
 fine chemicals — малотоннажная химическая продукция.

Химическая промышленность сегментируется по продуктовому признаку, в основе которого лежат стоимостные и объемные параметры, а также специфичность выпускаемой продукции.



К категории крупнотоннажной продукции со стандартными характеристиками относится более ста продуктов, производимых на производствах годовой мощностью, как правило, не менее 300 тыс. тонн. Стоимость такой продукции обычно не превышает 1,5 \$ за кг. К таким продуктам можно отнести метанол, базовые олефины и полимеры (ПВХ, полиэтилен, полипропилен), минеральные удобрения, базовые марки каучуков.



Для среднетоннажных продуктов мощности обычно составляют 50 - 150 тыс. тонн в год. К среднетоннажной продукции с заданными свойствами можно отнести производство изоцианатов, малеинового ангидрида, синтетических спиртов, эпоксидных смол, ПАБ,

ПА6,6 и ПАН-волокна. Обычно цены на такую продукцию формируются в диапазоне 1,5 - 5 долл. США за кг.

К малотоннажной химии, как правило, относят продукцию высоких переделов с выпуском единичной мощности не более 50 тыс. тонн в год, стоимость для малотоннажных химических продуктов значительна и находится в диапазоне 5 – 10 \$/кг. Номенклатура такой продукции весьма разнообразна, при этом стоимость её существенно выше стоимости крупнотоннажной и среднетоннажной химии. Компании, развивающие производства малотоннажной химии должны обладать достаточными финансовыми средствами и иметь собственные технологии.

Небольшие объемы товарных партий продукции и колоссальный ассортимент малотоннажной химии требуют от производителя гибкого подхода, профессионализма и прочной связи с научными структурами. Для большинства российских игроков такой бизнес обременителен и неинтересен.

К малотоннажным продуктам можно отнести пигменты, катализаторы, сырье для специальных волокон, особо чистые вещества, антиоксиданты, специальные инженерные пластики (полисульфоны, полиимиды и т.д.), специальные марки каучуков.

Продукция средне- и малотоннажной химии отличается большим разнообразием и высокой специфичностью применения.

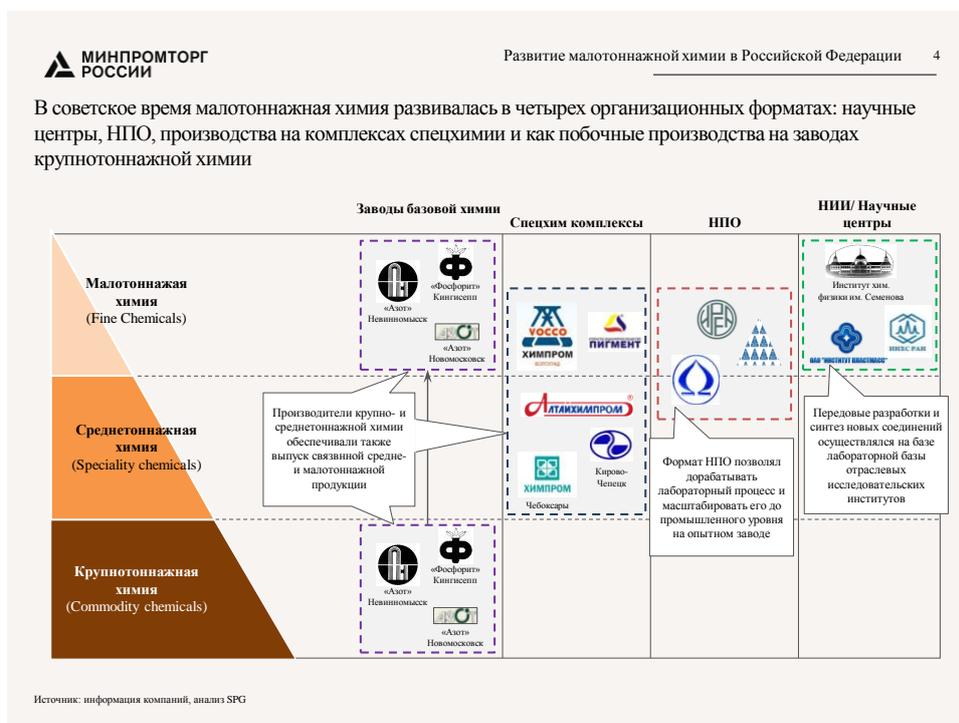
В мире можно выделить несколько моделей производителей малотоннажной химии. Наиболее значимые игроки – это научно-технические центры крупнейших интегрированных химических концернов (Dow, Basf, Du Pont и др), а также высоко диверсифицированные игроки в средне- и малотоннажном переделе с высоким научно-техническим потенциалом (Huntsman, Momentive и т.д.).



Важнейшей отличительной чертой бизнес-моделей в части производства средне- и малотоннажной химии является критичная роль технологий. Как правило, производителем продукции является сам владелец технологии, что существенно ограничивает доступ к ней других игроков. Такая ситуация особенно негативно проявляется в части химии, необходимой для производства продуктов двойного назначения.

Зарубежные компании имеют собственные научно-технические центры (центры компетенций или центры развития), занимающиеся научными разработками продуктов и технологий со значительным штатом и объемом ежегодного финансирования.

В советское время малотоннажная химия развивалась в четырех организационных форматах: научные центры, включая институты АН, НПО, специальные химкомплексы (так называемые в советское время химпромы или производственные объединения), не основные (побочные) производства на заводах, производящих крупнотоннажную химию. Производители крупно- и среднетоннажной химии обеспечивали выпуск малотоннажной продукции, сопоставимой по типу используемого сырья. Формат НПО позволял сочетать синтез новых продуктов, разработку производственного процесса и его масштабирование до промышленного уровня (действующий пример - партнерство ГНИИХТЭОС и АО «Силан»).



Для развития российской малотоннажной химии предлагается использовать лучший советский и зарубежный опыт. Целесообразно рассматривать формирование единой группы на базе профильных НИИ и казенных предприятий; использовать государственную поддержку для целей проведения НИОКР, обеспечение долгосрочных контрактов, а также необходима интеграция с крупнотоннажной химией и стимулирование крупнейших российских производителей на проведение НИОКР и производство малотоннажной химии.

Говоря о *проблемах развития малотоннажной химии в России* необходимо выделить *разрозненность научной и технологической поддержки отрасли, отсутствие механизмов, обеспечивающих корректную постановку, финансирование и контроль исполнения химико технологических задач общегосударственного масштаба — от проработки идеи новых химических продуктов до внедрения разработанных конкурентоспособных технологий в промышленном масштабе.*

Следующей проблемой являются *недостаточные компетенции в области маркетинга, брендинга и продаж отечественных производителей малотоннажной и среднетоннажной химической продукции как на внутренний, так и на зарубежный рынки.*

Не менее значимым барьером развития малотоннажной химии является *специфика сырьевого обеспечения.* Многие компании отмечают *отсутствие ключевого среднетоннажного отечественного сырья, что сдерживает развитие последующих переделов.* Кроме того, производители отмечают сложность и нестабильность доступа к незначительным (до 10 т/месяц) объемам сырья (побочных продуктов) нефтепереработки

и пиролиза, поскольку ВИНК, как правило, реализуют их на тендерах, а не по долгосрочным договорам.

МИНПРОМТОРГ РОССИИ		Развитие малотоннажной химии в Российской Федерации 5
Основные ограничения, сдерживающие развитие производства малотоннажной химии		
1	Технологии и исследования	Разрозненность фундаментальной науки, инжиниринга и конечных потребителей технологий
2	Маркетинг и продвижение	Слабые коммерческие и технические компетенции по работе на внешних рынках Низкий уровень информационной поддержки, сложности сертификации продукции при экспорте
3	Сырьевое обеспечение	Отсутствие ряда ключевых производств продуктов среднего передела
4	Конкуренция	Низкая конкурентоспособность отечественных производителей вследствие технологического отставания и применения импортного сырья
5	Финансирование	Отсутствие недорогих источников финансирования проектов и неразвитость инструментов проектного финансирования

Кроме того, *низкая конкурентоспособность отечественных производителей из-за технологического отставания и применения импортного сырья, а также отсутствие недорогих источников финансирования проектов и неразвитость инструментов проектного финансирования* также негативно влияет на развитие производства малотоннажной химии в Российской Федерации.

Малотоннажная химия насчитывает сотни тысяч наименований и ни одно государство мира не может полностью обеспечить себя такой продукцией. Поэтому для развития малотоннажной химии важно определить приоритеты с позиций значимости малотоннажной химической продукции для развития других отраслей и, конечно, с учетом возможностей сырьевого и технологического обеспечения их производства и экономической целесообразности.

С целью решения перечисленных проблем Минпромторгом России (во исполнение распоряжения Правительства Российской Федерации от 18.05.2016 № 954-р с 2016 г. об утверждении плана мероприятий по реализации Стратегии развития химического и нефтехимического комплекса) проведена работа по разработке плана мероприятий по развитию производства малотоннажной химии в Российской Федерации на период до 2030 года в рамках образованного Межведомственного научно-технического совета, в который вошли представители заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, науки и бизнеса, а также представители от РАН.

По итогам проведенных заседаний Совета была разработана и утверждена Правительством Российской Федерации **«дорожная карта»**, в которой определены основные критерии отнесения химической продукции к продукции малотоннажной и среднетоннажной химии:

для малотоннажной химической продукции

- объем потребления в Российской Федерации — до 1 тыс. тонн в год;
- единичные мощности — до 10 тыс. тонн в год.

для среднетоннажной химической продукции:

- объем потребления в Российской Федерации — от 1 до 50 тыс. тонн в год;
- единичные мощности — до 150 тыс. тонн в год.

План мероприятий («дорожная карта») по развитию производства малотоннажной химии в Российской Федерации на период до 2030 года
утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 15.12.2017 № 2834-р

Критерии отнесения химической продукции к продукции малотоннажной и среднетоннажной химии



Малотоннажная химическая продукция

объем потребления **до 1 тыс. тонн в год**
единичные мощности **до 10 тыс. тонн в год**



Среднетоннажная химическая продукция

объем потребления **от 1 до 50 тыс. тонн в год**
единичные мощности **от 10 до 150 тыс. тонн в год**

В России к МТХ зачастую относят продукцию, уже перешедшую в мировой практике в разряд среднетоннажной. Кроме того, отечественное потребление отдельных химических продуктов исчисляется не тоннами, а десятками и сотнями килограммов, что выводит производство подобных продуктов в область лабораторных технологий производства. Аналогичная ситуация и в среднетоннажной химии: отечественные мощности, как правило, в четыре–восемь раз меньше современной мощности мирового уровня.

Матрица приоритизации продуктов малотоннажной химии



В результате анализа российского рынка потребления МТХ был определен перечень из 27 основных продуктовых сегментов, взятый за основу приоритетности при разработке «дорожной карты» (высокотехнологичные полимеры; - прочие пластики и каучуки специального назначения; строительные добавки; ПАВ; дезинфицирующие вещества; клеи, герметики (в том числе нефтеполимерные и синтетические смолы); химические вещества для пищевых добавок; химические вещества для кормовых добавок; вещества

для водоподготовки; пигменты; прочие добавки для лакокрасочных материалов; пламегасители (антипирены); антиоксиданты; особо чистые вещества и материалы на их основе для электроники, оптоэлектроники и фотоники; катализаторы, инициаторы, ингибиторы (кроме ингибиторов коррозии, катализаторов нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности) и др.; добавки для пластиков и каучуков прочие; специальные лубриканты и технические жидкости; вещества для нефтедобычи и нефтепродуктотранспорта; вещества для производства бумаги; вещества для горного дела; вещества для производства текстиля; ингибиторы коррозии; присадки к топливам и смазочным материалам; химические средства защиты растений; вещества для косметики; вещества для создания изображений; химические реактивы и растворители).

На основе матрицы приоритизации сформирован перечень приоритетных продуктовых направлений, включающий девять сегментов, для которых характерен высокий потенциал импортозамещения, значительный объем внутреннего рынка и возможность достижения необходимого эффекта масштабирования для обеспечения конкурентоспособности на мировом уровне в ближайшие 5 - 10 лет:

поверхностно активные вещества; клеи, герметики (в том числе нефтеполимерные и синтетические смолы);

химические вещества для пищевых добавок;

катализаторы, инициаторы, ингибиторы (кроме ингибиторов коррозии, катализаторов нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности);

химические средства защиты растений;

химические реактивы и растворители;

вещества для нефтедобычи и транспортировки нефти по трубопроводам;

вещества для водоподготовки; прочие пластики и каучуки специального назначения.

Стоит также отметить, что при наличии устойчивого спроса на внешних рынках, представляется целесообразным локализация на территории Российской Федерации конкурентоспособных производств по выпуску МТХ, ориентированных на экспорт продукции, не включенный в указанный выше перечень продуктовых сегментов.

В «дорожной карте» сформирован комплекс мер, направленных на устранение выявленных проблем, она включает в себя пять направлений развития.



Поскольку импортные продукты находятся, как правило, в середине своего жизненного цикла и к моменту внедрения отечественной технологии на рынке с высокой степенью вероятности появятся продукты и решения с улучшенными потребительскими свойствами, то импортозамещение не может быть самоцелью развития малотоннажной химической продукции и среднетоннажной химической продукции.

В связи с этим большое внимание Российской Федерацией уделяется *опережающему развитию новых технологий (1)*, для чего необходимы постоянный конкурентный анализ мировых тенденций в области малотоннажной химической продукции и среднетоннажной химической продукции, выработка действенных механизмов коммерциализации технологий.

В рамках "дорожной карты" предлагается рассмотреть возможность создания на базе ГИСП информационно-справочного раздела по малотоннажной химической продукции, выпускаемой на территории Российской Федерации. Создание такой информационной площадки позволит сконцентрировать усилия на разработке и коммерциализации новых продуктов и технологий от стадии инвестиционных идей до внедрения в промышленное производство.

Кроме того, ранее ФАНО России, а теперь *Министерству науки и высшего образования* поручено *создание межведомственного совета по вопросам, связанным с формированием и реализацией комплексного плана научных исследований в интересах отечественной промышленности в области развития малотоннажной химической продукции.*

Для достижения опережающего развития новых технологий представляется целесообразной поддержка НИОКР в развитии производств малотоннажной химической продукции в рамках действующих механизмов поддержки и программ институтов развития, а также посредством формирования программы Союзного государства в части развития среднетоннажной химической продукции.

На развитие производств малотоннажной и среднетоннажной химической продукции в 2017 году уже было выделено 173,7 млн руб., в том числе:

в рамках ПП РФ от 30.12.2013 № 1312 – 154,2 млн руб. по следующим направлениям:

- разработка отечественной технологии производства гелла камеди мощностью 250 тонн в год, исполнитель – ООО «Зеленые линии» (20 млн руб.);

- разработка и освоение серийного производства витамина К и пищевых добавок на базе растительных экстрактов мощностью: витамин К и содержащие добавки – 60 тонн в год, функциональные кормовые добавки – 504 тонн в год, растительные экстракты – 144 тонн в год, исполнитель – ОАО «Кемеровская фармацевтическая фабрика» (15 млн руб.);

- разработка и организация производства карбоната кальция синтетического (химически осажденного мела (РСС) CaCO_3), предназначенного для химической, фармацевтической промышленности, промышленности строительных материалов (изделий) и строительных конструкций, мощностью: первый сорт - 150 тонн в год; второй сорт – 13 850 тонн в год (61 млн руб.);

- создание инновационного импортозамещающего производства монокалийфосфата очищенного на базе ОАО "Гидрометаллургический завод" мощностью 2 200 тонн в год (50 млн руб.);

- создание и освоение серийного производства импортозамещающих высокоэффективных композитных теплоизоляционных материалов на основе аэрогелей из отечественного сырья мощностью 66 тонн в год, исполнитель – ООО «НИАГАРА» (8,2 млн руб.);

в рамках ПП РФ от 03.01.2014 № 3 в размере 5,3 млн руб. на реализацию комплексного инвестиционного проекта «Модернизация производства и создание производства импортозамещающих продуктов: противотурбулентной присадки

мощностью 3 000 т, малеинового ангидрида мощностью 2 000 т, смолы ЭД-20 мощностью 5 000 т на базе промышленной площадки ОАО «Алтайский Химпром».

в рамках средств ФРП – 14,2 млн руб. ООО НПП «КФ» на реализацию проекта «Создание технологической линии по производству 2,5 димеркапто 1,3,4 тидиазола», мощностью 300 тонн в год.

Следующее направление - стимулирование создания производств малотоннажной и среднетоннажной химической продукции (2).

«Дорожной картой» предусмотрена проработка вопроса по формированию механизмов стимулирования развития и финансирования создания производств.

Кроме того, планом мероприятий предусмотрено утверждение перечня комплексных инвестиционных проектов по развитию производства малотоннажной и среднетоннажной химической продукции в рамках определенных Правительством Российской Федерации приоритетов.

Отечественные производители отмечают отсутствие в Российской Федерации производств ключевого среднетоннажного сырья - малеинового ангидрида, адипиновой кислоты, изоцианатов, эпихлоргидрина и базовых эпоксидных смол на его основе, дуrolа и пиромеллитового диангидрида, высших жирных спиртов и кислот, этиламинов, хлористого метила, бутандиола и другого мало- и среднетоннажного сырья, что является сдерживающим фактором для развития последующих переделов. Без создания надежной отечественной сырьевой базы по указанным продуктам интенсификация производства малотоннажной химической продукции и среднетоннажной химической продукции в Российской Федерации представляется маловероятной.

Развитие производств среднетоннажных видов сырья будет осуществляться с учетом плана мероприятий по импортозамещению в отрасли химической промышленности.

В условиях экономических санкций со стороны стран Запада эффективным средством выхода сложившегося положения является импортозамещение, основная цель которого – замещение импортных аналогов отечественной конкурентоспособной продукцией.

Наращивание производства инновационной продукции, в том числе в стратегически важном секторе экономики – оборонно-промышленном комплексе, практически невозможно без малотоннажных химических продуктов.

Уже сейчас предприятиями химической промышленности реализовано 8 проектов по производству мало- и среднетоннажной продукции в рамках реализации плана импортозамещения

- в январе ООО «Шебекинская индустриальная химия» (Белгородская обл.) запустило производство препарата синтетического жирующего мощностью 2 000 тонн в год; производство средства для устранения борушистости мощностью 2 000 тонн в год;

- в июле 2015 г. ООО «Новохром» (оренбургская область) запустило производство натрия сернистого технического мощностью 6 000 тонн в год;

- в июле 2016 г. ОАО ПО «Алтайский химпром» (Алтайский край) запустило производство эпоксидно-диановых смол мощностью 5 000 тонн в год; производство противотурбулентной присадки мощностью 3 000 тонн в год;

- в III квартале 2016 г. ООО «Новохром» (Оренбургская обл.) запустило производство витамина К3 мощностью 1 000 тонн в год; производство 2-метилнафталина мощностью 1 000 тонн в год;

- в IV квартале 2016 г. ПАО «Пигмент» (Тамбовская обл.) запустило производство фталоцианина меди (органические пигменты) мощностью 500 тонн в год.

Еще порядка 10 проектов сейчас находятся в процессе реализации:

- модернизация производства и создание производства малеинового ангидрида мощностью 2 000 т на базе промышленной площадки ОАО «Алтайский Химпром»;

- разработка и организация производства карбоната кальция синтетического (химически осажденного мела (PCC) CaCO₃), предназначенного для химической,

фармацевтической промышленности, промышленности строительных материалов (изделий) и строительных конструкций, мощностью: первый сорт - 150 тонн в год; второй сорт – 13 850 тонн в год;

- создание йодо-бромного производства на территории Ставропольского края из гидроминерального сырья мощностью 144 т/год (ООО «РИСК»);

- строительство йодного производства на основе гидроминерального сырья мощностью: калий-йодат 12 000 кг; йодная настойка 222 000 л, йодопирон 12 000 кг, калий йодистый 45 035 кг (ООО «Инвестиционные технологии»).

- организация производства тетрагидроиндола мощностью 200 тонн в год

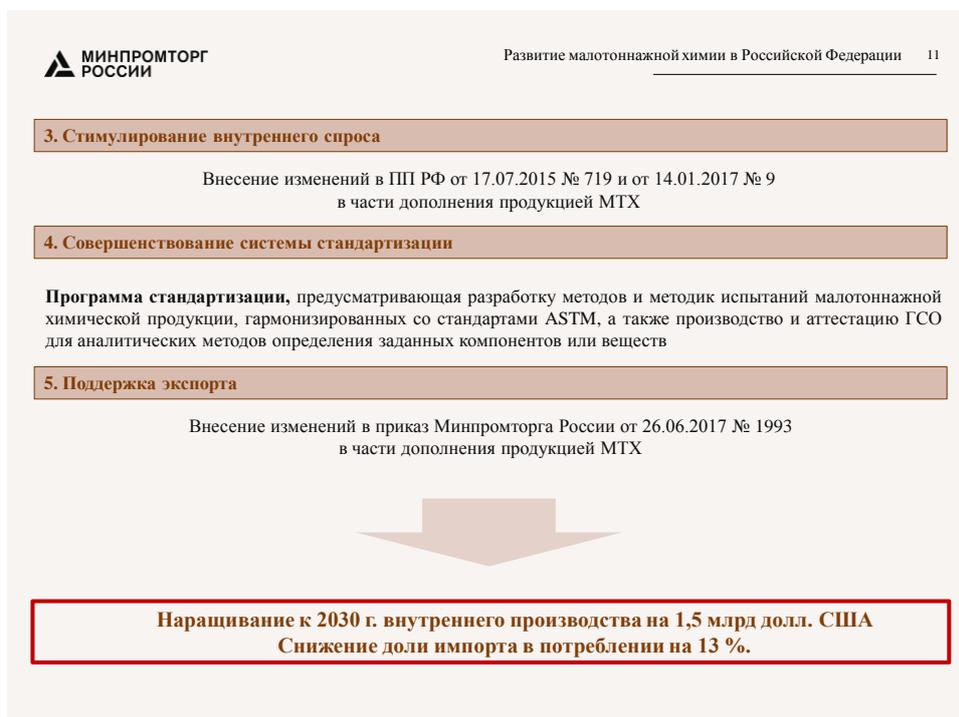
- организация производства гелла камеди мощностью 250 тонн в год, исполнитель – ООО «Зеленые линии»;

- организация производства хлорида магния высокой чистоты мощностью до 300 тонн в год (ООО «НИИТОНХиБТ»);

- организация производства ментола мощностью 45 тонн в год (ООО «НИИТОНХиБТ»);

- организация производства 2,5-димеркапто-1,3,4-тиадиазола (ДМТД) мощностью 300 тонн в год (ООО НПП «КФ»).

Следующим направлением является стимулирование внутреннего спроса (3). Спрос выступает ключевым драйвером развития любого бизнеса, в том числе и развития производства МТХ и СТХ. Сложившийся в Российской Федерации рынок малотоннажной химической продукции и среднетоннажной химической продукции не является дефицитным, наоборот, характеризуется высоким уровнем конкуренции, более того, конкуренция идет не только на уровне продуктов, но и на уровне потребительских решений.



На мировом рынке конкуренция с российскими товарами еще острее из-за устойчивых позиций мировых глобальных компаний - производителей МТХ и СТХ, особенностей регионального технического регулирования оборота продукции, языковых барьеров, эффективных механизмов поддержки экспорта международных стран-игроков (Китай, Германия, США и другие).

Развитие отечественного производства МТХ и СТХ должно ориентироваться как на внутренний, так и на мировой рынок.

При этом обеспечение внутреннего рынка МТХ и СТХ в части государственных закупок должно осуществляться преимущественно за счет товаров, произведенных на территории Российской Федерации. Для этого, основываясь на предложениях от заинтересованных организаций, необходимо внести соответствующие изменения в ПП РФ от 17.07.2015 г. № 719 и от 14.01.2017 № 9.

Немаловажным мероприятием является (4) совершенствование системы стандартизации.

Данное мероприятие нацелено на совершенствование системы стандартизации в Российской Федерации в области продукции МХ, что в результате приведет к соответствующей корректировке внутреннего спроса в пользу современных инновационных продуктов и создаст новые рыночные ниши для российских производителей, включая развитие экспортных направлений, а также снизит капитальные затраты на создание и реконструкцию производств.

И, наконец, (5) поддержка экспорта. Данное мероприятие решение нацелено на развитие используемых практик и механизмов продвижения продукции отечественных производителей как на внутреннем, так и на мировом рынках посредством повышения информированности российских производителей малотоннажной химической продукции и среднетоннажной химической продукции и популяризацию среди них программ финансово гарантийной поддержки экспорта и страхования экспортных операций, предоставляемых государством, а также посредством создания легитимных на внешнем рынке механизмов сертификации малотоннажной и среднетоннажной химической продукции.

Реализация «дорожной карты» позволит создать условия для наращивания к 2030 г. внутреннего производства на 1,5 млрд долл. США и снижения доли импорта в потреблении на 13 %.

Советом осуществлен сбор информации о разработках Институтов РАН в области малотоннажных продуктов. В ходе анализа полученных материалов выявлены следующие направления:

1. Разработки в области продуктов МТХ в соответствии с перечнем приоритетных продуктовых сегментов (Приложение 1).
2. Разработки в области металлов (Приложение 2).
3. Разработки в области создания особо чистых материалов (Приложение 3).

В развитие темы «Малотоннажная химия» 11 апреля 2019 г. состоялось заседание Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам с представителями ПАО «Казаньоргсинтез» по теме «Разработки Институтов РАН в области малотоннажной химии» со следующей повесткой и решением:

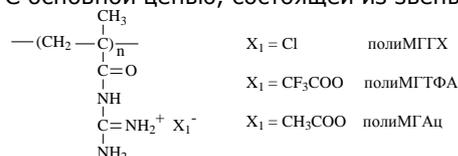
1. Вступительное слово председателя Научного совета РАН, академика РАН С.М. Алдошина (положение и новый состав Совета)
2. Доклад зам.директора ИНХС РАН, кхн С.В. Антонова «Водо- и органорастворимые гуанидинсодержащие полимеры и сополимеры для очистки воды и водоподготовки».
3. Доклад зав.сектором ИНХС РАН, кхн Л.Н. Занавескина «Технологии процессов получения монохлоруксусной кислоты, эпихлоргидрина и эпоксидной смолы».
4. Доклад зав.отделом ИПХФ РАН, кхн И.В. Седова «Новые высокоэффективные каталитические процессы для получения гексена-1 и аминотолуолов».
5. Доклад снс кхн Е.Е. Файнгольда, зав.лабораторией ИПХФ РАН кхн Н.М. Бравой «Каталитические технологии высокоэффективного синтеза этилен/пропиленовых и этилен/пропилен/диеновых каучуков, в том числе специального назначения».
6. Доклад дтн А.А. Юдакова, член-корреспондента РАН С.Ю. Братской, «Разработки Института химии ДВО РАН в области материалов и технологий очистки воды».

Заслушав представленные доклады, Совет РАН по наноматериалам отметил, что:

1. В ИНХС РАН разработано семейство новых полимеров и сополимеров с биоцидными свойствами на основе гуанидина, растворимых в зависимости от строения в воде и органических растворителях. Регулирование молекулярной массы полимеров обеспечивает пролонгированность действия и возможность получения нецитотоксичных биоцидных добавок.

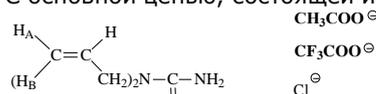
Полимеры на основе гуанидина, синтезированные в ИНХС РАН

1. С основной цепью, состоящей из звеньев метакрилоилгуанидина

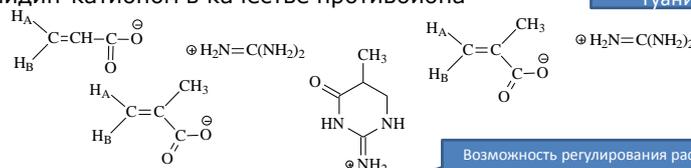


Ковалентно
связанный
гуанидин

2. С основной цепью, состоящей из звеньев диаллилгуанидина

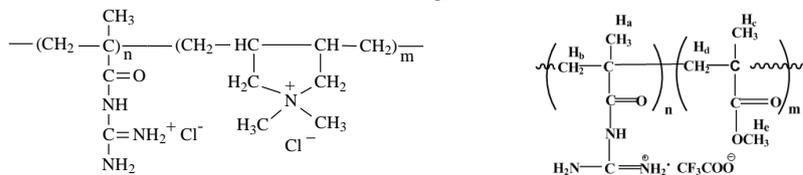


3. С гуанидин-катионом в качестве противоиона



Ионно связанный
гуанидин

4. Сополимеры метакрилоилгуанидина

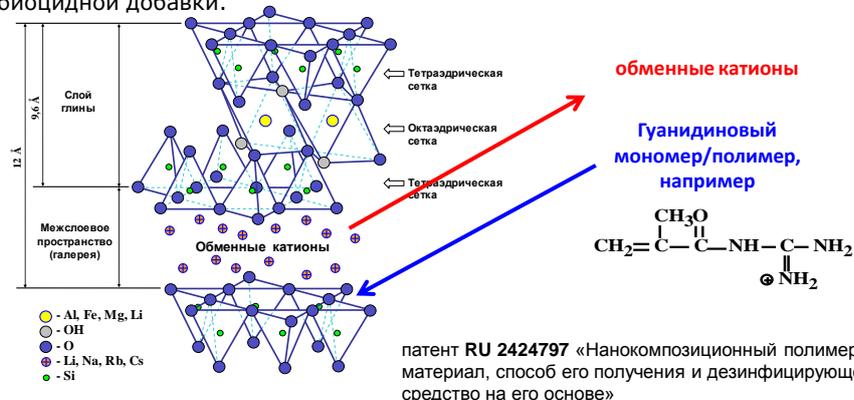


Возможность регулирования растворимости в органических средах

Полученные полимеры удалось иммобилизовать на неорганическом носителе на основе монтмориллонита, что позволило повысить удобство применения биоцидов и сохранить биоцидную активности. Использование носителя позволяет, в частности, вводить гуанидиновые полимеры в различные материалы и покрытия в качестве биоцидной добавки.

Комплексная добавка на носителе

Полученные полимеры удалось иммобилизовать на неорганическом носителе на основе монтмориллонита, что позволило повысить удобство применения биоцидов. Показано сохранение биоцидной активности полимеров, нанесенных на носитель. Использование носителя позволяет, в частности, вводить гуанидиновые полимеры в различные материалы и покрытия в качестве биоцидной добавки.



В ИНХС РАН действует пилотная установка, позволяющая осуществлять наработку полимеров и сополимеров на основе гуанидина в килограммовых количествах.

Пилотная установка синтеза (со)полимеров гуанидина

В ИНХС РАН действует пилотная установка, позволяющая осуществлять наработку полимеров и сополимеров на основе гуанидина в килограммовых количествах. Проводится отработка технологии синтеза данных полимеров на пилотной установке



Объем реактора – 20 л



www.ips.ac.ru

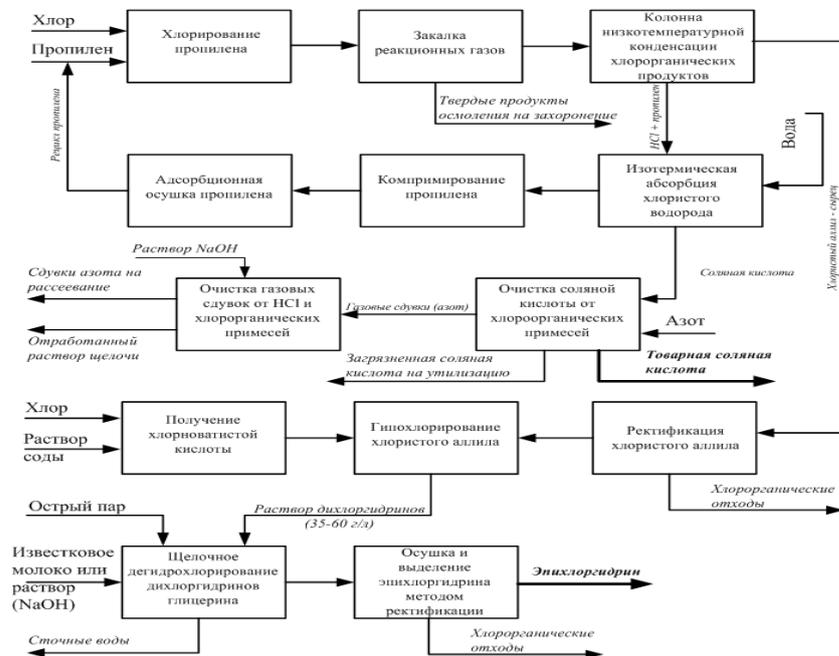
В настоящее время проводится отработка технологии синтеза данных полимеров на пилотной установке.

2. В ИНХС РАН совместно с ООО "Синтез-2" разработана современная технология промышленного процесса получения *моноклоруксусной кислоты* (МХУК). Все основные стадии производства прошли опытные или опытно-промышленные испытания. Технология процесса получения МХУК запатентована в 11 европейских странах, а также в Китае и Иране. ИНХС РАН готов разработать исходные данные для проектирования промышленной линии многотонажного производства МХУК заданной мощности, а также

оказывать техническое сопровождение при проектировании запуске производства на проектную мощность.

В плане технологии получения *эпихлоргидрина*, по мнению специалистов ИНХС РАН, для РФ наиболее рациональным является создание производства эпихлоргидрина из пропилена.

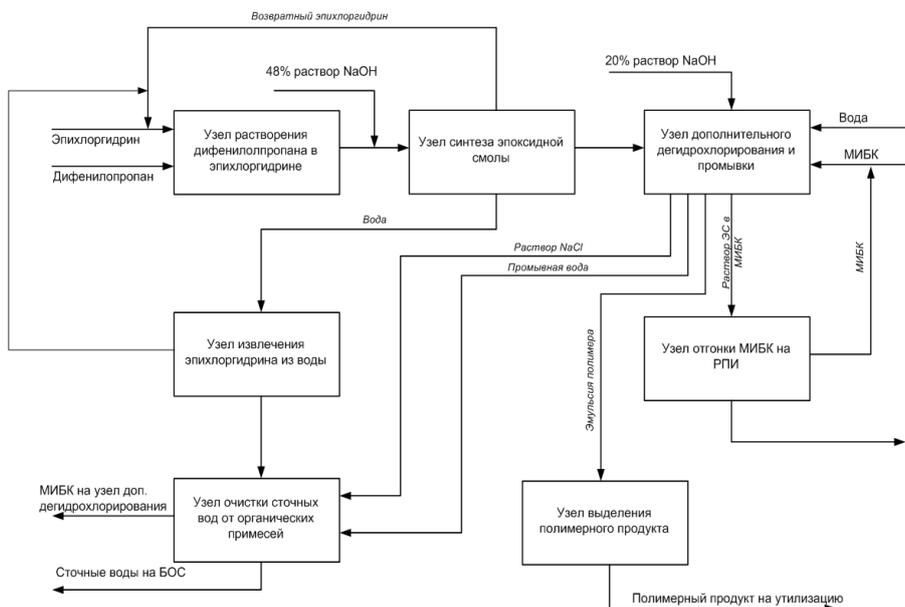
Блок-схема процесса получения эпихлоргидрина из пропилена



В то же время ИНХС РАН готов разработать исходные данные для проектирования промышленного производства эпихлоргидрина как из пропилена, так и из глицерина, а также оказывать техническую помощь при проектировании производства и принять участие в его пуске и освоении мощности.

В Институте разработана *современная, высокоэффективная и автоматизированная технология производства эпоксидных смол* с получением продуктов, качество которых не уступает качеству смол ведущих мировых производителей.

Блок-схема производства эпоксидных смол



Новая технологическая схема оснащена современной автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП), что обеспечивает получение смолы гарантированно высокого качества. ИНХС РАН готов разработать исходные данные для проектирования промышленного производства эпоксидных смол, а также оказывать техническую помощь при проектировании производства и принять участие в его пуске и освоении мощности.

3. В ИПХФ РАН разработаны *эффективные металлоценовые каталитические системы на основе диметильных металлоценовых комплексов и новых алюминийорганических активаторов (изобутилалюмоксанов и арилоксидов алкилалюминия) для синтеза СКЭП и СКЭПТ.*

Новые эффективные активаторы металлоценовых катализаторов для получения сополимеров олефинов и диенов 6

Изобутилалюмоксаны

ТИБАО
олигомерный изобутилалюмоксан (ИБАО)

Арилоксиды изобутилалюминия

R = H, Me, ⁱBu

Достоинства изобутилалюмоксанов и арилоксидов изобутилалюминия как активаторов металлоценовых катализаторов:

1. Простота синтеза из доступных в РФ исходных реагентов
2. Применение при низких мольных соотношениях активатор/катализатор (Al/M=100-500)
3. Устойчивость при хранении;
4. Хорошая растворимость и эффективность в качестве активаторов в среде алифатических углеводородов.

С применением новых каталитических систем синтезированы каучуки, превосходящие по физико-механическим свойствам (предел прочности при растяжении; удлинение на разрыв) промышленные аналоги. Разработанные металлоценовые каталитические системы с новыми активаторами являются перспективными для их включения в отечественную эффективную каталитическую технологию производства каучуков СКЭП и СКЭПТ.

Разработаны новые эффективные металлоценовые каталитические системы для синтеза этилен/пропилен/диеновых каучуков (СКЭПТ) 7

Металлоцен

M=Ti, Zr, Hf
R= H, 2-Me

Новые активаторы:
Изобутилалюмоксаны (ИБАО)
 $(-Al(iBu)_2-O)_n$;
арилоксиды изобутилалюминия (АО)
 $(ArO)Al^iBu_2$; $(ArO)_2Al^iBu$

Этилен,
Пропилен,
диен

СКЭП
СКЭПТ

Новые каталитические системы

[1] Патент РФ № 2477289, 2013; [2] Патент РФ № 2588496, 2016.

Сопоставление физико-механических характеристик этилен/пропилен/диеновых каучуков, полученных на новых каталитических системах*, и промышленных аналогов

Этилен/пропилен/диеновый синтетический каучук	Активатор	Предел прочности на разрыв, МПа	Удлинение при разрыве, %
СКЭПТ (ИПХФ РАН) 1	ИБАО	16-19	590-790
СКЭПТ (ИПХФ РАН) 2	АО	16-20	500-570
Vistalon (ExxonMobil)	MAO	11-12	250-410
Keltan (ARLANXEO)	MAO	10-12	370-440

*Каталитические системы $rac-Et(2-MeInd)_2ZrMe_2$ / активатор

В ИПХФ РАН разработаны новые эластомерные наноккомпозиты СКЭП, содержащие ранее не применявшийся для этих целей модифицированный алкоксиалкил и алкоксиалкенил силанами нанонаполнитель *Нафен* (NafenTM, нановолокна $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$).
Нанонаполненные

Синтез наноккомпозита 12

Сополимеризация этилена с пропиленом
в присутствии модифицированного нафена

Синтез наноккомпозита

Каталитическая система $\text{rac-Et(2-MeInd)}_2\text{ZrMe}_2/\text{изобутилалюмоксан}$

Фотографии ТЕМ срезов пленок наноккомпозитов

Наноккомпозит 1

$\text{Al-O-}[_n\text{Si-винил}]$

Наноккомпозит 2

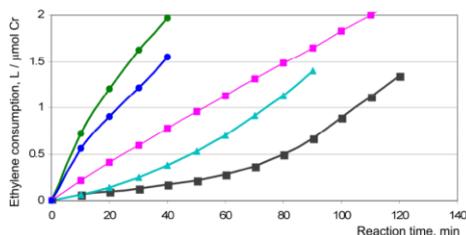
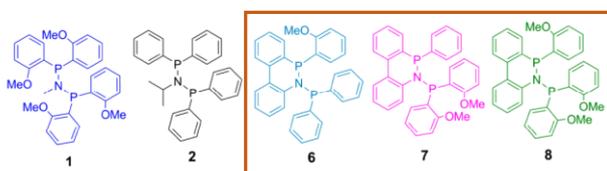
$\text{Al-O-}[_n\text{Si-октил}]$

СКЭП проявляют улучшенные физико-механические характеристики (прочность на разрыв, удлинение на разрыв) по сравнению с ненаполненными сополимерами, что делает их перспективными материалами, в том числе и для специального назначения.

4. В ИПХФ РАН в кооперации с другими организациями разрабатываются *новые каталитические процессы для получения ценных нефтехимических продуктов, в том числе гексена-1 и аминотолуолов*. Наиболее эффективными и селективными из разработанных на настоящий момент катализаторов тримеризации этилена являются комплексы хрома с тридентатными лигандами.

Высокоселективные каталитические системы олигомеризации этилена в гексен-1 и октен-1

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Институт проблем химической физики РАН



Комплекс	Селективность, %	
	1-гексен	1-октен
1	85,1	7,9
2	21,6	73,5
6	41,9	49,4
7	15,4	84,1
8	61,0	30,0

Преимущества:

- ✓ Высокая активность
- ✓ Регулируемая селективность по гексену-1 и октену-1

Nifant'ev I.E., Vinogradov A.A., Vinogradov A.A., Roznyatovsky V.A., Grishin Yu.K., Ivanyuk A.V., Sedov I.V., Churakov A.V. and Ivchenko P.V. // *Organometallics*. 2018. 37(16), pp. 2660–2664.

Исследованы оригинальные каталитические системы олигомеризации этилена в гексен-1 и октен-1 и показано, что можно регулировать селективность катализаторов олигомеризации в сторону преимущественного образования гексена-1 или в сторону преимущественного образования октена-1, что открывает возможности создания высокоэффективных технологических процессов получения высших олефинов с высокой селективностью и возможностью быстрой перенастройки технологического процесса.

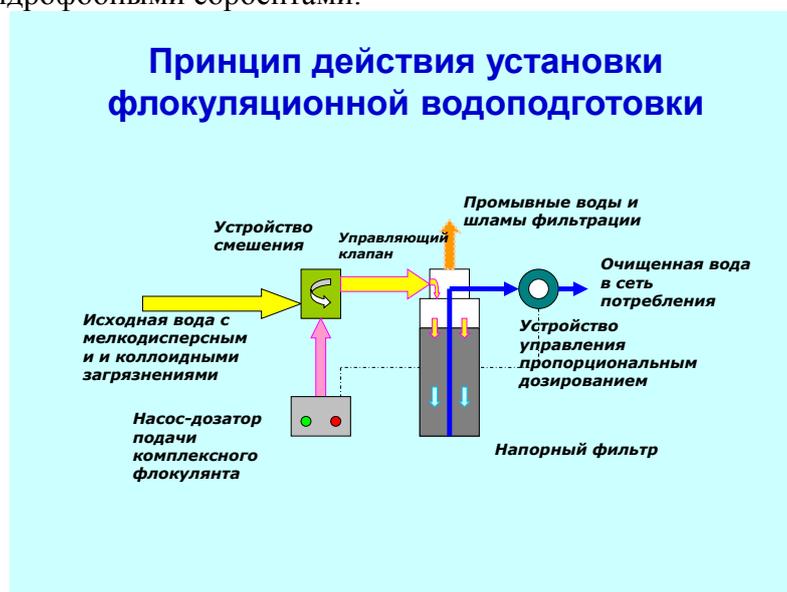
В ИПХФ РАН также разработана опытная технология гидрирования в непрерывном варианте в аппарате оригинальной конструкции (запатентованной) смеси динитротолуолов до соответствующих аминпродуктов при давлении водорода до 3 бар, температуре 50 -70оС, в среде изопропанола, в присутствии катализатора Pd/C -5%. с размером частиц 100 – 200 мкм.

Высокоэффективная реакторная система



Разработанные решения позволяют добиться усовершенствования периодической технологии с уходом от растворителя (СНЗОН), использования пирофорного скелетного никеля, повышенных (до 25 бар) давлений Н₂. Разработанная технология может быть реализована как в непрерывном, так и в периодическом вариантах.

5. В ИХ ДВО РАН в области водоочистки разработаны технология глубокой очистки питьевой и технологической воды флокулянтами и флокуляционными композициями на основе водорастворимых форм хитозана и технология очистки промышленных сточных и льяльных вод от органических примесей, в том числе от нефтепродуктов гидрофобными сорбентами.



Разработанные технологии отработаны на опытно-промышленных установках, защищены авторскими свидетельствами и патентами РФ (более 10). На сорбент для очистки промышленных и льяльных вод получены ТУ 5717-010-02698192-2006. Ряд флокулянтов на основе водорастворимых ионных форм хитозана с общим названием «Хитофлок» производится по ТУ № 2163-007-02698192-200, флокуляционные композиции на основе хитозана и неорганического коагулянта оксихлорида алюминия – по ТУ № 2163-008-02698192-2004. Разработки ИХ ДВО РАН по водоочистке отмечены дипломом самого представительного в РФ водного форума «Экватэк», золотой медалью форума «Высокие технологии-Москва».

Фильтры 400 м3/час(Лучегорск)



Также в ИХ ДВО РАН разработаны триботехнические материалы и защитные покрытия, которые могут широко использоваться в машиностроении, ремонтных и других производствах.

Совет по итогам заседания решил:

1. Признать заслушанные технологии и разработки в области малотоннажной химии в целом актуальными и перспективными.
2. Провести анализ разработок, наиболее близких к стадии промышленного внедрения, с представителями предприятий, занимающихся выпуском химической продукции, в частности, с представителями ПАО «Казаньоргсинтез».
3. Разработчикам процессов и технологий по направлениям – металлоценовые катализаторы процесса получения СКЭПТ, процесса получения гексена-1 и технологии получения полигуанидинов – продолжить работу с промышленностью, в частности, с представителями ПАО «Казаньоргсинтез», для оценки их коммерциализации.
4. Обсудить перспективы ускорения процесса коммерциализации рассмотренных выше опытных технологических вариантов с представителями Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям) в рамках разработанных программ, финансируемых Фондом.
5. С учетом обновления состава Совета, провести письменный опрос среди членов совета предложений по новым разработкам в области на малотоннажной химии с кратким описанием проблемы и актуальности предлагаемых технологических решений.

2. Особенности поведения материалов в экстремальных условиях

В 2019 году Научный совет по этой теме провел два заседания, первое из которых прошло 19 июня со следующей повесткой:

1. Вступительное слово председателя Научного совета РАН академика РАН Сергея Михайловича Алдошина
2. Доклад Главного конструктора ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина») доктора физико-математических наук Дмитрия Витальевича Петрова «Контроль динамических свойств конструкционных материалов в условиях дрейфа технологий».
3. Доклад заместителя директора Института физики взрыва ФГУП «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ) доктора физико-математических наук Виктора Алексеевича Раевского «Некоторые результаты исследований реакции металлов на экстремальные динамические воздействия».
4. Доклад ВРИО директора Института проблем химической физики РАН доктора физико-математических наук Игоря Владимировича Ломоносова «Фундаментальные свойства материалов при экстремальных условиях».

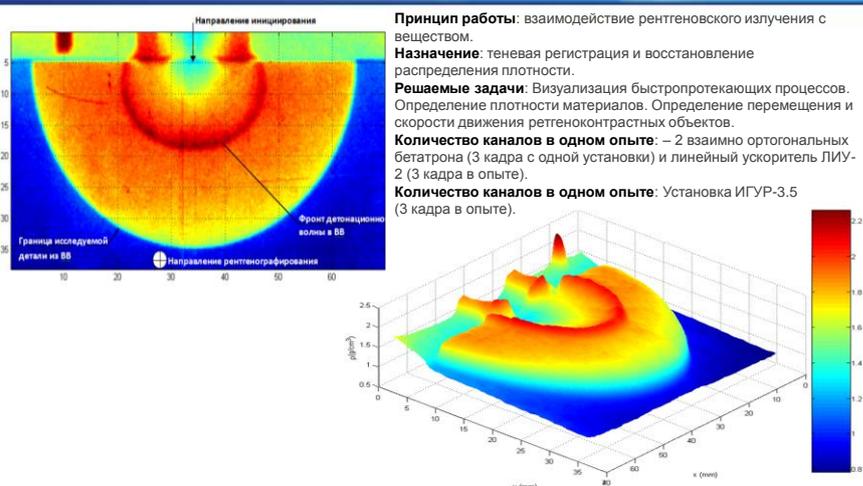
Заслушав доклады, Совет РАН по материалам и наноматериалам отметил, что:

1. Физика экстремальных состояний вещества была сформирована при решении атомной проблемы. Разработка специальных изделий различных классов в существенной степени основана на результатах исследований свойств веществ и процессов при экстремальных условиях, генерируемых мощными ударными волнами.



В свою очередь, создание особо мощных специальных зарядов стимулировало изучение физических процессов, происходящих в условиях, ранее недостижимых в лабораторных экспериментах. Поэтому, наряду с измерениями параметров взрывов, практически с первых испытаний начались исследования различных свойств веществ, в том числе ударной сжимаемости. За более чем шестидесятилетний период практических исследований, во Всероссийском научно-исследовательском институте технической физики им. академика Е.И. Забабахина (ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академика Е.И. Забабахина») накоплен большой объем экспериментальных данных по поведению материалов в экстремальных условиях, которые еще требуют систематизации и анализа с позиции фундаментальной науки.

Диагностика ударно-волновых процессов Импульсная рентгенография



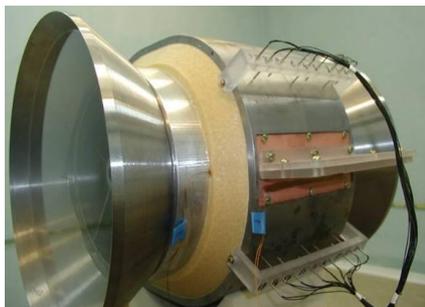
www.rosatom.ru

11

Прогресс в области математического моделирования, молекулярного моделирования быстротекущих процессов сопровождается возрастанием требований к информативности и точности экспериментальных исследований. Последнее в сочетании с совершенствованием измерительной техники, происходящим в течение двух последних десятилетий, приводит к качественному изменению характера информации получаемой в эксперименте, а также к резкому увеличению объема данных, получаемых в каждом опыте.

Совмещение оптической и рентгенографической методик

Назначение: визуализация газодинамических течений.
 Фоторегистраторы со скоростью развертки 3,75 км/с (2 млн. кадр/с),
 временное разрешение 50 нс, пространственное разрешение – 20-100 лин/мм;



Радиус оболочки 40 мм
 время схождения оболочки 24 мкс
 инициирование наружное вдоль двух образующих
 экраны на торцах трубы для защиты от световых и механических помех
 газ в полости – пропан

www.rosatom.ru

12

Однако для ряда задач важным является сохранение преимущества измерений, что позволяет проводить прямое сравнение с полученными ранее эмпирическими данными. Необходимость таких сравнений возрастает в связи с дрейфом технологий производства конструкционных материалов и в частности материалов, являющихся эталонными для ударно-волновых экспериментов. Необратимость изменения технологий (дрейф) на сегодняшний день является очевидной и выражается в первую очередь в их совершенствовании, а также в создании принципиально новых методов изготовления материалов, в том числе с использованием аддитивных технологий. В связи с этим, чрезвычайно актуальным является отслеживание таких изменений, а для многих

организаций, в том числе, для Всероссийского научно-исследовательского института технической физики им. академика Е.И. Забабахина, в первую очередь, контроль изменения динамических свойств конструкционных материалов.

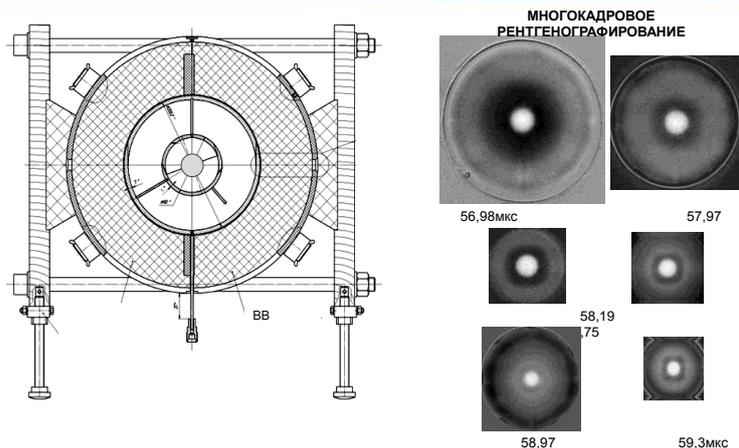
Заслуживают особого внимания основные достижения в области диагностики быстропротекающих процессов, включая действующие и разрабатываемые методы нагружения вещества и методы регистрации быстропротекающих процессов, применяющиеся в РФЯЦ-ВНИИТФ в интересах физики экстремальных состояний вещества и контроля динамических свойств материалов в условиях дрейфа технологий их изготовления, а также задачи, требующие объединения усилий прикладной и фундаментальной наук.

2. РФЯЦ – ВНИИЭФ является общепризнанным пионером в исследованиях веществ при экстремальных условиях. В Институте физики взрыва ВНИИЭФ разработаны и активно применяются взрывные генераторы ударных волн различных типов, включая сферические кумулятивные системы. С их помощью выполнены ударно-волновые эксперименты для большого числа веществ – металлов, сплавов, различных конструкционных материалов, минералов и горных пород, различных химических соединений. Результаты представлены в сотнях оригинальных публикаций и компендиумах ударно-волновых данных.

В настоящее время в Институте физики взрыва ВНИИЭФ проводятся материаловедческие исследования, направленные на решение следующих актуальных задач:

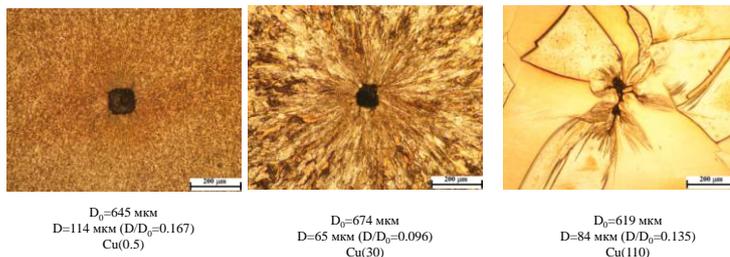
- получение экспериментальных данных по ударно-волновой и изоэнтропической сжимаемости в широком диапазоне параметров. Разработка уравнений состояния;
- исследование реологических, упругопластических свойств материалов при высоких давлениях и скоростях деформации. Построение моделей прочности в рассматриваемых условиях;
- исследование откольного и деформационного разрушения, диспергирования и пыления свободной поверхности при ударно-волновом нагружении;
- исследование фазовых переходов в ударных волнах.

Исследование изоэнтропической сжимаемости материалов при давлениях до 100 МБ



Сотрудниками Института разработан метод исследования изоэнтропической сжимаемости металлов до давлений десятки ~ 100 Мбар, не имеющий аналогов в мировой науке. На примере меди показана технология исследований влияния характера деформирования на свойства и структуру материала. Рассмотрены некоторые неожиданные и до конца необъяснимые эффекты, проявляющиеся при ударно-волновом нагружении.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ



$P=2.1\text{ГПа}$ $t_{yB}=2.55\text{мкс}$

www.vniief.ru

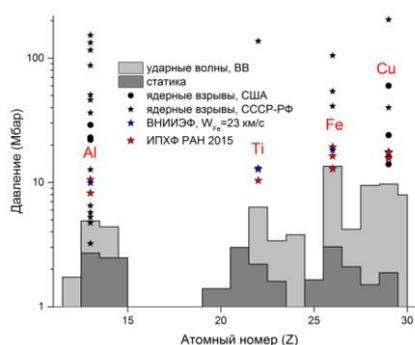
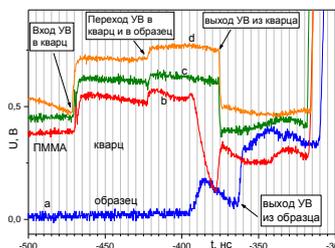
23

3. Чрезвычайно актуальными являются вопросы поведения структуры материалов при экстремальных условиях, ожидаемые новые химические эффекты, методы получения экстремальных состояний в лабораторных условиях и исследования физико-химических свойств веществ, поскольку согласно современным представлениям более 90% наблюдаемого вещества Вселенной находится в условиях экстремально высоких давлений и температур.

В связи с этим большое значение приобретают такие работы, проводимые в ИПХФ РАН, как:

- анализ состояния проблемы экспериментального и теоретического изучения фундаментальных физико-химических свойств материалов при экстремальных условиях, описания физико-химических превращений, фазовых границ плавления и испарения, эффектов перестройки электронной структуры, ионизации, металлизации и диэлектризации;

Маховый взрывной генератор ИПХФ РАН



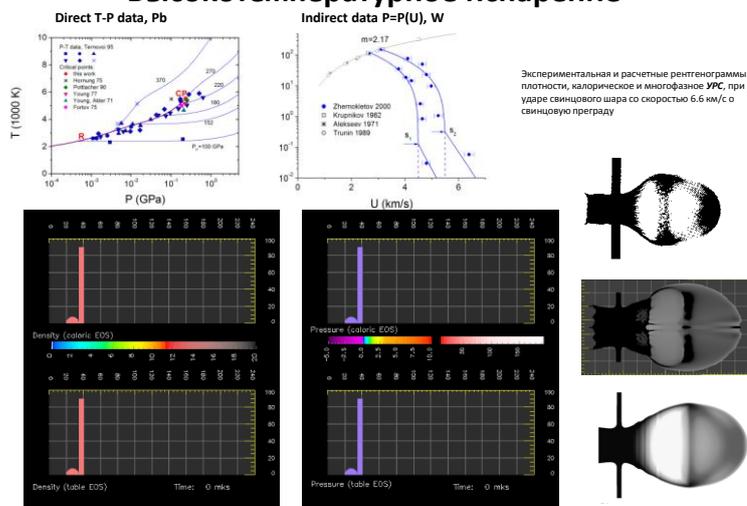
Новые данные ИПХФ РАН:
Al 0.82-1.05 ТПа, Ti 1.04-1.28 ТПа,
Cu 1.57-1.76 ТПа, Fe 1.29-1.92 ТПа
dD/D<2%

Государственный контракт Н.4х.44.90.13.1112

- экспериментальные исследования процессов высокоскоростного деформирования и нагружения в широком диапазоне скоростей и построение определяющих соотношений (реологических моделей);

- проведение экспериментальных исследований свойств материалов в волнах ударного сжатия, повторного ударного сжатия, многоступенчатого ударного сжатия, изэнтропического расширения ударносжатого вещества;

Высокотемпературное испарение



- построение широкодиапазонных моделей физико-химических свойств материалов, расчеты свойств в сопоставлении с имеющимися теоретическими и экспериментальными данными при экстремальных условиях;

- вопросы численного моделирования физико-химических процессов различной природы в условиях мощного энерговыделения, внедрения моделей свойств в численные коды, качества описания и достоверности расчетных результатов;

- вопросы разработки, функционирования и представления стандартных экспериментальных данных и аппроксимаций термодинамических свойств материалов в виде онлайн-банка данных.

Обсудив представленные доклады, Совет по материалам и наноматериалам принял следующее решение:

1) Признать заслушанные исследования, разработанные экспериментальные методики и теоретические подходы в области направлений, связанных с поведением материалов в условиях ударно-волновых нагрузений, в целом актуальными и перспективными. Продолжить рассмотрение проблем прочности и пластичности материалов экстремальных условиях нагружения на следующих заседаниях Совета.

2) Отметить успешное многолетнее сотрудничество организаций Госкорпорации РОСАТОМ РФЯЦ - ВНИИЭФ и РФЯЦ – ВНИИТФ с Институтами РАН, в результате которых выполнены основополагающие работы в различных областях науки об экстремальных состояниях вещества:

- исследования высокоскоростного деформирования и разрушения специальных реакторных и корпусных сталей;
- эксперименты по генерации неидеальной плазмы металлов в условиях ударного сжатия сильнопористых образцов;

эксперименты по изэнтропическому расширению кристаллических и пористых образцов металлов в условиях ударного сжатия, в результате которых получены уникальные данные по термодинамическим свойствам в области фазовой диаграммы от плотной жидкости до плазмы и двухфазной области жидкость-пар с критической точкой, охватывающие до 5-ти порядков величин по давлению и 4-х порядков – по плотности;

- эксперименты по близкому к режиму изэнтропического сжатия водорода и его изотопов до рекордных давлений в сотни мегабар;

- эксперименты по ударному сжатию, повторному ударному сжатию и изэнтропическому расширению различных полимерных материалов.

3) В плане решения задач материаловедения и разработки материалов, работающих в условиях ударно-волновых нагружений, требующих объединения усилий прикладной и фундаментальной наук, считать необходимым проведение следующих совместных работ:

- верификация данных по ударной сжимаемости наиболее употребительных конструкционных материалов, полученных по новым технологиям, выработка методических рекомендаций по учету новых данных и, по необходимости, ревизия разработанных широкодиапазонных моделей свойств;
- проведение исследований реологических свойств и разработка соответствующих моделей деформирования и разрушения новых классов конструкционных материалов, в том числе полученные с помощью аддитивных технологий;
- исследование фазовых переходов в газах и металлах;
- получение комплекса ударно-волновых данных (изоэнтропическая сжимаемость, ударная сжимаемость, сжимаемость в отраженных ударных волнах, измерения изоэнтроп разгрузки) новых классов конструкционных материалов;
- разработка, апробация и применение методов измерения температуры в условиях ударного сжатия материалов в интересах построения и верификации их уравнений состояния;
- установление связи динамических свойств с характеристиками структуры материалов;
- установление связи свойств материалов в динамических и статических условиях;
- развитие методов получения новых материалов и исследования их свойств при высоких статических давлениях;
- проведение комплексных сравнительных исследований закономерностей и физических механизмов формирования структуры и свойств поверхностей и приповерхностных слоев металлических материалов в условиях различных видов ударно-волнового нагружения (взрывные технологии, обработка фемто- и наносекундными лазерными пучками (в том числе в различных средах и для материалов с покрытиями), аэрозольное напыление с использованием сверхзвуковых струй порошков в вакууме и др.) как основы новых технологий поверхностной обработки;
- разработка широкодиапазонных уравнений состояния с использованием квантово-механических расчетов и молекулярного моделирования и сравнение изоэнтропического сжатия с экспериментом;
- разработка методов молекулярного моделирования высокоскоростного деформирования металлов, эффектов пластичности и разрушения, сравнение с экспериментами; поиск объяснения экспериментально обнаруженных эффектов при интенсивных воздействиях на металлы, в том числе, с помощью методов молекулярного моделирования;
- развитие атомистических методов моделирования и их применение для задач материаловедения;
- создание материалов нового поколения с высокими эксплуатационными характеристиками (наноструктурные материалы, металл-графеновые композиты, аддитивные материалы и др.).

4) Создать комиссию/рабочую группу по разработке Аналитической записки по рассматриваемым проблемам, включающей совместную (институты РАН, ВНИИЭФ, ВНИИТФ, ГНЦ РФ) программу экспериментальных и теоретических исследований особенностей поведения новых классов материалов в экстремальных условиях ударно-волновых нагружений, для соответствующих министерств и ведомств. Подчеркнуть в Аналитической записке:

- необходимость создания Госпрограммы по материаловедению,
- целесообразность разработки нормативной базы в части государственного регулирования обеспечения поставок материалов и полуфабрикатов, определенных спецификациями на изделия, обеспечивающих национальную безопасность Российской Федерации и ее технологическую независимость, а также с учетом «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»,

- необходимость создания исследовательского аналитического центра на базе СКИФа для возможности сопоставления получаемых экспериментальных данных,
 - подчеркнуть необходимость оснащения научных организаций суперкомпьютерными ресурсами для проведения расчетов методами квантово-механического, квантово-химического моделирования и молекулярной динамики.
5. Для обеспечения научных контактов по указанным вопросам, предусмотреть участие представителей организаций Госкорпорации РОСАТОМ и Институтов РАН в ежегодно проводимых конференциях «Уравнения состояния вещества», «Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество» (Эльбрус, Кабардино-Балкарская республика), Харитоновских научных чтениях (Саров) и Забабахинских научных чтениях (Снежинск).

Второе заседание по теме «**Особенности поведения материалов в экстремальных условиях**» состоялось 5 ноября 2019 г. Были заслушаны следующие доклады:

1. Доклад директора Института металловедения и физики металлов имени Г.В. Курдюмова ФГУП ЦНИИчермет им. И. П. Бардина доктора физико-математических наук, профессора Глезера Александра Марковича «Применение метода комплексных экстремальных воздействий для создания новых многофункциональных материалов»

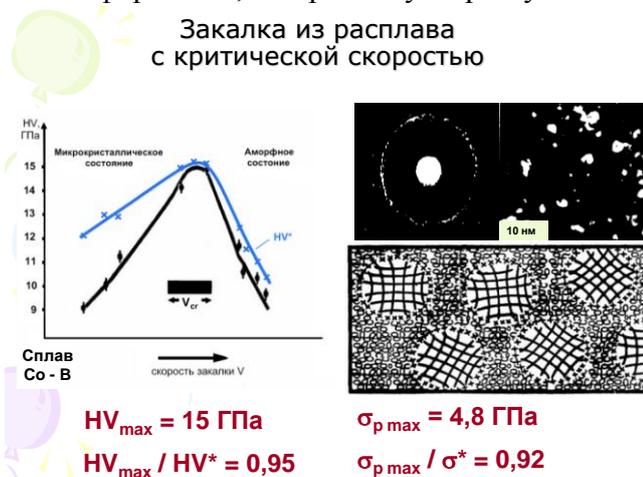
2. Доклад заведующего кафедры материаловедения и физики металлов Уфимского государственного авиационного технического университета доктора физико-математических наук, профессора Руслана Зуфаровича Валиева «Объемные наноструктурные материалы с многофункциональными свойствами (с повышенной механической, радиационной и коррозионной прочностью)»

По заслушанным докладам было отмечено, что:

1. Ключом к получению необычных свойств материалов является создание в них принципиально новых, ранее недоступных структурных состояний, а способом создания подобных структур являются экстремальные воздействия (ЭВ). По мнению знаменитого английского физика Р. Кана, материалы в предельных состояниях, полученных с помощью ЭВ, представляют собой последние достижения материаловедения, и это направление в дальнейшем будет активно развиваться. В докладе содержится аналитический обзор, касающийся применения экстремальных воздействий для создания новых структурных состояний и комплекса уникальных физико – механических свойств металлических материалов.



Несколько эффективных методов ЭВ: закалка из жидкого состояния, большие и криогенные пластические деформации, лазерная и ультразвуковая обработки.



А.М. Глезером с сотр. детально проанализированы имеющиеся в мировой литературе результаты изучения основных закономерностей структурообразования и формирования свойств в металлических материалах при реализации ЭВ. В результате была получена

систематизированная информация и на ее основе был разработан ряд перспективных многофункциональных материалов. Однако возможности получения принципиально новых сочетаний свойств этим не ограничиваются.

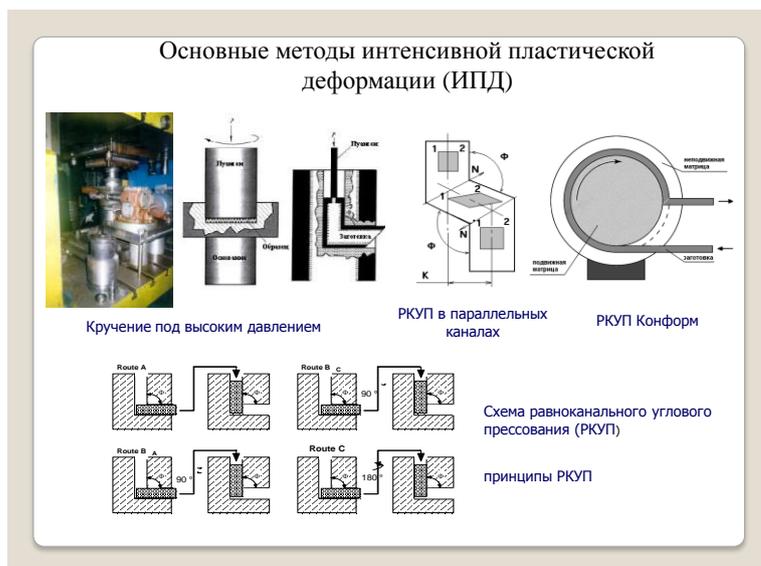


Появилась идея объединить вышеупомянутые ЭВ и «выстроить» их в определенной последовательности в единую технологическую цепочку, что могло бы привести к качественным изменениям конечной структуры, а следовательно, к возможности получить новые сочетания уникальных характеристик. Подобный подход не имеет мировых аналогов. Был реализован принцип комплексных экстремальных воздействий (КЭВ) путем создания двойных, тройных и даже четверных технологических цепочек. В результате были получены:

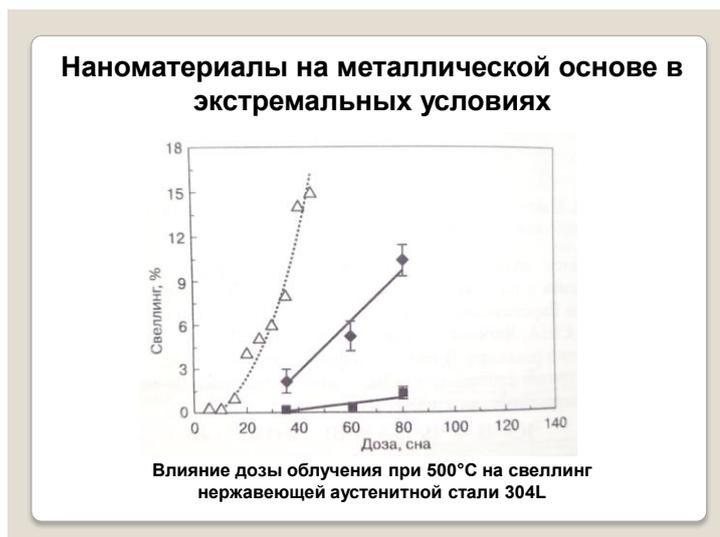
- Многофункциональные высокопрочные ($HV > 1,3$ ГПа) и магнитно-мягкие ($I_s > 1,5$ Т, $\mu_{max} > 300000$ отн. ед.) сплавы на основе Fe.
- Многофункциональные высокопрочные ($HV > 800$ МПа) сплавы на основе Ti с эффектом памяти формы.
- Сверхвысокопрочные ($HV > 1,5$ ГПа) аморфные сплавы на основе Fe-Ni.
- Высокопрочные ($\sigma_t > 780$ МПа) магнитно-градиентные материалы на основе Fe-Cr-Ni ($I_s = 1,2$ Т) с немагнитной составляющей ($I_s \approx 0$ Т).

Сформулированы «дорожные карты» возможного применения метода КЭВ для создания новых многофункциональных материалов.

2. Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют, что наноструктурирование металлов и сплавов методами интенсивной пластической деформации (ипд) открывает возможность значительного повышения их механических и функциональных свойств. При этом свойства полученных объемных наноматериалов определяются не только формированием ультрамелких зерен, но и структурой и фазовым составом границ зерен. Представлен анализ проблем, существующий в области получения металлических материалов с многофункциональными свойствами, пути их преодоления, направления исследований за рубежом и в России. В последнее десятилетие активное развитие получила зернограничная инженерия объемных наноматериалов, связанная с созданием различных границ зерен (малоугловых и высокоугловых, специальных и общего типа, равновесных и неравновесных, а также с присутствием зернограничных сегрегаций и выделений) в ультрамелкозернистых металлах. Показано, что формирование разных типов границ зерен значительно влияет на механические свойства наноструктурных металлов и сплавов, особенно, на хрупкость и пластичность, усталость и сверхпластичность.



Особый интерес представляет использование зернограницной инженерии для создания наноматериалов с так называемыми многофункциональными свойствами, сочетающими высокие механические и функциональные свойства (коррозионная и радиационная стойкость, электропроводность и т.д.).



Описаны основные теоретические подходы к моделированию стабильности наноструктур в экстремальных условиях. Обсуждаются физическая природа и применения наноматериалов в инновационных разработках, направленных на их использование в энергетике, медицине и технике. Предлагается перечень необходимых мероприятий для успешного внедрения инновационных разработок.

Советом по материалам и наноматериалам по итогам заседания вынесено решение:

- 1). Считать заслушанные исследования, разработанные экспериментальные методики и теоретические подходы в области направлений, связанных с получением материалов и закономерностями структурообразования и формирования механических и физических свойств этих материалов при экстремальных воздействиях, включающих закалку из расплава, большие и криогенные пластические деформации, а также ультразвуковые и лазерные воздействия, в целом актуальными и перспективными.
- 2). Признать одним из магистральных направлений в области материалов и наноматериалов, в том числе нанокристаллических, разработку материалов, сочетающих в

себе разные, часто несовместимые свойства, как, например, прочность и электропроводность, прочность и магнитные свойства, эффекты памяти формы и др.

3). Включить проф. А.М. Глезера и проф. Р.З. Валиева в комиссию/рабочую группу по разработке Аналитической записки по экспериментальным и теоретическим исследованиям особенностей поведения новых классов материалов в экстремальных условиях ударно-волновых нагрузений, а также получению конструкционных и функциональных материалов при экстремальных воздействиях для соответствующих министерств и ведомств.

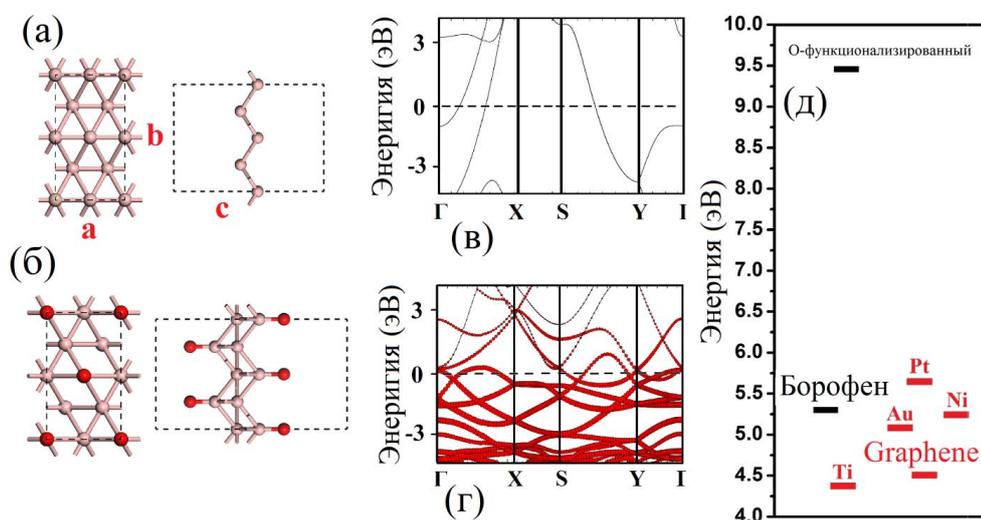
4). Посвятить ряд последующих заседаний цифровым подходам к созданию новых материалов, возможности использования расчетных методов для прогнозирования свойств материалов и наноматериалов.

**Результаты, полученные в 2019 г. по направлению работы
Научного совета РАН по материалам и наноматериалам**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ И ВАКАНСИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА СТРУКТУРНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА БОРОФЕНА

Кистанов А.А., Корзникова Е.А., Дмитриев С.В.
Институт проблем сверхпластичности РАН

Недавно успешно синтезирован атомарно тонкий двумерный бор (на подложке из серебра), получивший название борофен. Бор в этом случае, благодаря уникальной структуре, в которой сосуществуют ковалентные и ионные связи, способен находиться в полупроводниковом, полуметаллическом или металлическом состояниях. Методом теории функционала плотности исследовано влияние наличия дефектов и функционализации на стабильность структуры и электронные свойства нанолента этого нового двумерного материала борофена. Установлено, что функционализация атомами кислорода является эффективным инструментом повышения структурной устойчивости листа борофена. Полученные результаты представляются значимыми для разработки способов повышения стабильности структур на основе борофена, применяемых в новых технологиях.



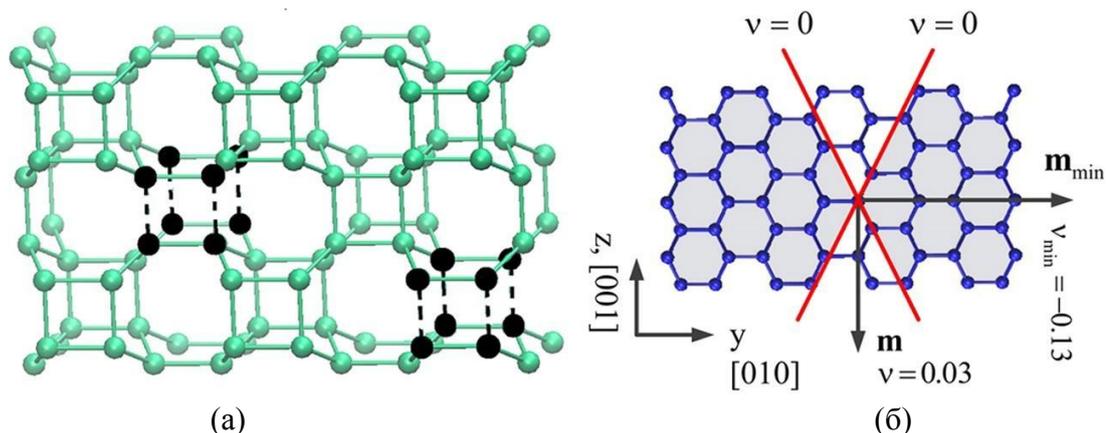
Атомные конфигурации листа борофена (а) чистого и (б) О-функционализированного, электронная структура (в) чистого и (г) О-функционализированного листа борофена. Черная пунктирная линии соответствует уровню Ферми. Красными линиями обозначены полосы для О. (д) График сравнения работы выхода различных материалов. Черные маркеры указывают работу выхода чистого и О-функционализированного листов борофена

1. Khadiullin S. Kh., Kistanov A.A., Morkina A.Y. and Korznikova E.A. Effect of point defects and functionalization on structural stability and electron properties of borophene as investigated by means of density functional theory. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 672. Art. 012032
2. Kistanov A.A., Dmitriev S.V., Korznikova E.A., Khadiullin S.K. Effect of oxygen doping on the stability and band structure of borophene nanoribbons. Chemical Physics Letters. 2019. V. 728. P. 53-56.

АЛМАЗОПОДОБНЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ ФАЗЫ НА ОСНОВЕ ЛИСТОВ ГРАФЕНА, ФУЛЛЕРАНОВ И ТУБУЛАНОВ

Баимова Ю.А., Рысаева Л.Х.

С помощью комбинации метода молекулярной динамики и аналитических расчетов проведены исследования новых алмазоподобных структур, построенных на основе листов графена, фуллеранов и тубуланов. Для получения стабильных структур использованы три критерия: устойчивость исходно заданной модели при релаксации при абсолютном нуле температуры, устойчивость при дальнейшей упругой деформации и хорошо известный критерий термодинамической устойчивости (критерий Борна). Получены четырнадцать структур, удовлетворяющих указанным критериям. Рассчитан и проанализирован полный спектр технических коэффициентов упругости – коэффициент Пуассона, модуль Юнга, модуль сдвига и объемный модуль, а также исследовано деформационное поведение устойчивых фаз. Кроме того, проведено сравнение модулей упругости углеродных алмазоподобных фаз с результатами по графиту и алмазу. Модуль Юнга, измеренный в линейно-упругом режиме, в зависимости от направления растяжения фазы может отличаться в два-три раза. Модуль сдвига также зависит от ориентации и для некоторых направлений изменяется в два раза. В неупругом режиме устойчивые алмазоподобные фазы можно растянуть до больших деформаций около 12% и сжать до 10%. Основным механизмом неупругой деформации является изменение ковалентных связей и валентных углов. Среди углеродных алмазоподобных фаз найдено несколько структур-ауксетиков, имеющих отрицательный коэффициент Пуассона.



Пример алмазоподобной углеродной фазы – ауксетика LA3 на основе листов графена (а); проекция структуры LA3 с выделенными областями, в которых коэффициент Пуассона положителен (светлая) или отрицателен (затененная) и линиями, вдоль которых коэффициент Пуассона равен нулю (б)

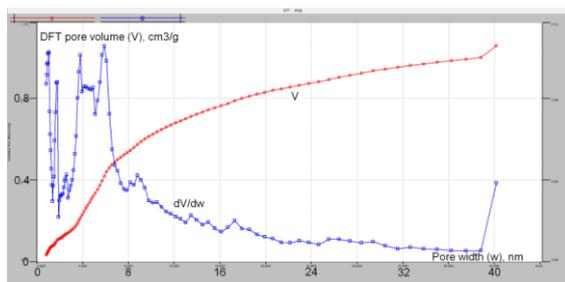
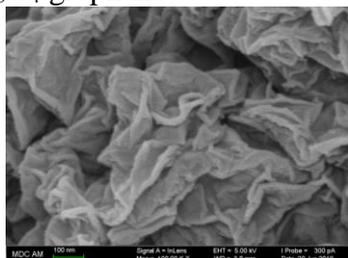
1. L. Kh. Rysaeva, J. A. Baimova, S. V. Dmitriev, D. S. Lisovenko, V. A. Gorodtsov, A.I. Rudskoy. Elastic properties of diamond-like phases based on carbon nanotubes. *Diamond and related materials*. 2019, 97, p. 107411.
2. L. Kh.Rysaeva, D. S.Lisovenko, V. A.Gorodtsov, J. A.Baimova. Stability, elastic properties and deformation behavior of graphene-based diamond-like phases // *Computational Materials Science* (Available online 18 November 2019, 109355.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ АЭРОГЕЛЕЙ

Ткачев А.Г., Бураков А.Е., Нескоромная Е.А., Мележик А.В.
ФГБОУ Тамбовский государственный технический университет

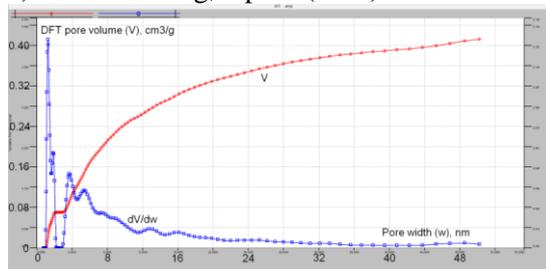
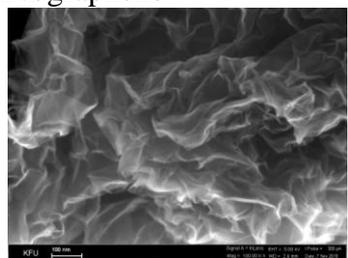
Разработаны методы синтеза, исследована структура и адсорбционные свойства графеновых аэрогелей, модифицированных полианилином и наночастицами магнетита. Наноконпозиты получены с применением в качестве исходных веществ оксида графена, анилина и солей железа. Для достижения высокой удельной поверхности и пористости использована обработка в среде сверхкритического изопропанола. Полученные наноконпозиционные графеновые аэрогели перспективны для применения в качестве эффективных адсорбентов вредных органических и неорганических веществ, биологического обеззараживания воды, а также в качестве электродных материалов химических источников тока.

Fe₃O₄/graphene



S (BET)=380-710 m²/g, V_{pore} (DFT)=0.512-0.968 cm³/g

PANI/graphene



S (BET)=336 m²/g, V_{pore} (DFT)=0.413 cm³/g

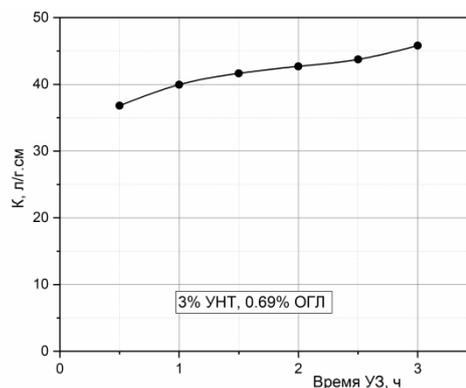
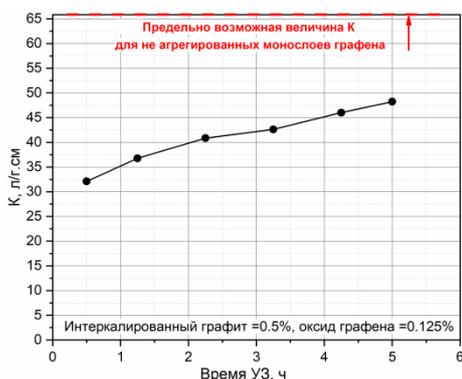
СЭМ изображения и данные поверхности и пористости аэрогелей Fe₃O₄/графен и полианилин/графен

ОКСИД ГРАФЕНА КАК ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОЕ ВЕЩЕСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ ГРАФЕНОВЫХ НАНОПЛАСТИНОК И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

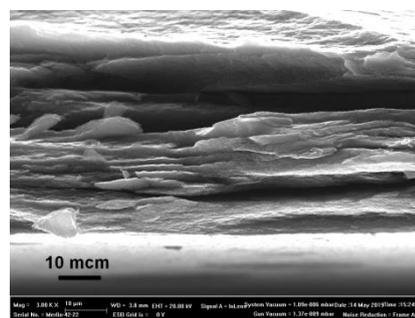
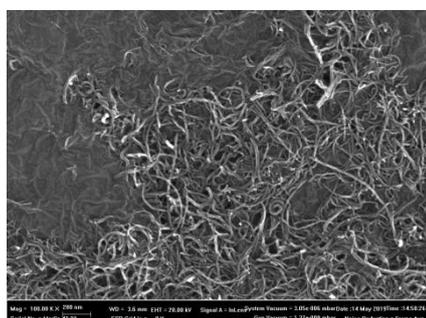
Ткачев А.Г., Мележик А.В., Алехина О.В.

ФГБОУ Тамбовский государственный технический университет

Для получения коллоидных дисперсий углеродных наноматериалов применяются поверхностно-активные вещества (ПАВ). Во многих случаях применение традиционных ПАВ не дает требуемого результата или не допускается. Использование оксида графена (ОГ) в качестве ПАВ позволяет получать концентрированные водные коллоидные растворы графеновых нанопластинок (ГНП) и углеродных нанотрубок (УНТ). В конечном наноконпозите ОГ может быть легко восстановлен до графена, и, таким образом, в систему не вводится посторонних веществ, кроме углерода. На рисунках показана динамика ультразвукового (УЗ) диспергирования интеркалированного графита и УНТ в присутствии небольших добавок ОГ, конкретно, ОГЛ – оксида графена глубокого окисления, выпускаемого ООО НаноТехЦентр (Тамбов).



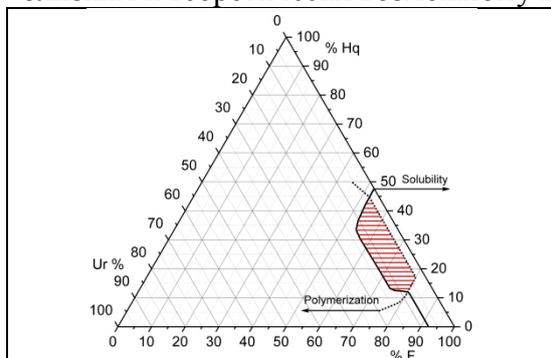
Полученная 3%-ная дисперсия УНТ представляет собой вязкую жидкость, которая после некоторое время после отключения УЗ превращается в гель. Гель растворим в воде с образованием коллоидного раствора. Ниже представлены СЭМ изображения пленки, полученной высушиванием этого геля на подложке (вид сверху и разлом).



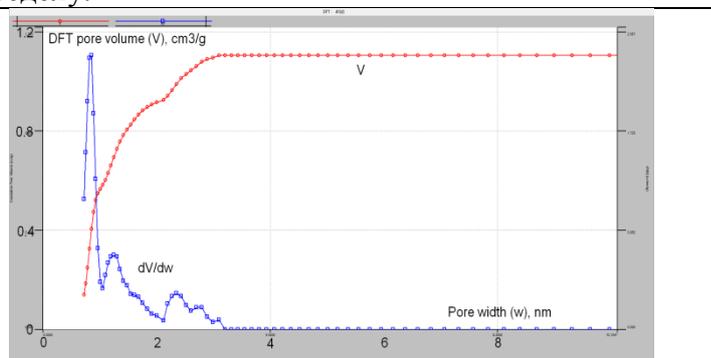
ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФУРФУРОЛ-ГИДРОХИНОН-УРОТРОПИН И СИНТЕЗ МИКРОПОРИСТОГО УГЛЕРОДА

Ткачев А.Г., Мележик А.В., Алехина О.В., Зеленин А.Д.
 ФГБОУ Тамбовский государственный технический университет

Исследована тройная система фурфурол-гидрохинон-уротропин, найдена область составов, в которой возможен синтез полимера-предшественника для получения микропористого углерода (МПУ). Показано, что МПУ, полученный карбонизацией этого полимера с последующей щелочной активацией, обладает удельным объемом микропор, близким к теоретически возможному пределу.



Тройная система фурфурол-гидрохинон-уротропин (а)



Распределение пор по размерам (DFT, адсорбция азота) (б)

Заштрихованная красным (рабочая) область (рис. а) является пересечением области взаимной растворимости компонентов при 130°C и области, в которой полимеризация 150°C происходит с технологически приемлемой скоростью. Карбонизация полученных

полимеров с последующей активацией гидроксидом калия при 750°C дает микропористые активные угли с удельным объемом микропор по DFT 0.92-1.12 см³/г и удельной поверхностью по БЭТ 2008-2946 м²/г. При этом доля микропор составляет 83-90% общего объема пор по DFT. Полученные микропористые угли являются эффективными адсорбентами.

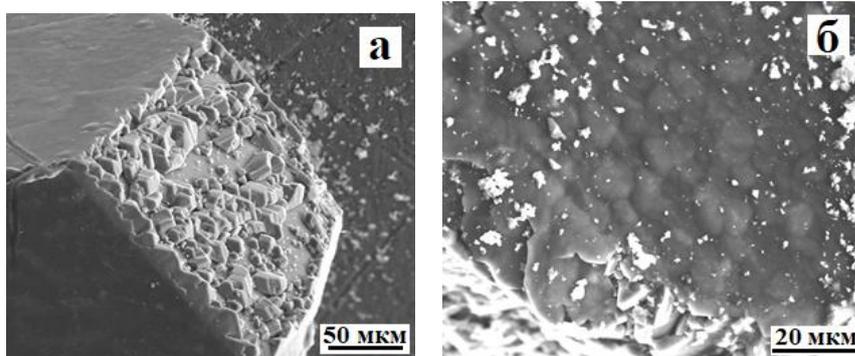
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМАХ «АЛМАЗ – КРЕМНИЙ» И «АЛМАЗ – УГЛЕРОД – КРЕМНИЙ»

Шевченко В.Я., Сычев М.М., Перевислов С.Н.

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН

Проведены фундаментальные исследования условий протекания реакции Тьюринга между алмазом, углеродом и кремнием, включающие теоретический анализ граничных условий синтеза карбида кремния в процессе экзотермической реакции, а также химическое и материаловедческое обоснование синтеза субмикронных и микронных зерен SiC (рис. а) и образования так называемых «заборов Тьюринга» (самопроизвольно-синтезируемых периодических зерен) (рис б).

В соответствии с реакционно-диффузионным взаимодействием в системах «алмаз – кремний» и «алмаз – углерод – кремний» (реакция Тьюринга), в результате соблюдения определенных параметров процесса (температуры, давления, концентрации компонентов), на частицах алмаза кристаллизуются зерна вторичного карбида кремния (рис. 1а), образуя так называемые «заборы Тьюринга» (рис. б).



Самопроизвольный рост зерен SiC на частице алмаза (а), периодический рост зерен SiC («заборы Тьюринга») в композиционном материале (б)

Выбор «пар» реагирующих веществ определяется их гетерогенезисом (сродством), что довольно часто встречается у карбидов. В условиях проведения реакции Тьюринга удается получать композиты с рекордными физико-механическими свойствами (уступающими только алмазу).

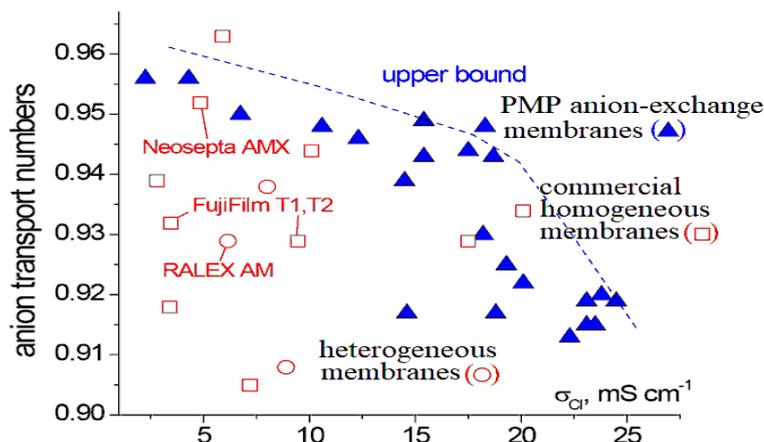
НОВЫЕ АНИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ

Голубенко Д.В., Ярославцев А.Б.

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Институт проблем химической физики РАН*

Разработаны новые анионообменные мембраны, полученные хлорометилированием с последующей кватернизацией полистирола в составе плёнки привитого сополимера на основе полиметилпентена. Мембраны характеризуются ионообменной емкостью от 1.1 до 2.9 ммоль на грамм, они имеют числа переноса анионов

от 91 до 95.5 %, удельную ионную проводимость от 2 до 25 мСм см⁻¹ (при 25 °С в 0.5 М растворе NaCl) и по соотношению проводимости и селективности превосходят лучшие коммерческие мембраны.



Зависимость селективности от удельной ионной проводимости для полученных в данной работе анионообменных мембран (▲), коммерческих гомогенных и псевдо-гомогенных (□), а также гетерогенных (○) мембран.

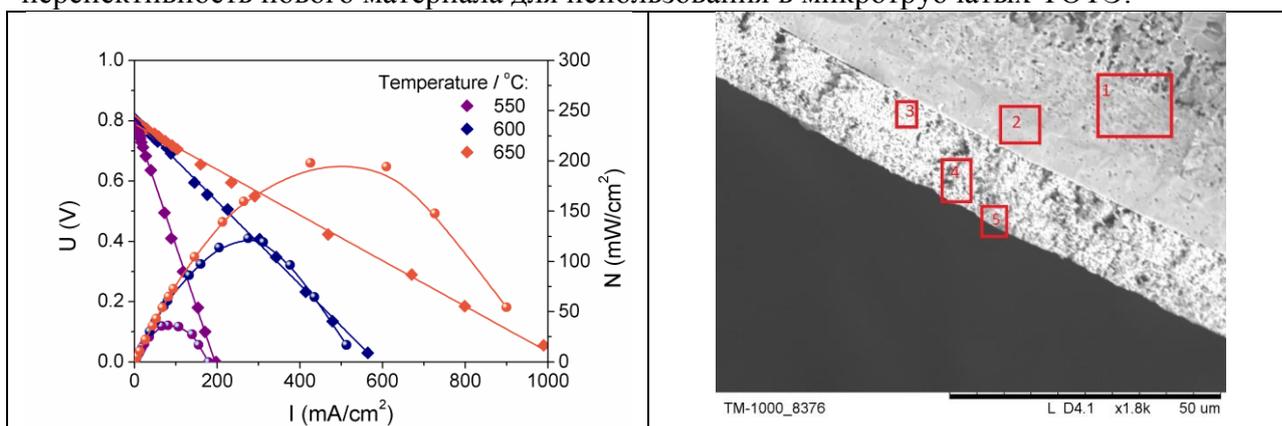
Daniel V. Golubenko, Bart Van der Bruggen, Andrey B. Yaroslavtsev. Novel anion exchange membrane with low ionic resistance based on chloromethylated/quaternized-grafted polystyrene for energy efficient electromembrane processes. *J. Appl. Polym. Sci.* 2019, P. 48656-48655. DOI: 10.1002/APP.

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Немудрый А.П.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

В ИХТТМ СО РАН в рамках работ по созданию новых электродных материалов для высокотемпературных электрохимических устройств (ТОТЭ и ТОЭ) с помощью керамического метода синтезирован допированный танталом кобальтит стронция SrCo_{1-x}Ta_xO_{3-δ} (x=0, 0.05) (SCT). Показано, что частичное замещение кобальта танталом в структуре SrCoO_{3-δ} приводит к подавлению образования при повышенных температурах гексагональной фазы и стабилизации высокотемпературной кубической фазы перовскита, что повышает стабильность материала в области работы среднетемпературного ТОТЭ (550–650°C). Измерена вольтамперная характеристика микротрубчатого среднетемпературного ТОТЭ с катодным материалом на основе состава SCT, показана перспективность нового материала для использования в микротрубчатых ТОТЭ.



Вольт-амперная характеристика
микротрубчатой топливной ячейки с
катодным слоем состава SCT

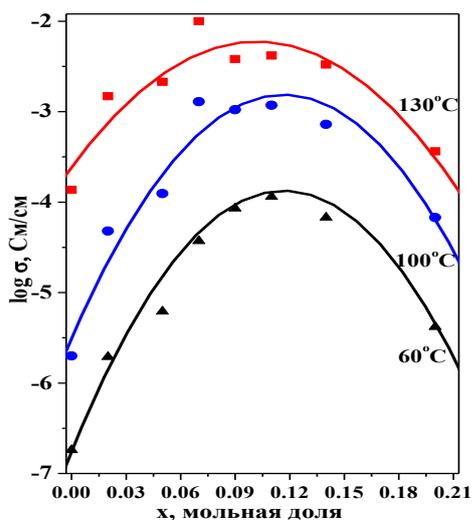
Слом микротрубки со всеми слоями: 1 –
АФС; 2 – электролитический слой; 3 –
буферный слой; 4 – КФС; 5 – КТС

СИСТЕМЫ С ВЫСОКОЙ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Пономарева В.Г., Федин В.П.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

В ИХТТМ СО РАН успешно реализован новый подход к созданию систем с высокой протонной проводимостью на основе металлоорганических координационных полимеров (на примере Cr-MIL-101) с введенными в их поры функциональными соединениями. Показана неизменность кристаллической структуры Cr-MIL-101 в гибридных соединениях $(1-x)\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2-x\text{Cr-MIL-101}$ ($x=0-0.2$) и отсутствие взаимодействия с исходной солью при ее значительной аморфизации в порах матрицы с ростом x . Протонная проводимость исследуемых нанокомпозитов значительно превосходит значения для $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ и высокодисперсной матрицы, проходит через максимум при составах, близких к полному заполнению пор, достигая $\sim 10^{-2} - 10^{-3} \text{ См см}^{-1}$ при 100-130°C и низкой влажности. Полученные гибридные соединения перспективны для использования в качестве протонных мембран электрохимических устройств, в частности, суперконденсаторов.



Изотермы протонной проводимости $(1-x)\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2-x\text{Cr-MIL-101}$ в зависимости от состава нанокомпозитов.

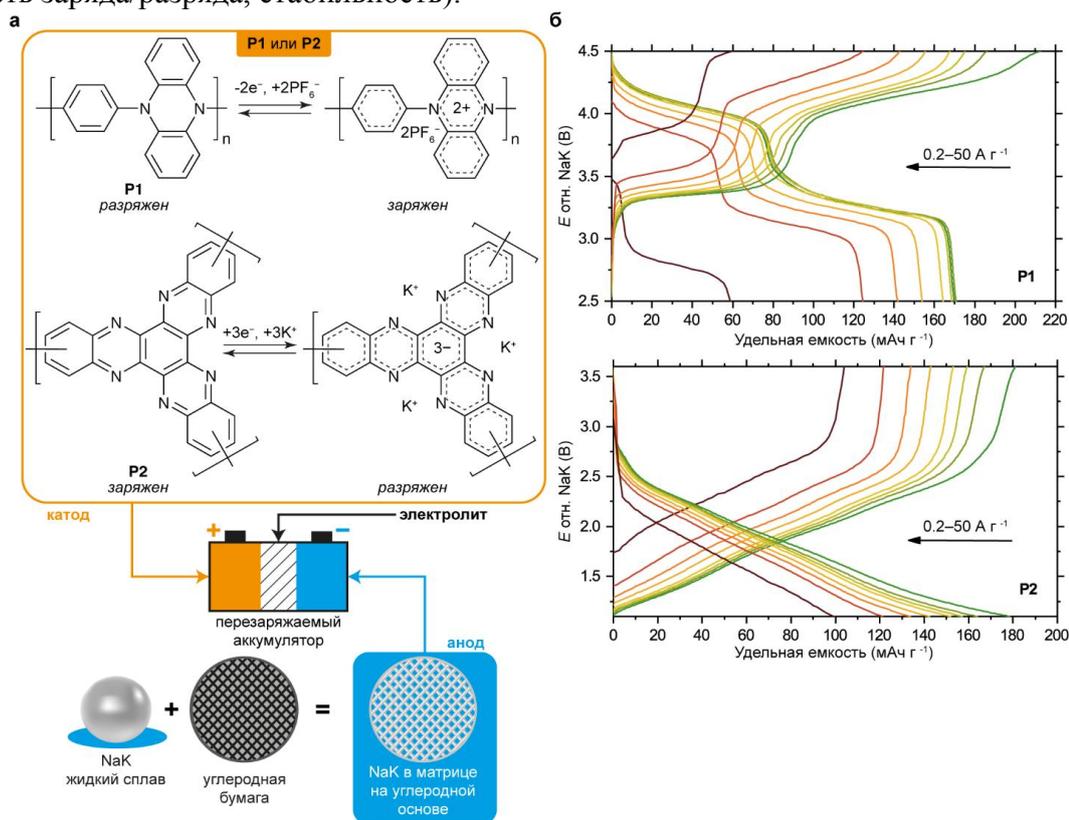
V.G. Ponomareva, K.A. Kovalenko, R.D. Gus'kov, I.N. Bagryantseva, N.F. Uvarov, V.P. Fedin. Proton conducting hybrid compounds based on $\text{CsH}_5(\text{PO}_4)_2$ metal-organic coordination frameworks // Solid State Ionics. 2019. V. 343. 115084.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КАЛИЕВЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕДОКС-АКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Капаев Р.Р., Обрезков Ф.А., Ярмоленко О.В., Якущенко И.К., Рамезанкхани В., Шестаков А.Ф., Стивенсон К., Трошин П.А.

Институт проблем химической физики РАН
Сколковский институт наук и технологий

В рамках совместного проекта ИПХФ РАН и Сколтеха разрабатываются органические катодные материалы, которые можно получать из возобновляемых источников. Синтезированы полимерные материалы поли(*N*-фенил-5,10-дигидрофеназин) и поли(гексаазатринафтилен), представляющие собой перспективные катоды для калиевых аккумуляторов. На их основе разработаны калиевые источники тока с рекордными характеристиками: удельной емкостью $>170 \text{ мА ч г}^{-1}$ и энергоемкостью $>600 \text{ Вт ч кг}^{-1}$. Использование анода на основе жидкого натрий-калиевого сплава позволило создать аккумуляторы с рекордными мощностными характеристиками (до 100 кВт/кг). Таким образом, продемонстрированы дешевые и эффективные устройства для запасаения энергии, сочетающие в себе преимущества металл-ионных аккумуляторов (высокая энергоемкость) и суперконденсаторов (высокая скорость заряда/разряда, стабильность).



Схематическое изображение аккумулятора с натрий-калиевым анодом и редокс-превращения для полимеров **P1** и **P2** (а), заряд-разрядные кривые ячеек при плотностях тока 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20 и 50 А г^{-1} (б).

1. F. A. Obrezkov, A. F. Shestakov, V. F. Traven, K. J. Stevenson, P. A. Troshin. Ultrafastcharging polyphenylamine-based cathode material for high rate lithium, sodium and potassium batteries. *J. Mater. ChemA.*, 2019, **7**, 11430 – 11437
2. A. A. Slesarenko, I. K. Yakuschenko, V. Ramezankhani, V. Sivasankaran, O. E. Romanyuk, A. V. Mumyatov, A. F. Shestakov, O. V. Yarmolenko, K. J. Stevenson, P. A. Troshin, New tetraazapentacene-based redox-active material as a promising high-capacity organic cathode for lithium and potassium batteries. *J. Power Sources*, 2019, 434C, 226724
3. R. R. Kapayev, S. Olthof, I. Zhidkov, E. Z. Kurmev, K. Meerholz, K. J. Stevenson, P. A. Troshin, Nickel(II) and Copper(II) Coordination Polymers Derived from 1,2,4,5-Tetraaminobenzene for Lithium-Ion Batteries. *Chem. Mater.* 2019, **31**, 14, 5197-5205

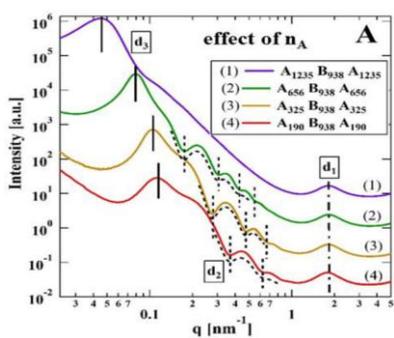
4. F.A. Obrezkov, V. Ramezankhani, I. Zhidkov, V.F. Traven, E.Z. Kurmaev, K.J. Stevenson, P.A. Troshin. *J. Phys. Chem. Lett.* 2019, 10, 5440-5445.
5. R.R. Капаев, I.S. Zhidkov, E.Z. Kurmaev, K.J. Stevenson, P.A. Troshin. Hexaazatriphenylene-based polymer cathode for fast and stable lithium-, sodium-and potassium-ion batteries. *J. Mater. Chem. A*, 2019, 7, 22596-22603.
6. R.R.Капаев, F.A.Obrezkov, K.J. Stevenson, P.A.Troshin. Metal-ion batteries meet supercapacitors: high capacity and high rate capability rechargeable batteries with organic cathodes and a Na/K alloy anode. *Chem. Commun.* 2019, 55, 11758-11761.

НОВЫЙ БИОМИМЕТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ НАПРЯЖЕННЫХ ЩЁТОК В СВЕРХМЯГКОЙ СЕТКЕ

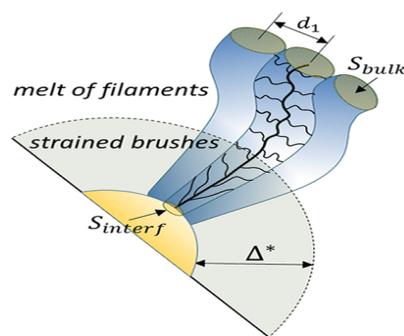
Иванов Д.А., Пирязев А.А., Берсенев Е.А.

Институт проблем химической физики РАН

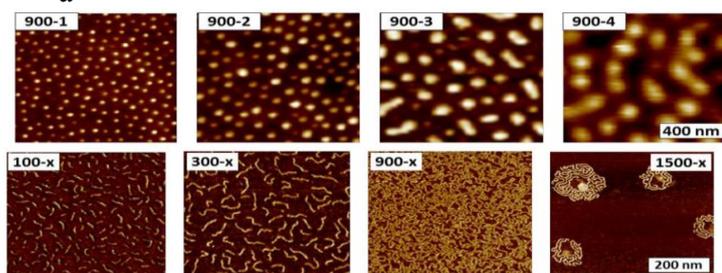
Механические свойства линейных полимеров не позволяют имитировать механику человеческой кожи, в частности свойство упрочнения при растяжении. В то же время, биологические ткани способны увеличивать свой модуль на несколько порядков при растяжении. Для имитации такой механики нужна принципиально новая архитектура полимерных материалов. Например, физическая сетка обеспечивает необходимые механические свойства за счет двух физически и химически различных частей систем: жестких ПММА-сфер и мягкой щеточной матрицы.



а



б



в

Одномерные дифракционные кривые (а), модель интерфейса PMMA-PDMS (б), атомно-силовая микроскопия-микрограммы образцов (в).

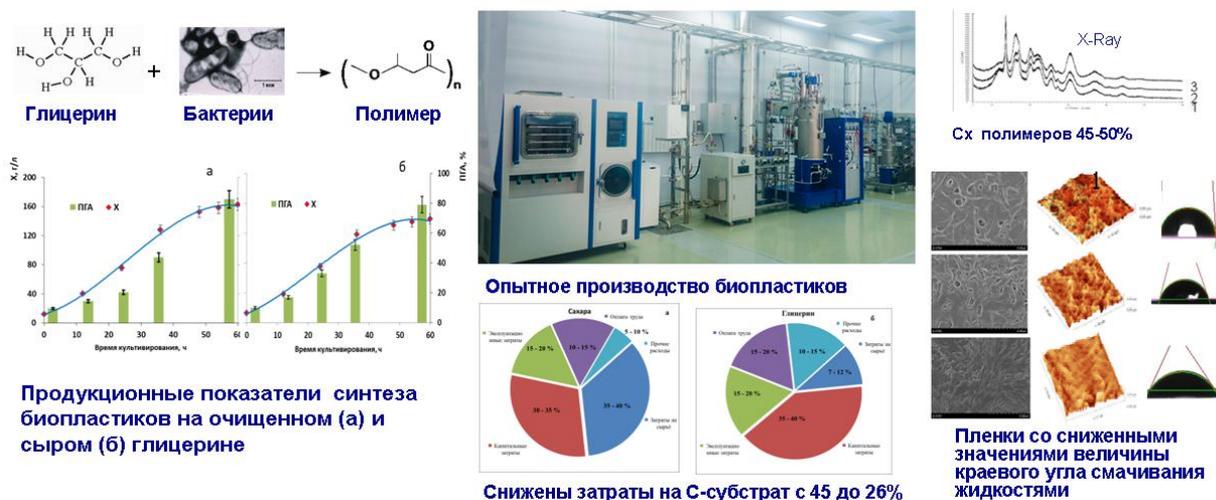
Синтезирован и структурно охарактеризован материал на основе триблок-сополимера АВА, где А = поли(метилметакрилат) (PMMA) и В = графт-поли(диметилсилоксан) (PDMS), имеющий уникальные механические свойства. Свойства разработанного материала повторяют механику биологических тканей. Данный материал имеет микрофазно-разделенную структуру с твердыми доменами PMMA, находящимися в мягкой сетке. Проанализирован размер доменов и поведение материала при одноосных механических напряжениях. Результат открывает путь к использованию синтетических материалов для медицинских применений и персонализированной медицине.

Charles Clair, Abdelaziz Lallam, Martin Rosenthal, Michael Sztucki, Mohammad Vatankhah-Varnosfaderani, Andrew N. Keith, Yidan Cong, Heyi Liang, Andrey V. Dobrynin, Sergei S. Sheiko, and Dimitri A. Ivanov. Strained Bottlebrushes in Super-Soft Physical Networks // *ACS Macro Letters* 2019 8 (5), 530-534

БИОСИНТЕЗ РАЗРУШАЕМЫХ БИОПЛАСТИКОВ ХЕМОЛИТООРГАНОТРОФНЫМИ БАКТЕРИЯМИ НА НОВОМ УГЛЕРОДНОМ СУБСТРАТЕ

Демиденко А.В., Киселев Е.Г., Волова Т.Г.
Институт биофизики СО РАН

Исследованы закономерности биосинтеза разрушаемых биопластиков (полигидроксиалканоатов, ПГА) хемолитоорганотрофными бактериями на новом углеродном субстрате – глицерине различной очистки, являющегося крупнотоннажным отходом производства биодизеля. Определены границы физиологического действия и кинетические константы по глицерину для культуры *Cupriavidus eutrophus* В-10646; доказано отсутствие негативного влияния примесей, содержащихся в глицерине различной очистки на продукцию полимеров и их свойств. Технология биосинтеза полимеров на глицерине масштабирована на уникальном для РФ опытном производстве с показателями по урожаю биомассы (до 160 г/л) и концентрации полимера (80±5%) при значениях продуктивности, соответственно, 2,5±0,2 и 2,1±0,16 г/л·ч, превосходящими результаты на сахарах и известные зарубежные решения. Замена сахаров глицерином существенно снижает затраты на С-субстрат, повышая доступность биопластиков.



Результаты исследования закономерностей синтеза биопластиков в культуре *C.eutrophus*

В-10646 на глицерине обеспечили возможность разработки и реализации технологии синтеза биопластиков с пониженной степенью кристалличности, полимерных изделий – с повышенной гидрофильностью и развитостью поверхности; технология масштабирована в условиях опытного производства при сокращении затрат на С-субстрат

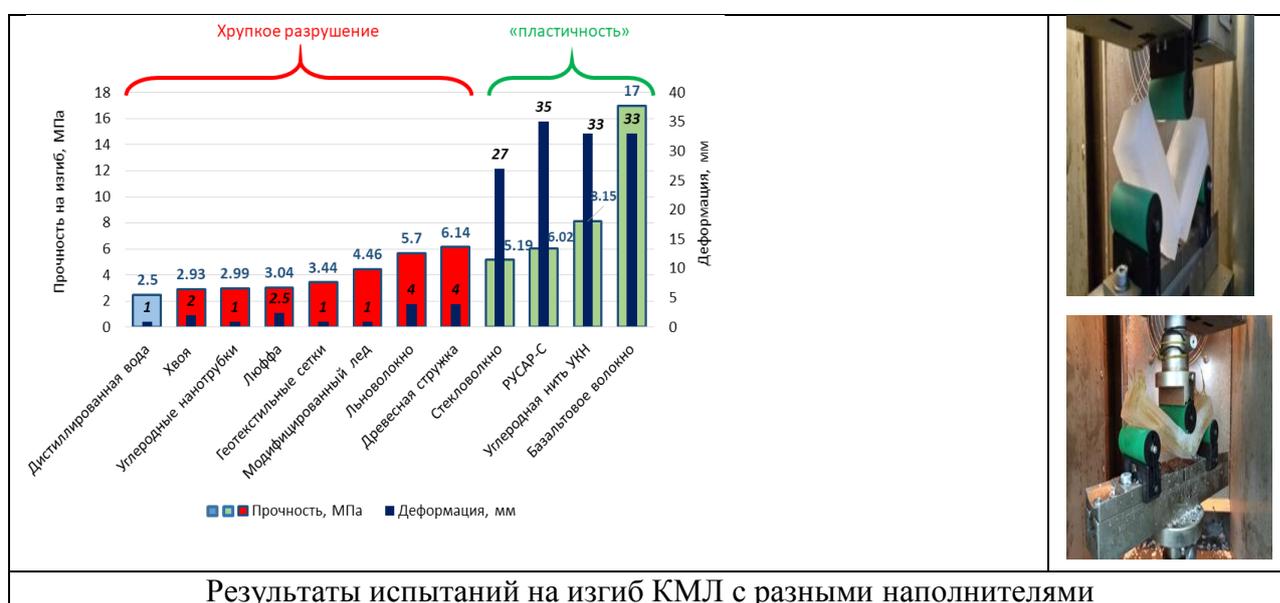
1. T. Volova, A. Demidenko, E. Kiselev, S. Baranovskii, E. Shishatskaya, N. Zhila. Polyhydroxyalkanoate synthesis based on glycerol and implementation of the process under conditions of pilot production // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol 103 (1). P. 225–237.

2. T.G. Volova, E.G. Kiselev, N.O. Zhila, E. I. Shishatskaya. Synthesis of PHAs by Hydrogen Bacteria in a Pilot Production Process // *Biomacromol.* 2019. Vol. 20. P. 3261-3270.

АРМИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЛЬДА С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В АРКТИКЕ И СПОРТИВНЫХ ЛЕДОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В.М. Бузник
ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ

Проведены системные исследования, позволившие разработать способы получения композиционных материалов с ледовой матрицей (КМЛ) с повышенными физико-механическими свойствами армированием наполнителями, различными по: происхождению (растительные, минеральные, полимерные); морфологии (дисперсные, волокнистые, сеточные и трехмерные конструкции); химическому составу; характеру взаимодействия с ледовой матрицей; концентрации и топологии арматуры в КМЛ.



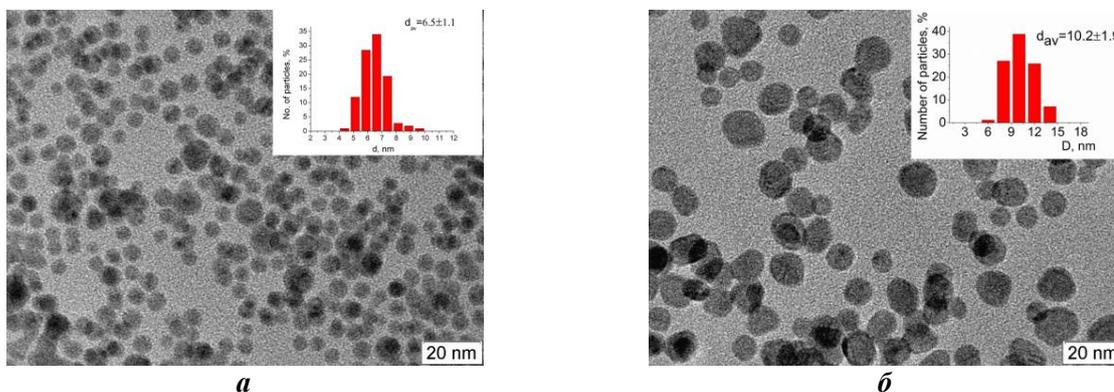
Установлены типы наполнителей, повышающие прочность льда в 6.8 раз, а деформируемость в 30 раз. Если у льда наблюдается мгновенное хрупкое разрушение, то КМЛ сохраняет целостность даже при разрушении ледовой матрицы. Установлены морфология, локация арматуры во льду и её доля в КМЛ. Другой способ повышения эксплуатационных характеристик льда – его модифицирование добавлением в замораживаемый раствор малых количеств высокомолекулярных веществ, которые влияют на зернистость структуры льда. Установлено эффективное сочетание армирования с модифицированием применительно к спортивным сооружениям.

В.М. Бузник. Как куется лёд. В мире науки. Арктическое материаловедение. 2019, №10, с.13-20.

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ МЕДИ И СЕРЕБРА ДЛЯ 2D-ПЕЧАТИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Титков А.И., Ляхов Н.З.
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Разработаны методы синтеза моодисперсных наночастиц серебра размером 5–6 нм (рис. а), а также частиц Cu@Ag со структурой ядро-оболочка, стабилизированных оксиэтилированной карбоновой кислотой (2-[2-(2-метоксиэтокси)этокси]уксусной) Средний размер наночастиц Cu@Ag составляет 10 нм, толщина серебряной оболочки - около 1–2 нм (рис. б). Серебряная оболочка эффективно предотвращает окисление меди на воздухе. Полученные наночастицы серебра и Cu@Ag образуют стабильные дисперсии в полярных и слабополярных растворителях и могут быть использованы для приготовления чернил и паст для 2D-печати электропроводящих элементов.



Наночастицы серебра (а) и Cu@Ag со структурой ядро-оболочка (б), стабилизированные МЭУК.

1. А.И. Титков, О.А. Логутенко, А.М. Воробьёв, Е.Ю. Герасимов, Н.В. Булина Ю.М. Юхин, Н.З. Ляхов. Синтез наночастиц Cu/Ag со структурой ядро-оболочка, стабилизированных оксиэтилированной карбоновой кислотой // Журнал общей химии. 2019. Т. 89, № 1, С. 113–119.
2. A.I. Titkov, O.A. Logutenko, E.Yu. Gerasimov, I.K. Shundrina, E.V. Karpova, N.Z. Lyakhov, Synthesis of silver nanoparticles stabilized by carboxylated methoxypolyethylene glycols: The role of carboxyl terminal groups in the particle size and morphology // Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. 2019. Vol. 94. P. 287–295.
3. A.I. Titkov, O.A. Logutenko, A.M. Vorobyov, E.Yu. Gerasimov, I.K. Shundrina, N.V. Bulina, N.Z. Lyakhov. Synthesis of ~10 nm size Cu/Ag core-shell nanoparticles stabilized by an ethoxylated carboxylic acid for conductive ink // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2019. Vol. 577. P. 500–508.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА НАНОПОРОШКОВ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ. ПЛАЗМЕННАЯ СФЕРОИДИЗАЦИЯ ПОРОШКОВ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Цветков Ю.В., Самохин А.В., Асташев А.Г., Синайский М.А., Фадеев А.А.,
Литвинова И.С., Завертяев И.Д., Калашников Ю.П.

Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

Выполненные работы направлены на исследование и разработку новых процессов получения нанопорошков оксидных композиций на основе оксидов Al_2O_3 , Y_2O_3 , HfO_2 с использованием плазмохимического синтеза в термической плазме для задач дисперсного упрочнения жаропрочных сплавов. В 2019 году проведены экспериментальные исследования синтеза оксидов HfO_2 , ZrO_2 и Y_2O_3 и оксидных соединений на их основе ($Y_2O_3-Al_2O_3$, $HfO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$, $HfO_2-Y_2O_3$) на плазмохимической экспериментальной установке мощностью 25 кВт при взаимодействии порошков металлов Al, Hf, Y, а также соединений ацетата иттрия и Hf с кислородсодержащей термической плазмой в широком диапазоне параметров плазмохимического процесса (энтальпии плазменной струи,

расхода и состава газов и дисперсного сырья). Получены нанопорошки оксидов и оксидных систем. Определен фазовый состав и форморазмеры полученных порошков. Установлена зависимость дисперсного состава нанопорошка от концентрации конденсируемого компонента и энтальпии плазменной струи. Дополнительная термическая обработка в диапазоне 800-1100С позволяет скорректировать фазовый и дисперсный состав полученных оксидных нанопорошков с увеличением доли фаз совместных твердых растворов в композиции.

Одним из существенных элементов мирового научно технического прогресса являются аддитивные технологии. Совершенно необходимыми для их осуществления являются сферические порошки. Эффективным и универсальным способом их получения является плазменная сфероидизация, для осуществления которой в ИМЕТ РАН разработана технология и аппаратура.

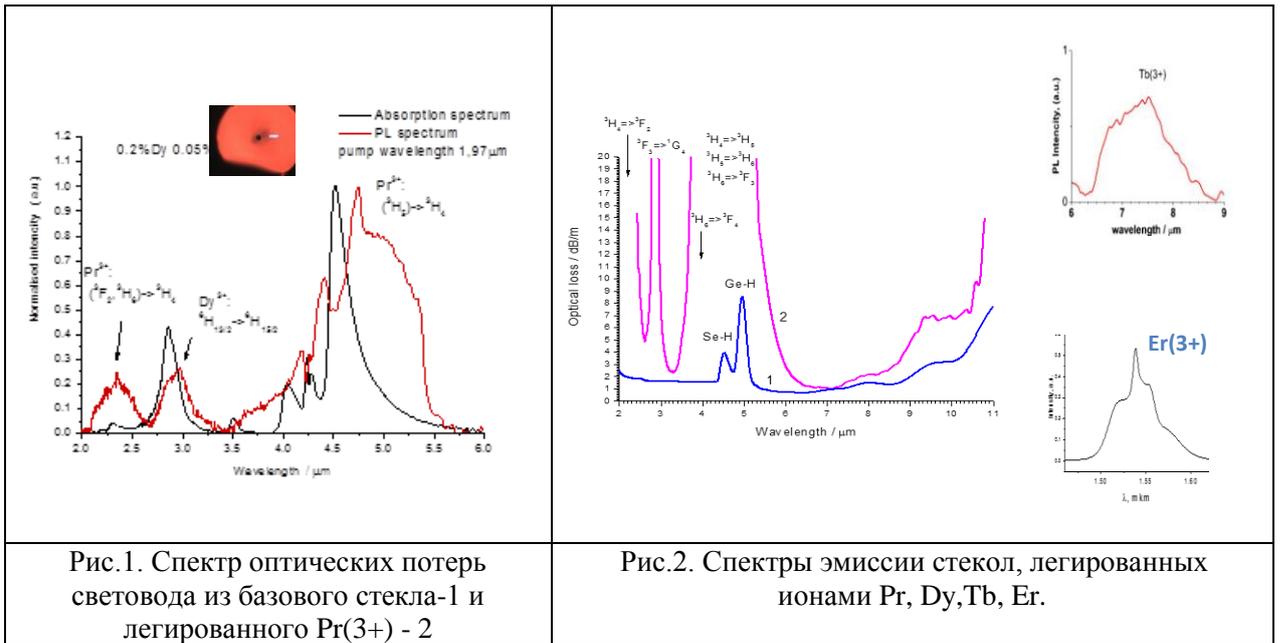


Установка плазменной сфероидизации металлических порошков ИМЕТ РАН

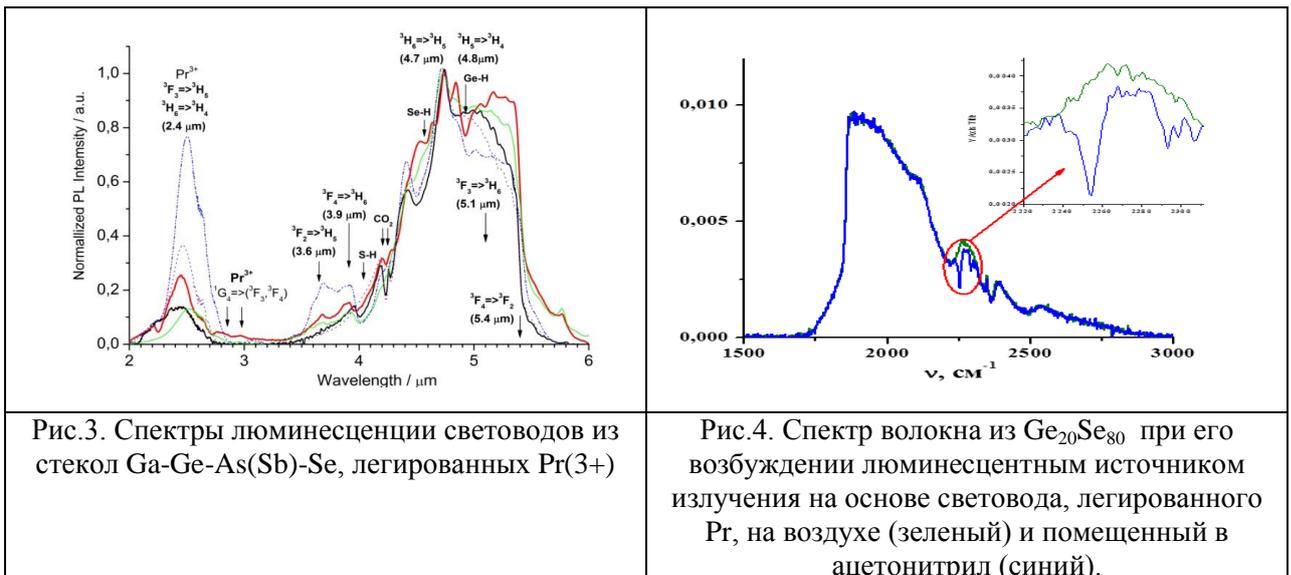
ОСОБО ЧИСТЫЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫЕ СТЕКЛА, ЛЕГИРОВАННЫЕ ИОНАМИ РЗЭ, И СВЕТОВОДЫ ДЛЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

В.С. Ширяев, Э.В. Караксина, А.П. Вельмузов, Т.В. Котерева, М.Ф. Чурбанов
Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Деярых РАН

Разработаны способы получения особо чистых стекол системы Ga-Ge-As(Sb)-Se, легированные ионами РЗЭ (Pr(3+) – 300 - 3000 ppmw, Tb(3+), Dy(3+), Er(3+) – 300 - 1500 ppmw) и световодов на их основе. Полученные с использованием методов химико-дистилляционной очистки и транспортных реакций стекла характеризуются низким содержанием примесей, устойчивостью к кристаллизации, высокой прозрачностью в спектральном диапазоне 1-12 мкм и температурой стеклования 220-356°С. Волоконные световоды на их основе обладают оптическими потерями 0.6-1 дБ/м на длинах волн вне собственного поглощения РЗЭ (Рис.1). Спектры излучения легированных стекол и световодов (Рис.2,3) охватывают область 1-9 мкм, что позволяет использовать их в качестве излучателей и лазерных сред в широком интервале ИК-диапазона.



Лучшие эмиссионные характеристики, в сравнении с известными для материалов-аналогов, достигнуты на световодах, легированных Pr(3+). Они демонстрируют интенсивную люминесценцию в спектральных диапазонах 2.2-2.9 мкм, 3.5-5.7 мкм и вблизи 7 мкм. Времена жизни люминесценции в максимуме полосы 4.7 мкм для световодов достигают 10.5 мс, что близко к теоретическим значениям. Световоды способны выдерживать мощности накачки непрерывного лазерного излучения на 1.56 мкм до 1.6 Вт без специального охлаждения, что было продемонстрировано впервые на образцах длиной до 2.5 метра. На основе люминесцирующего световода из стекла Pr-Ga-Ge-As-Se, как источника излучения, создана и успешно протестирована сенсорная система, включающая коммерческий эрбиевый лазер, используемый для накачки активного световода, халькогенидный волоконный сенсорный элемент и спектрометр для регистрации спектров поглощения веществ в диапазоне 3.5 – 5.5 мкм. (Рис.4).



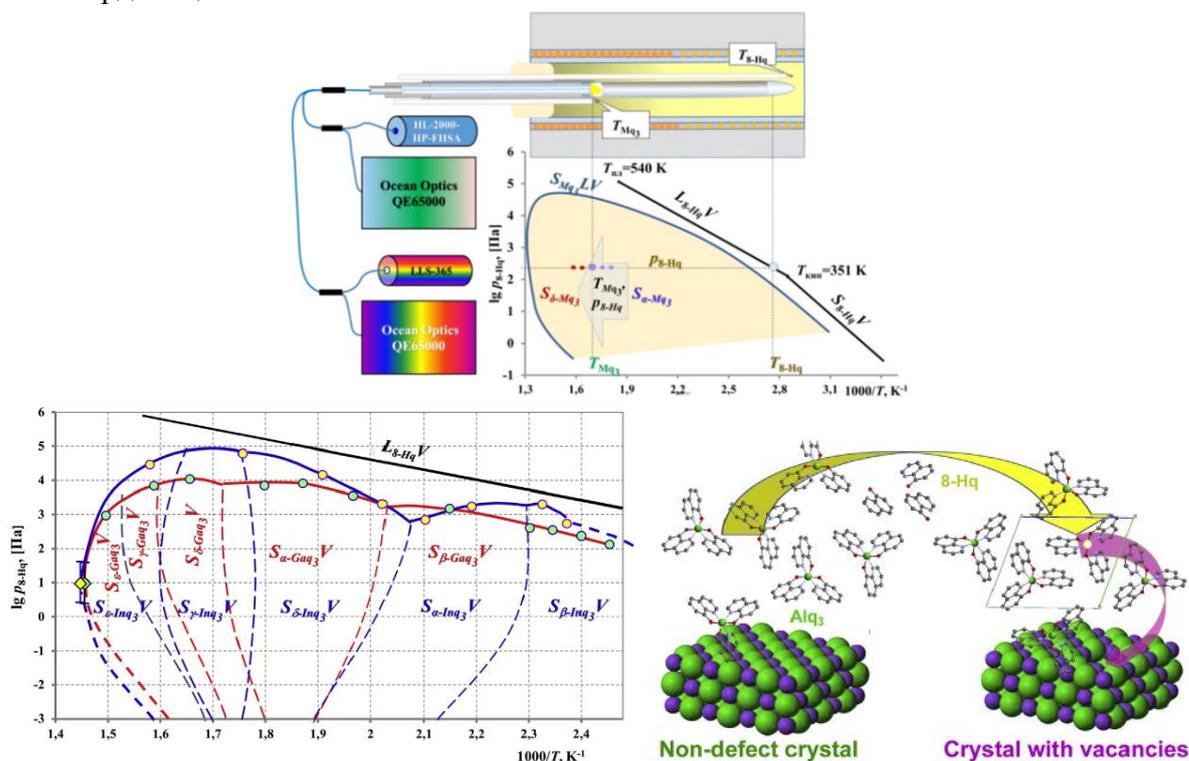
ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛОВ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ – ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНОФОРОВ В OLED СТРУКТУРАХ

Аветисов И.Х.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

Впервые для кристаллических фаз координационных соединений металлов с органическими лигандами показано, что можно управлять разупорядоченностью на уровне отдельных атомов в кристаллической ячейке, что приводит к значительному изменению химической активности и спектрально-люминесцентных характеристик данных материалов, которые находят применение в качестве органических электролюминофоров в OLED структурах.

Разработана методика и проведены исследования диаграмм «парциальное давление пара лигандообразующего компонента – температура» для высокочистых координационных соединений металлов с 8-оксихинолином. Показано, что как и для неорганических соединений, для исследованных металлокомплексов (Alq_3 , Gaq_3 , Inq_3) существует область парциальных давлений и температур, в которых формируются различные полиморфные модификации данных соединений с различной степенью разупорядочения на уровне атомов кристаллической решетки. Экспериментально показано, что изменение условий синтеза в пределах одной полиморфной кристаллической модификации металлокомплексов (Alq_3 , Gaq_3 , Inq_3) приводит к закономерному изменению структурно-чувствительных характеристик и к изменению химической активности кристаллической фазы. Предложена модель дефектообразования в кристаллическом Mq_3 , согласно которой дефицит металла связан с наличием вакансий в узлах координационного металла.



P_{8-Hq} - T диаграмма Gaq_3 , Inq_3 с указанием областей существования различных полиморфных модификаций.

В рамках разработки технологии конструкционных материалов ультранизким радиоактивным фоном РХТУ им. Д.И. Менделеева был принят в международную коллаборацию для реализации проекта DarkSide-20k в Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ КИНЕТИКИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЯВЛЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ ПРОДУКТОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

**Кулюхин С.А., Мартынов А.В., Мелихов И.В., Гопин А.В., Рудин В.Н.,
Козловская Э.Д., Аджиев С.А.**

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН
Московский Государственный университета им. М.В.Ломоносова*

Авторским коллективом завершено исследование кристаллизации ряда модельных веществ, результаты которого позволяют утверждать, что создан метод изучения кинетики нуклеации, роста и агрегирования наночастиц в пересыщенных растворах и парах с помощью морфологической памяти (МПА) продукта кристаллизации. Было установлено, что при кристаллизации иодида цезия, который является основным модельным веществом, первичные частицы объединяются в агрегаты с сохранением индивидуальности. При этом функции распределения первичных частиц по морфологическим свойствам вне и внутри агрегатов были близки, так что агрегаты сохраняли информацию о первичных частицах в МПА. Другим модельным веществом был формвар, первичные частицы которого формировали агрегаты в его растворе в дихлорэтаноле с сохранением информации о первичных частицах в МПА. Эти факты указывают на то, что МПА может быть использована при изучении пересыщенных растворов и паров различных веществ. Учитывая это, был сформулирован ряд краевых задач о использовании МПА различных веществ и создана система компьютерного отбора таких решений, которые согласуются с экспериментальными данными. Применительно к данным об изученных веществах компьютерный отбор привел к выводу, что агрегацию частиц различных веществ следует описывать уравнением Фоккера-Планка, используя его для определения скорости агрегации, которая приведет к согласию расчета и эксперимента. При этом компьютерный отбор оказался необходимым при поиске оптимальных условий кристаллизации при создании материалов нового поколения.

Таким образом, установлено, что при кристаллизации ряда модельных веществ в пересыщенной среде формировались агрегаты первичных наночастиц, обладающих морфологической памятью. При вхождении в агрегаты скорость роста первичных наночастиц снижалась настолько, что их морфологические свойства переставали существенно изменяться и информация о них поступала в МПА. При этом свойства агрегатов зависели от условий их формирования, что было учтено в мезокинетической модели кристаллизации, описывающей кинетику образования первичных наночастиц и их перехода в агрегаты при разных условиях кристаллизации. Использование этой модели показало, что кинетику образования агрегатов можно описать уравнением Фоккера-Планка, измененным применительно к решению прикладных задач.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ СЖИМАЕМОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ УДАРНО-СЖАТОГО КРЕМНИЯ ДО ДАВЛЕНИЯ 380 ГПА

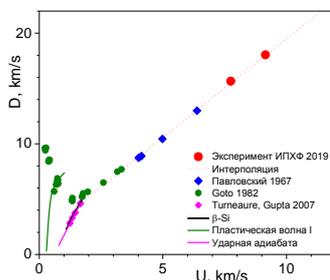
Николаев Д.Н., Кулиш М.И., Дудин С.В., Минцев В.Б., Ломоносов И.В., Фортон В.Е.
Институт проблем химической физики РАН

Впервые получены данные по ударной сжимаемости кремния до экстремальных давлений 380 ГПа; имеющиеся данные (< 197 ГПа, Павловский, 1967) были превышены почти в два раза, при этом новые данные хорошо согласуются с существующими. Подтвержден эффект непрозрачности фронта упругого предвестника ударной волны в кремнии при давлении 70 ГПа. Впервые методом инфракрасной пирометрии измерены яркостные температуры фронта ударной волны в диапазоне прозрачности кремния на

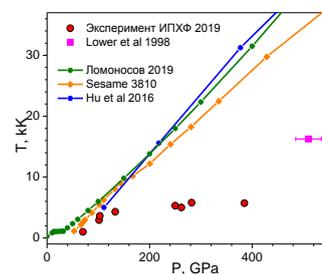
различных длинах волн. Зафиксировано значительное отличие экспериментальных данных от теоретических предсказаний. Предложен механизм частичного поглощения ИК-излучения фронта ударной волны при возникновении слоя носителей заряда вследствие внутреннего фотоэффекта.



Кумулятивный генератор ударных волн



Ударная адиабата кремния



Яркая температура ударно-сжатого кремния

Nikolaev D.N. Kulish M. I., Dudin S.V., Mintsev V.B., Lomonosov I.V., Fortov V.E. Measurement of the compressibility and temperature of shock compressed monocrystalline silicon up to 380 GPa. NPP-2019 Annual Workshop, November 27-28, 2019, Moscow, Russia

НОВЫЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ И КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Барина Т.В., Барин В.Ю.

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова РАН

Впервые, проведена реакция горения порошка кремния насыпной плотности в диоксиде углерода. Определены условия реакции – кремний хорошо горит в CO_2 в диапазоне давлений от 0,2 до 5 МПа. Результаты рентгенофазового анализа показали, что продукты горения во всем диапазоне давлений CO_2 состоят из двух фаз – SiC и Si . Соотношение фаз зависит от условий синтеза. По данным химического анализа в составе продуктов горения присутствует кислород, свободный углерод не обнаружен. Определены условия формирования продукта с заданной структурой: при введение в исходную смесь $\text{Si}+\text{C}$ добавок хлорного железа в основном были получены эллипсоидные кристаллы SiC , а в присутствии добавок хлористого никеля основная часть продукта состоит из нитевидных кристаллов. Результат открывает широкие перспективы для разработки новых высокотемпературных композиционных и керамических материалов на основе карбида кремния SiC , так как SiC характеризуется высокой температурой разложения, высокой химической стойкостью и окислительной устойчивостью.

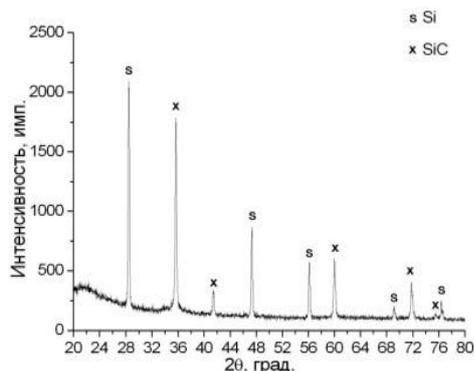


Рис. 1. Дифрактограмма продуктов горения Si в CO₂.

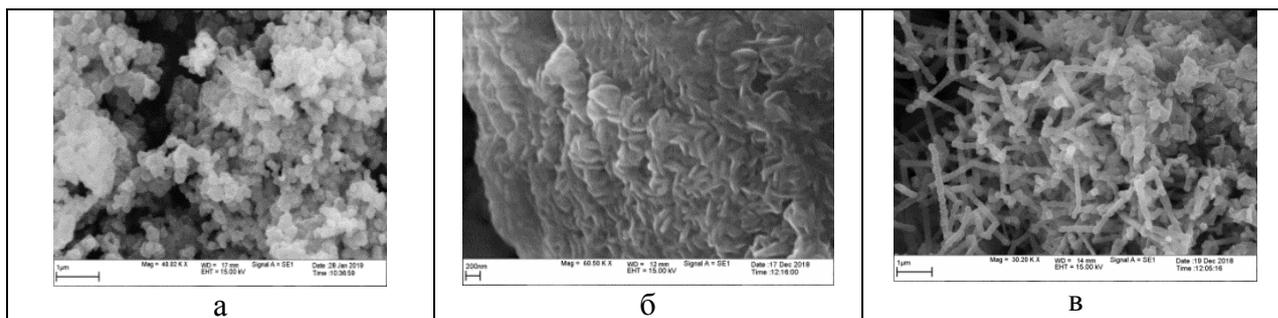


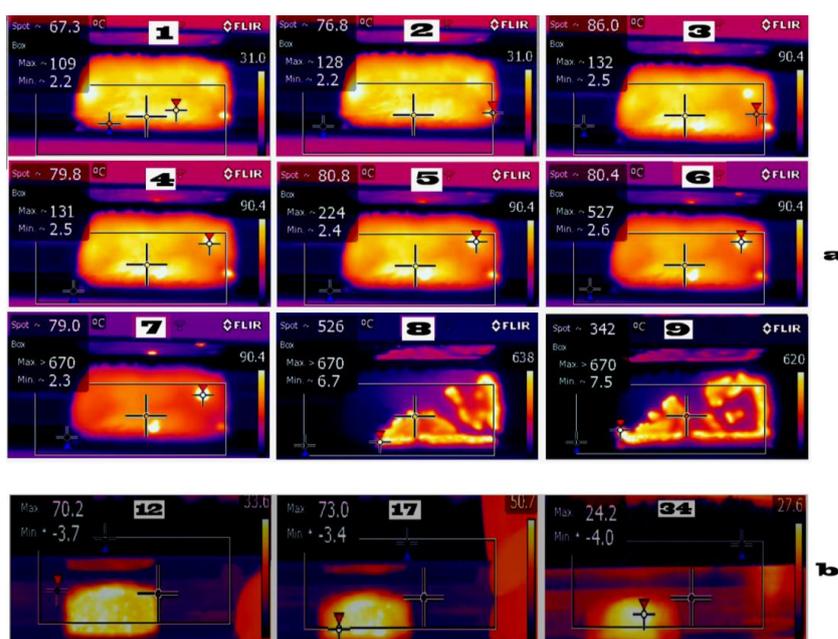
Рис. 2. Структура продукта SiC: а) горение без добавок; б) горение в присутствии FeCl₃·6H₂O; в) горение в присутствии NiCl₂·5H₂O

НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПАССИВАЦИИ НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ В ПОТОКЕ СУХОГО ВОЗДУХА

Алымов М.И., Рубцов Н.М., Сеплярский Б.С., Кочетков Р.А.

Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова РАН

Разработан новый эффективный метод пассивации наночастиц металлов в потоке сухого воздуха при температурах ниже 0⁰С. Метод основан на классической макроскопической теории теплового взрыва для объяснения явлений воспламенения в макроскопических объектах, состоящих из металлических наночастиц. Установлено, что понижение начальной температуры нанопорошка приводит к переходу от послойного к объемному режиму пассивации, что позволяет проводить пассивацию при большой концентрации окислителя в газе. Установлено, что пассивация при отрицательных температурах предотвращает агломерацию и коалесценцию наночастиц металла. Разработанный метод позволяет существенно снизить или исключить риски возникновения техногенных аварий при производстве, хранении, транспортировке и переработке металлических нанопорошков.



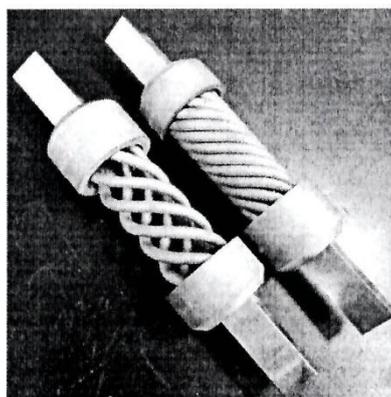
Инфракрасная видеосъемка процесса пассивации нанопорошков Ni в потоке сухого воздуха при разных начальных температурах (синтез в потоке водорода). Номер кадра соответствует времени в секундах с момента замены потока Ar на поток сухого охлажденного воздуха.

1. M.I. Alymov, N.M. Rubtsov, B.S. Septyarskii, V.A. Zelensky and A.B. Ankudinov. Synthesis of tungsten nanopowders and modes of their combustion and assivation // Mendeleev Commun., 2019, 29, 355–357. OI: 10.1016/j.mencom.2019.05.039.
2. M.I. Alymov, N.M. Rubtsov, B.S. Septyarskii, V.A. Zelenskii, A.B. Ankudinov, I.D. Kovalev, R.A. Kochetkov, A.S. Shchukin, E.V. Petrov, and N.A. Kochetov. Synthesis of Nickel Nanoparticles with Controlled Pyrophoricity and Average Size // Doklady Chemistry, 2019, Vol. 484, Part 1, pp. 19–23. <https://doi.org/10.1134/S0012500819010014>
3. B.S. Septyarskii, N.M. Rubtsov, T.P. Ivleva, M.I. Alymov. Effect of the Initial Temperature on the Modes of Passivation of Pyrophoric Powders: Macrokinetic Approach // Doklady Chemistry, 2019, Vol. 484, Part 1, pp. 24–28.

**РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
АВИАЦИОННЫХ И РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ**

Разработаны технологии получения исходных металлопорошковых композиций сплавов на никелевой, кобальтовой и алюминиевой основах для деталей малогабаритного газотурбинного двигателя (МГТД). Разработана технология изготовления полного комплекта деталей линейки МГТД с применением новой технологии селективного лазерного сплавления. Определены основные этапы постобработки деталей двигателя, включающей следующие пункты: удаление технологических поддерживающих структур, проведение горячего изостатического прессования и термообработки для обеспечения прочностных характеристик нагруженных деталей, снижение шероховатости ответственных поверхностей методом электролитно-плазменной полировки, обеспечение посадок, балансировка центробежного компрессора и колеса турбины на специализированном оборудовании.

Впервые в России был создан полный цикл аддитивного производства деталей линейки МГТД. В основу цикла был положен метод селективного лазерного сплавления металлопорошковых композиций сплавов разработки ФГУП «ВИАМ». В данный момент прорабатывается создание на базе ФГУП «ВИАМ» высокотехнологичного, энергоэффективного производства по аддитивным технологиям деталей и сборочных единиц МГТД в классе тяг от 100 до 3000 Н для обеспечения полного объема потребностей РФ в МГТД данного класса. В рамках работ по изготовлению деталей для газотурбинных установок была разработана новая конструкция топливной форсунки под преимущества аддитивных технологий для ГТУ 32МВт. Была модифицирована система подачи газа, получившая конструктив в виде кольцевых трубок. Образцы сегментов топливной форсунки (рисунок) переданы на усталостные испытания.

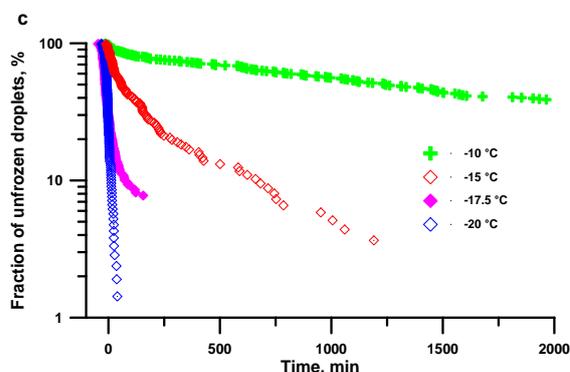


Образцы сегментов топливной форсунки

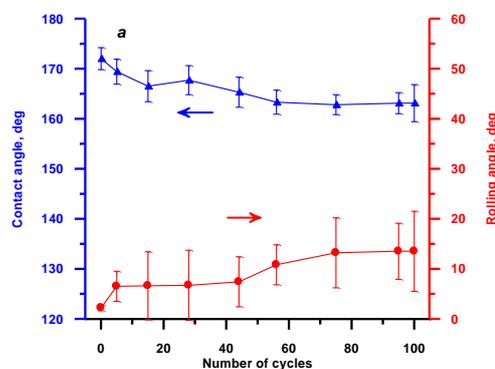
**СОЗДАНИЕ ДОЛГОВЕЧНЫХ ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ
ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ АТМОСФЕРНОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ**
Бойнович Л.Б., Емельяненко А. М., Модин Е. Б., Емельяненко К. А., Чулкова Е.В.,
Сатаева Н.Е.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина

Серьезной проблемой большинства супергидрофобных покрытий, ориентированных на защиту от атмосферного обледенения, является низкая эксплуатационная долговечность. В работе дан анализ механизмов, ответственных за льдофобность поверхности и на основе лабораторных и климатических экспериментов показано, какие свойства покрытий способствуют долговечности функциональных свойств. На основе этого анализа разработана стратегия получения льдофобных покрытий, основанная на тонкой настройке как режимов лазерной обработки, так и протоколов осаждения гидрофобного агента на текстурированную поверхность.



Эволюции доли водных капель во времени, остающихся в переохлажденном состоянии на супергидрофобном покрытии при фиксированной низкой отрицательной температуре.



Эволюция углов смачивания (синие значки) и углов скатывания (красные значки) на покрытии с увеличением числа циклов кристаллизации/плавления воды, которым подвергался образец с покрытием.

Проведенные трехлетние испытания в открытых атмосферных условиях свидетельствуют о том, что разработанная стратегия позволяет преодолеть основные недостатки противообледенительных покрытий, о которых сообщалось ранее, и приводит к стойкости льдофобных свойств при разрушающих атмосферных воздействиях.



Сравнительное поведение пластины из алюминиевого сплава без (справа) и с (слева) супергидрофобным покрытием в условиях сильного снегопада (а) и при ледяном дожде (б)

СОЗДАНИЕ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ СМАЧИВАНИЕМ ДЛЯ ПРОТИВОБАКТЕРИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Бойнович Л.Б., Емельяненко А.М., Алешкин А.В., Модин Е.Б., Емельяненко К.А., Ганне А.А., Домантовский А.Г., Каминский В.В.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина

С применением лазерной обработки на поверхности нержавеющей стали получена серия из 36 типов супергидрофобных и супергидрофильных покрытий. Подобраны режимы лазерной обработки, после которой образцы выдерживают более 2-х часов непрерывной пескоструйной обработки без потери иерархической шероховатости и супергидрофобного состояния. Исследована антибактериальная активность полученных покрытий. Показано, что в присутствии необработанной стали происходит повышение бактериального титра в дисперсии (Рис. 1). Супергидрофобные покрытия на поверхности стали проявляют очень слабый антибактериальный эффект, тогда как бактерицидные свойства супергидрофильных покрытий способствуют снижению титра бактериальной культуры на несколько порядков (Рис. 1). Анализ данных электронной микроскопии образцов, контактировавших с бактериальной дисперсией, позволяет заключить, что основной механизм снижения бактериального титра на супергидрофильных подложках – адгезия клеток, приводящая к деформации клеточной мембраны (Рис. 2а), вытеканию цитозоля и лизису клетки. На супергидрофобных поверхностях практически нет адгезии клеток (Рис. 2б), и наличие такой поверхности не влияет на размножение бактерий.

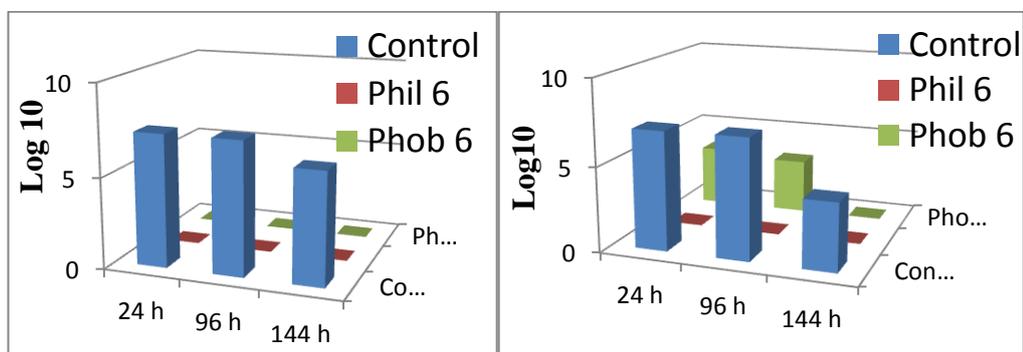
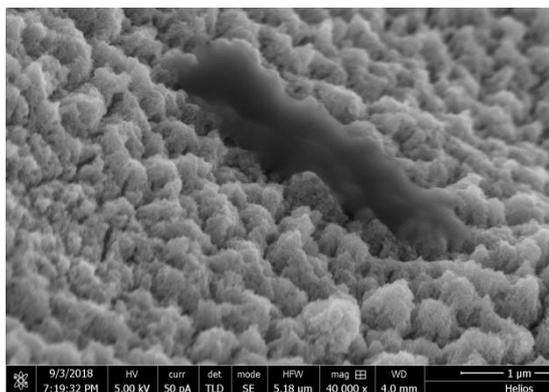
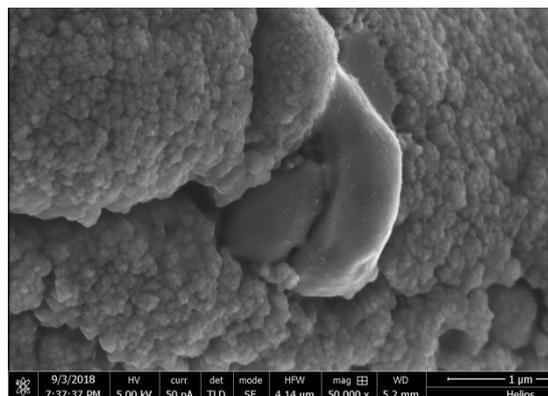


Рис.1 Бактерицидная активность супергидрофильных и супергидрофобных покрытий на нержавеющей стали при контакте с клетками *E. coli* K12 C600 (а) и с *A. Baumannii* B-05 (б).



(Рис. 2а) Клетка *Escherichia coli* на супергидрофильной поверхности нержавеющей стали. Видны деформация и перфорация клетки элементами нанотекстуры и снижение поперечного размера за счет удаления цитозоля из клетки



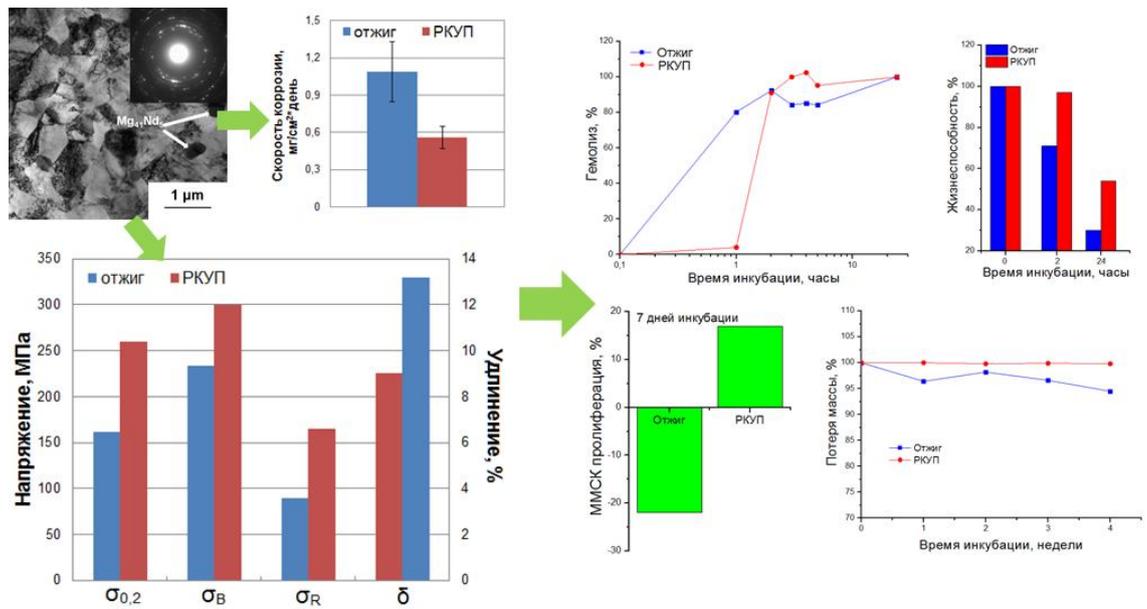
(Рис. 2б) На поверхности супергидрофобного покрытия на стали отсутствуют бактериальные клетки из-за низкой адгезии клетки к поверхности текстуры.

БИОРЕЗОРБИРУЕМЫЕ ИМПЛАНТАТЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО МАГНИЕВОГО СПЛАВА

Добаткин С.В., Мартыненко Н.С., Темралиева Д.Р.

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

Впервые показано, что использование в медицине биорезорбируемых имплантатов, изготовленных из ультрамелкозернистого (УМЗ) магниевого сплава WE43 системы Mg-Y-Nd-Zr со средним размером зерна 0,69 микрон, приводит к одновременному улучшению прочности, пластичности и многофункциональных свойств: усталостной прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости *in vitro*, которая выражается в снижении гемолиза эритроцитов крови на начальных сроках инкубации, увеличении жизнеспособности лейкоцитов и улучшении пролиферации мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток. Так, проведенные на сплаве WE43 системы Mg-Y-Nd-Zr исследования показали, что сформировавшаяся в процессе равноканального углового прессования (РКУП) УМЗ структура со средним размером зерна $0,69 \pm 0,13$ мкм способствует увеличению его прочности при небольшом росте пластичности. При этом предел прочности сплава возрастает с 234 до 300 МПа, условный предел текучести – со 161 до 260 МПа при росте относительного удлинения с 9 до 13,2%. Также стоит отметить, что предел усталости сплава после РКУП растет с 90 до 170 МПа. При этом формирование УМЗ структуры привело к улучшению коррозионной стойкости сплава, снижая скорость его коррозии с $1,09 \pm 0,24$ мг/см²*день в отожженном состоянии до $0,56 \pm 0,09$ мг/см²*день (испытания проведены в физиологическом растворе при 37°C).



Дополнительным положительным эффектом РКУП является то, что формирование УМЗ структуры и последовавшее за ним снижение скорости коррозии привело к улучшению биосовместимости *in vitro* сплава, которое выражается в снижении гемолиза эритроцитов крови на начальных сроках инкубации, увеличении жизнеспособности лейкоцитов и улучшении пролиферации мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК).

Приложения

Разработки в области продуктов малотоннажной химии в соответствии с перечнем приоритетных продуктовых сегментов

Разработки Институтов РАН в области создания продуктов малотоннажной химии по направлению «поверхностно активные вещества»

Институт химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН):

Разработаны композиции ПАВ для увеличения нефтеотдачи пластов низкопроницаемых коллекторов и месторождений высоковязких нефтей:

1. Композиции на основе ПАВ и щелочных буферных систем для увеличения нефтеотдачи низкопроницаемых пластов;
2. Композиции на основе ПАВ, генерирующие в пласте CO₂ и щелочную буферную систему (ИХН-КА, НИНКА®), для повышения нефтеотдачи низкопроницаемых коллекторов с высокой пластовой температурой и увеличения эффективности паротеплового воздействия на залежи высоковязкой нефти.

Преимущества композиций:

- сохранение парогазовой смеси в паровой фазе при температуре ниже температуры конденсации пара;
- увеличение эффективности процесса переноса компонентов нефти по механизму дистилляции;
- снижение набухания глинистых минералов породы коллектора и восстановление начальной проницаемости пласта;
- интенсификация противоточной пропитки и вытеснения нефти;
- значительное снижение вязкости нефти.

Разработки Институтов РАН в области создания продуктов малотоннажной химии по направлению «химические средства защиты растений»

Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН):

В ИОХ РАН совместно с ВНИИ Фитопатологии и РХТУ им. Д.И. Менделеева разработан принципиально новый класс, не имеющий аналогов, *высокоактивных фунгицидов на основе циклических пероксидов для защиты растений.*

Такие фунгициды являются патентно чистыми и их возможно производить из дешевых и доступных реагентов в 2-3 стадии с использованием стандартного химического оборудования. Следует отметить, что зарубежные аналоги производятся в 7-10 стадий из труднодоступного сырья. Предварительные исследования показали у разработанных в ИОХ РАН циклических пероксидов наличие фунгицидной активности по отношению к грибам, поражающим пшеницу, рожь, ячмень, подсолнечник, топинамбур, картофель, капусту, морковь, фасоль, горох, плоды фруктовых растений, сопоставимой и превосходящей у существующих наиболее распространенных соединений на основе азолов и аналогов стробилурина, которые являются в основном импортными.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (ИХТТМ СО РАН):

Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян и растений злаковых культур.

Оригинальным механохимическим путем получены протравители-композиции, состоящие из комплексов молекул тебуконазола (ТБК), наиболее широко использующегося в составе фунгицидных препаратов на территории РФ - с природными растительными нетоксичными веществами – полисахаридом арабиногалактаном из древесины

лиственницы, а также экстрактом корней солодки. Указанные «вспомогательные» компоненты производятся в РФ и имеют неограниченную ресурсную базу.

Разработана технология и наработаны опытные партии инновационных композиций, проведены их лабораторные и полевые испытания, показана их повышенная «защитная» активность для обрабатываемых растений и повышенная экологичность за счет снижения доз ТБК и использования в качестве вспомогательных компонентов нетоксичных растительных соединений. К преимуществу последних относятся их ростостимулирующие свойства, дополнительно способствующие повышению урожайности с/х культур. Стоимость применения разработанных препаратов близка к стоимости применения препарата «Раксил КС» и может быть снижена при организации промышленного выпуска.

Дальнейшие действия:

Требуется поддержка для проведения расширенных испытаний, отработки промышленной технологии и регистрации препаратов на территории РФ (или ее отдельных регионов). Следует иметь в виду, что в ИХТТМ СО РАН имеется опытно-промышленный участок для механохимического получения фунгицидных композиций производительностью до 50-100 кг/час. Аппараты для механохимического получения композиций производятся в ассоциированной с ИХТТМ СО РАН компании ООО «Новиц» и могут поставляться по заказу потребителей, в т.ч. в комплексе технологических линий для получения конечного продукта в порошкообразном расфасованном виде.

Разработки Институты РАН в области создания продуктов малотоннажной химии по направлению «вещества для нефтедобычи и транспортировки нефти по трубопроводам»

Институт химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН):

Разработаны и испытаны:

- неорганические и полимерные гелеобразующие системы ГАЛКА®, МЕТКА® , МЕГА в технологиях увеличения охвата пласта, регулирования фильтрационных потоков, ограничения водопритока при заводнении или паротепловом воздействии;
- криотропные гели для создания противофильтрационных завес и упрочнения грунтов в районах вечной мерзлоты;
- способ получения композиционно однородных сополимеров высших алкилакрилатов с азотсодержащими (мет)акриловыми мономерами, являющимися основой присадки К-210 депрессорно-модифицирующего действия. Присадка К-210 эффективно ингибирует образование асфальто-смоло-парафинистых осадков (АСПО) независимо от типа нефтяной дисперсной системы и проявляет сильный депрессорный эффект, снижая температуру застывания и вязкость нефтей, что приводит к улучшению транспортных характеристик тяжелых нефтей путем синергетического физико-химического воздействия;
- антитурбулентные присадки для трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов в арктических условиях. Преимущества присадки: – разбавленные растворы (концентрация до 20 г/м³) синтезированного полимера ($M \approx 5 \cdot 10^6$) способны снижать на 60 % гидродинамическое сопротивление турбулентного потока водонефтяных эмульсий, в то время как растворы промышленного образца полимера ($M \approx 0,9 \cdot 10^6$) такую величину эффекта достигают при концентрации ~ 200 г/м³ ; – маловязкая полимерная присадка в эмульсионно-суспензионной форме содержит в своем составе до 30 % полезного вещества – полимера, обладает высокой антитурбулентной эффективностью – способна снижать на ~ 50 % гидродинамическое сопротивление водонефтяных эмульсий.

Разработки Институты РАН области создания продуктов малотоннажной химии по направлению очистки воды и водоподготовки

Институт химии ДВО РАН:

1. Технология глубокой очистки питьевой и технологической воды функциональными жидкими полимерами на основе хитозана.

Назначение: очистка поверхностных вод высокой мутности и цветности. Доочистка водопроводных вод.

Применение: очистка питьевой воды, технологической воды промышленного назначения, в том числе, для пищевых производств, очистка и обезвреживание сточных вод.

ИХ ДВО РАН разработал технические условия на флокулянты.

Конструктивно установки флокуляционно-коагуляционной очистки питьевых и технологических вод выполняются в виде трех взаимосвязанных модулей: **система управления, система фильтрации, система пропорционального дозирования водоочистного реагента**. Такие установки могут иметь различную степень автоматизации (могут требовать обслуживания в виде смены очередной емкости с расходным реагентом, либо управляться (регенерироваться) вручную).

2. Сорбенты и технология очистки воды от органических примесей, нефтепродуктов и пищевых жиров

Минеральная основа сорбента – алюмосиликат.

Актуальность разработанных в Институте химии ДВО РАН технологий состоит в том, что применение полученных сорбентов и флокулянтов, используемых для очистки различных вод, в том числе и питьевых, от органических загрязнений на предприятиях любых видов деятельности, позволит существенно улучшить экологическую обстановку в регионах, ориентируясь на условия ужесточения государственного контроля за состоянием экологической безопасности.

Институт химии ДВО РАН предлагает:

- * Научные консультации; разработку технологической схемы очистки воды, технической документации; проектирование; изготовление; шеф-монтаж; пусконаладку; сдачу “под ключ” систем очистки (питьевой, промышленной, льяльной вод) различной производительности по требованию Заказчика.
- * Поставку партий гидрофобизированного сорбента не менее 1 м³. Сорбент может храниться в закрытом помещении неограниченно долгое время.
- * Поставку флокулянта для обеспечения работы станций водоочистки, работающих по описываемому методу.
- * Техническую документацию и рабочие чертежи устройства для получения и регенерации сорбента.
- * Технологическую документацию, рабочие чертежи универсальной установки для очистки скважинной и водопроводной воды холодного водоснабжения различной производительности.

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова (ИОФХ РАН):

Разработаны методы и технология получения малотоннажных продуктов на основе остаточных фракций нефтепереработки:

- углеродные сорбенты для очистки газов и воды;
- иониты для водоочистки и водоподготовки.

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН)

Водо- и органорастворимые гуанидинсодержащие полимеры и сополимеры

**Разработки Институтов РАН в области создания продуктов малотоннажной химии
по направлению «химические реактивы и растворители»**

Институт проблем химической физики РАН:

	Наименование разработки	Назначение	Краткое описание текущей стадии разработки
1.	Технологии синтеза аминотолуолов для получения полиуретановых материалов	Реагент для получения полиуретановых материалов	Подготовлены исходные данные для проектирования опытной установки.
2.	Технология получения 2,2-диметилпропановой кислоты для получения полиуретановых материалов	Реагент для получения полиуретановых материалов, экологичных вододисперсионных лакокрасочных материалов.	Получены опытные образцы, отработана технология синтеза.
3.	Технология получения гексена-1	Мономер для получения сополимеров полиэтилена	Получены опытные образцы, отработана технология синтеза.
4.	Альтернативная технология конверсии природных и попутных газов в жидкие химические продукты с высокой добавленной стоимостью	Технология позволяет получать на первой стадии либо кислородсодержащие продукты (метанол, формальдегид и др.) и CO, либо легкие олефины и CO.	Получены опытные образцы, отработана технология синтеза.

Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН (ИНХС РАН)

	Наименование разработки	Назначение	Краткое описание текущей стадии разработки
	Эфиры дитиокарбаминовой кислоты	Присадки к топливам и смазочным материалам, модификатор трения поколения Low SAPS	НИОКР
	Уреатные пластичные смазки специального назначения	Специальные смазки и технические жидкости	ОКР
	Эпихлоргидрин (разработаны 2 технологии получения)	Продукт (сырье) для производства синтетических смол (эпоксидных смол) и каучуков специального назначения	НИОКР
	Эпоксидная смола (Эпоксиднодиановые смолы ЭД-22, ЭД-20, ЭД-16 и др.)	Синтетические смолы, вещества для нефтепродуктотранспорта	НИОКР
	Монохлоруксусная кислота	Производство карбокисметилцеллюлозы - химического вещества для нефтедобычи	НИОКР

		(стабилизатор буровых растворов), А также сырьё для получения средств защиты растений (2,4-Д и другие гербициды)	
	Хлористый метил	Полупродукт при синтезе МТХ для строительных добавок, растворитель в производствах бутилкаучука и др.	НИОКР
	Водо- и органорастворимые гуанидинсодержащие полимеры и сополимеры	Дезинфицирующие вещества Вещества для водоподготовки	НИОКР

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина (ИФХЭ РАН).

Разработан торфо-шунгитовый материал с каталитически активными добавками для нейтрализации проливов ракетного топлива «гептил» при его производстве и применении. Особенностью материала является возможность захоронения материала в грунт после его использования для нейтрализации гептила, поскольку материал состоит только из природных биоразлагаемых материалов. Разработка требует стадии доработки технологического регламента и оборудования по производству торфо-шунгитового материала.

Институт проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ СО РАН):

- Разработана технология производства в ИПХЭТ СО РАН флороглюцина мощностью 20 т/г.

Флороглюцин применяется в составе ряда медикаментозных средств от спазматических болей, образования камней в почках и заболеваний ЖКТ. В печати изомер фенола используется как связующий элемент для получения "прочного черного" цвета отпечатка. С его помощью осуществляется синтез некоторых взрывчатых веществ. На базе флороглюциноза осуществляется процесс извлечения сосновых дубильных веществ. Флороглюцин широко используется в практической химии как реагент.

- Разработана технология производства в ИПХЭТ СО РАН бензиламина мощностью 35 т/г.

Бензиламин – промежуточный продукт в производстве катионных красителей, лекарственных веществ.

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова (ИОФХ РАН):

Разработаны методы и технология получения малотоннажных продуктов на основе остаточных фракций нефтепереработки:

- модификаторы дорожных битумов;
- добавки к полимерным материалам комплексного действия (пластифицирующие и антиокислительные);
- красители и катализаторы на основе нефтяных порфиринов.

Институт химии силикатов РАН им. И.В.Гребенщикова (ИХС РАН)

Разработан материал на основе алмаза с уникальными физико-механическими свойствами. На основе уникального материала «Идеал» разработаны бронезащитные элементы, обеспечивающие защиту до класса защитной структуры Брб. При этом бронезащитные элементы эффективнее всех имеющихся аналогов в мире. Также показано, что эти материалы перспективны в качестве гидроакустических покрытий для морских судов, энергопоглощающих элементов для защиты от взрывов, других специальных применений. По этому материалу отработан технологический процесс, есть возможность наладить промышленное производство до 2 тонн в год, организовать производство возможно в рамках создаваемого в г. Гатчина Ленинградской области Северо-Западного нанотехнологического центра. Для эффективной реализации процесса необходимо организовать также производство исходных материалов, в том числе алмазов до 1 тонны/год.

Разработаны технологии создания защитных покрытий разных типов с определенными технологическими и эксплуатационными свойствами, а именно:

- антиобледенительной органосиликатной композиции,
- антикоррозионной органосиликатной композиции,
- золь-гель композиции для супергидрофобного покрытия на стекле,
- органосиликатной композиции для гидрофобного атмосферостойкого защитного покрытия для металлов,
- лакокрасочной композиции для антиобрастательных защитных покрытий,
- супергидрофобной лакокрасочной композиции для различных поверхностей (стекло, пластик, металл, дерево).

**Разработки Институтов РАН в области создания продуктов малотоннажной химии
по направлению «прочие пластики и каучуки специального назначения»**

Институт проблем химической физики РАН:

	Наименование разработки	Назначение	Краткое описание текущей стадии разработки
1.	Технологии высокоэффективного синтеза этилен/пропиленовых и этилен/пропилен/диеновых каучуков, в том числе специального назначения	Синтез этилен/пропиленовых и этилен/пропилен/диеновых каучуков проявляющих теплофизические характеристики, соответствующие этому классу материалов, и улучшенные физико-механические свойства вследствие особенностей микроструктуры сополимеров.	Разработана лабораторная технология
2.	Технология получения полиальфа-олефиновых основ синтетических масел	Разработана современная технология получения полиальфа-олефиновых основ синтетических масел.	Построен первый отечественный завод по производству синтетических смазочных масел в г. Нижнекамске. Ведутся дальнейшие разработки.

Институт высокомолекулярных соединений РАН (ИВС РАН)

Разработка технологии получения наномодифицированных высокотеплостойких полиимидных термопластов (ПИ) из отечественных мономеров, организация малотоннажного производства.

Во многих промышленных приложениях в экстремальных условиях эксплуатации ПИ являются лучшими или незаменимыми благодаря уникальным характеристикам: прочность, огнестойкость, химическая и радиационная стойкость, биологическая совместимость и сохранение этих характеристик от - 196 до + 300 °С в течение тысяч часов. Наномодифицированные ПИ превосходят лучшие зарубежные аналоги: по показателям термостойкости, прочности, по барьерным характеристикам (газо-, влагонепроницаемости) в 2 – 3 раза.

Разработки Институтов РАН в области создания материалов для альтернативной энергетики

Институт проблем химической физики РАН:

	Наименование разработки	Назначение	Краткое описание текущей стадии разработки
1.	Получение органических полупроводниковых материалов на основе нафталиндиимидов, перилендиимидов, производных фуллеренов, электроактивных полимеров с конденсированными гетероароматическими структурами, сопряженных полимеров	Использование в органических и перовскитных солнечных батареях, светоизлучающих диодах, фотодетекторах, элементах памяти, полевых транзисторах, функциональных сенсорных системах, металл-ионных аккумуляторах	Разработаны технологии полупромышленного синтеза органических полупроводниковых материалов на основе нафталиндиимидов, перилендиимидов, производных фуллеренов, электроактивных полимеров с конденсированными гетероароматическими структурами, сопряженных полимеров на основе чередующихся донорно-акцепторных блоков.

Разработки в области металлов

Разработки Институтов РАН в области создания продуктов малотоннажной химии по направлению металлических и керамических материалов

Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН)

- Создание на базе ИМЕТ РАН участка для производства сферических порошков металлов, сплавов и композиционных материалов для аддитивных технологий с использованием плазмохимического синтеза. Предполагается оперативная разработка и изготовление широкого ассортимента наукоемких порошковых материалов разных диапазонов дисперсности, а новейшие средства классификации порошков обеспечат возможность выделения узких фракций порошков с высокой точностью и воспроизводимостью

- Создание на базе ИМЕТ РАН полного цикла малотоннажного производства и разработки материалов, технологии и оборудования для трехмерной печати персонализированных биоактивных костных имплантатов на основе кальцийфосфатной керамики для ортопедии, стоматологии, челюстно-лицевой хирургии, нейрохирургии, онкологии. Основные продукты:

- Партии композитных порошков на основе фосфатов кальция для трехмерной струйной печати биоактивных керамических структур, обеспечивающих эффективное замещение дефектов и регенерацию костных тканей;

- Полученные трехмерной печатью керамических имплантатов заданной архитектоники по индивидуальным рентгеновским и/или томографическим данным конкретного пациента;

- Опытные образцы оборудования для промышленной реализации разработанных технологий

Институт металлургии и материаловедения УРО РАН (ИМЕТ УРО РАН)

- Переработка ванадийсодержащего конвертерного шлака с получением пентоксида ванадия повышенной чистоты. Технология является комплексной и экологически чистой без загрязнения водного и воздушного бассейна и без отчуждения земель для складирования твердых отходов. Практическое осуществление предлагаемой технологии позволит в качестве импортозамещения ликвидировать зависимость России от импортных поставок.

- ИМЕТ Уро РАН совместно с ООО «Технологии тантала» в рамках госконтракта Минобрнауки разработали в опытно-промышленном масштабе электрохимические технологии производства металлического порошка тантала из пентахлорида тантала и агломерированных нанокристаллических бездефектных порошков тантала конденсаторного типа, изготовлено соответствующее оборудование, наработаны опытные партии порошков. На ОАО «Элеконд» (г. Сарапул) изготовлены и опробованы опытные партии образцов конденсаторов, имеющие токи утечки на порядок ниже, чем в конденсаторах аналогичных номиналов из импортных порошков.

Институт структурной макрокинетики РАН (ИСМАН)

Организация в ИСМАН производства порошков и изделий из керамических материалов, в том числе для вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ).

Цель: Создание на базе ИСМАН химической компании полного цикла по производству керамических СВС-порошков и изделий общим объемом до 25 т/год, не уступающих по качеству лучшим мировым аналогам, что позволит исключить критическую зависимость Российской Федерации от внешних поставок. (СВС - самораспространяющийся

высокотемпературный синтез - это процесс перемещения волны химической реакции по смеси реагентов с образованием твердых конечных продуктов, проводимый с целью синтеза веществ и материалов).

СВС порошки(ИСМАН):

Нитриды: AlN, BN, ZrN, TiN, Si₃ N₄ Композиционные порошки: Si₃ N₄ – MeO Бориды: TiB₂, ZrB₂ др. Карбиды: TiC, ZrC, B₄C, SiC, WC. Силициды: MoSi₂, и др. Гидриды: TiH₂, ZrH₂.

СВС изделия (ИСМАН):

Изделия из BN и композиционных материалов на его основе: BN-TiB₂, BN-SiC, BN- SiO₂, BN-Al₂O₃. Изделия из сиалонов и композиционных материалов на их основе. Изделия из AlN и композиционных материалов на его основе AlN-TiB₂.

Производительность имеющегося в ИСМАН оборудования: 2 т/год Потребность: до 25 т/год.

За последние три года ИСМАН разработал две импортозамещающие технологии порошков для изделий ВВСТ.

Требуемый объём финансирования: 643 млн. руб.

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева (ИХТРЭМС КНЦ РАН)

- *Порошок циркония натриетермического.* Стратегически важный материал. Необходим для различных видов боеприпасов. Потребность 1.5-2 т в год. В РФ в таком масштабе не производится. Разработана пожаробезопасная технология. Патент РФ № 2304488.

- *Порошки тантала конденсаторные с удельным зарядом на уровне 100000 мкКл/г и выше.* Используются для производства высокочастотных танталовых конденсаторов спецназначения. Импортозамещающий продукт. Ориентировочная сегодняшняя потребность 500-1000 кг в год. Лабораторные партии магнетермических и кальциетермических порошков с удельным зарядом 90000-150000 мкКл/г тестируются на предприятиях отрасли. Оригинальность технологии подтверждена патентом РФ № 2649099.

- *Предложения по использованию сфенового (титансодержащего) концентрата.*

1. Очищенный от примесных минералов сфен совместно с нефелином используется в производстве сварочных электродов (опытно-промышленные испытания в Санкт-Петербурге, «Прометей» и Северодвинске Архангельской обл.)

2. Прошла стадию опытно-промышленной проверки технология получения из сфенового концентрата модифицированного атмосферостойкого пигмента (методом ультразвукового измельчения).

3. Оптимизированы применительно к рекомендуемому оборудованию параметры технологической схемы титанового сорбента композиционного состава, содержащего титанофосфат и аморфный кремнезем. Обширные испытания этого сорбента на промышленных объектах очистки стоков от радионуклидов, в частности в фирме «Атомфлот», показали перспективность его использования взамен ионообменным смолам. Интерес к данному сорбенту проявляет горно-перерабатывающий концерн Boliden (Швеция).

4. Получен новый сорбент (по структуре) в виде сферогранулированного гидроксида титана. При его испытаниях показано, что он весьма эффективен при очистке стоков от тяжелых цветных металлов с валентностью 2 и 3 – Co, Ni, Cd, Cr.

5. *Из титанового соединения (дубитель) получены новые функциональные материалы на титаносиликатной основе.* Благодаря каркасному строению и специфике структурных связей они характеризуются повышенной термо-радиационной стойкостью, обладают высокими сорбционными (в широкой области изменения pH объектов очистки), а также обладают восстановительными и фотокаталитическими свойствами. Особо следует отметить то, что в связи с серьезной экологической проблемой в регионе и в

целом по России, связанной с необходимостью очистки от радионуклидов ЖРО гражданского и военного происхождения, главным образом от ^{90}Sr и ^{137}Cs , актуальность получения каркасных щелочных титаносиликатов очевидна.

6. По заказу ОАО «Композит» разработана технология получения из СТА новая марка диоксида титана для специальных термо-атмосферостойких герметиков и клеев, а также диоксид титана для защитных покрытий, обладающих помимо стойкости к атмосферным воздействиям, дополнительно антиобледенительными и радиационостойкими свойствами.

Практически все перечисленные материалы дефицитны на российском рынке и их спрос удовлетворяется импортом далеко не полностью, поскольку их поставка требует значительных затрат. Целесообразность создания установки по переработке сфена очевидна. Её функционирование позволит получать достаточно дорогие и реализуемые на рынке продукты, а также проводить испытания по получению новых видов импортозамещающей продукции, необходимой для развития передовых отраслей промышленности. В настоящее время установка законсервирована по причине недоработки вопроса стабильного сбыта получаемой продукции.

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (ИХТТМ СО РАН)

Планируется создание Инжинирингового центра порошковых технологий для решения проблем трансфера и освоения гибких технологий получения порошковых материалов в промышленном производстве, в том числе на базе аддитивных технологий

Основные направления создания новых технологий и продукции:

1. Аддитивные технологии:

- производство керамических, металлических и композитных порошков для технологий послойного лазерного спекания/сплавления и струйной 3D печати

2. Материалы для Министерства обороны

- тяжелые псевдосплавы для артиллерии и радиационной защиты;

- тугоплавкие карбиды для защитных покрытий.

Для этого необходимо обновление материально-технической базы (технологическое, аналитическое оборудование).

Институт проблем химико-энергетических технологий (ИПХЭТ СО РАН):

Технология получения и создание производства наноксида меди методом сольватотермии производительностью 1 кг/год

Разработки в области создания особочистых материалов

Разработки Институтов РАН в области создания особо чистых материалов, относящихся к сегменту «особо чистые вещества и материалы на их основе для электроники, оптоэлектроники и фотоники»

Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН

Разработки реализованы как укрупнено лабораторные технологии и используются для выпуска малых партий высокочистых веществ по заказу заинтересованных организаций.

Перечень материалов:

- высокочистые халькогены (сера, селен, теллур), мышьяк;
- высокочистые халькогениды - сульфиды, селениды, теллуриды мышьяка, германия, сурьмы, галлия, индия;
- высокочистые халькогенидные стекла и одномодовые световоды на их основе;
- особо чистые халькогенидные стекла, легированные ионами редкоземельных элементов, и световоды на их основе, с интенсивной люминесценцией в среднем ИК-диапазоне;
- оптическая нанокерамика на основе оксидов алюминия, магния и РЗЭ;
- изделия из ZnSe, ZnS и активные лазерные среды для среднего ИК-диапазона (ZnSe:Cr²⁺, ZnSe:Fe²⁺);
- эпитаксиальные структуры кадмий-ртуть-теллур;
- высокочистые кварцевые световоды с определенными функциональными свойствами, в том числе радиационно-стойкие, для создания волоконных лазеров и усилителей;
- моноизотопные кремний, германий и их соединения с высокой изотопной и химической чистотой;
- высокочистые теллуридные стекла, легированные ионами РЗЭ (туллий, гольмий, эрбий, диспрозий), и световоды на их основе.

Из представленного перечня разработок ускоренной реализации заслуживает технология высокочистого изотопнообогащенного силана SiH₄ с низким содержанием примеси ²⁹SiH₄. Из ²⁸SiH₄, изготовленного и охарактеризованного в ИХВВ РАН в университете Гренобля изготовлена подложка диаметром 30 мм с эпитаксиальным слоем кремния-28. Согласно пресс-релизу Комиссариата по атомной и альтернативным видам энергии Франции, изготовление этого устройства рассматривается как крупный шаг в создании элементной базы квантового компьютера. Возможен большой спрос на моноизотопный ²⁸SiH₄, единственным поставщиком которого пока является Россия. Целесообразно принять срочные шаги к выпуску этого продукта.