



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

2023 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.

Научный совет РАН по материалам и наноматериалам в новом составе был утвержден постановлением Президиума РАН от 31 января 2023 г. № 15.

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 |
| Алымов М.И. | - | член-корреспондент РАН |
| Бражкин В.В. | - | академик РАН |
| Гветадзе Р.Ш. | - | член-корреспондент РАН |
| Дуб А.В. | - | доктор технических наук, Акционерное общество «Наука и инновации» Госкорпорации «Росатом» (по согласованию) |
| Леонтьев Л.И. | - | академик РАН |
| Ляхов Н.З. | - | академик РАН |

Члены совета

- | | | |
|---------------|---|---|
| Бакулева Н.П. | - | кандидат химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева» Минздрава России (по согласованию) |
| Бойнович Л.Б | - | академик РАН |
| Бузник В.М. | - | академик РАН |

- Буланов А.Д. - член-корреспондент 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)
- Гмошинский И.В. - доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии» (по согласованию)
- Гудилин Е.А. - член-корреспондент РАН
- Дорохов А.С. - академик РАН
- Иванов Виктор В. - член-корреспондент РАН
- Иванов В.К. - член-корреспондент РАН
- Иванов В.П. - кандидат технических наук, некоммерческая организация «Российский Союз предприятий и организаций химического комплекса» (Российский Союз химиков) (по согласованию)
- Колобов Ю.Р. - доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (по согласованию)
- Краснянский М.Н. - доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (по согласованию)
- Куличихин В.Г. - член-корреспондент РАН
- Лысак В.И. - академик РАН
- Люлин С.В. - член-корреспондент РАН
- Максимов А.Л. - член-корреспондент РАН
- Мелихов И.В. - член-корреспондент РАН
- Мерзликин А.М. - доктор физико-математических наук, Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки
Институт теоретической и прикладной
электродинамики Российской академии наук (по
согласованию)

- Мулюков Р.Р. - член-корреспондент РАН
- Нелюб В.А. - доктор технических наук, Федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Московский
государственный технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)» (по согласованию)
- Оганов А.Р. - доктор физико-математических наук, Сколковский
института науки и технологий (по согласованию)
- Озерин А.Н. - член-корреспондент РАН
- Павленко В.И. - доктор технических наук, Федеральное
государственное образовательное учреждение высшего
образования «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова» (по
согласованию)
- Пономаренко С.А. - член-корреспондент РАН
- Разумов В.Ф. - член-корреспондент РАН
- Санин В.Н. - доктор физико-математических наук, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки
Институт структурной макрокинетики и проблем
материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской
академии наук (по согласованию)
- Ткачев А.Г. - доктор технических наук, Федеральное
государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический
университет» (по согласованию)
- Федин В.П. - член-корреспондент РАН
- Федюшкин И.Л. - академик РАН
- Хаширова С.Ю. - доктор химических наук, Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова» (по согласованию)
- 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
- Шикин А.М. - доктор физико-математических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Санкт-
Петербургский государственный университет»
- Якобовский М.В. - член-корреспондент РАН
- Ярославцев А.Б. - академик 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, повышение 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. рассыпает 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 представляющими 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 2023 г.**

В 2023 г. было проведено одно заседание Бюро и четыре заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам (далее – Совета).

Заседание Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам состоялось **13 февраля 2023 г.** со следующей повесткой:

1. Вступительное слово Председателя Совета академика С.М. Алдошина.
2. Информация об изменениях в составе Научного совета РАН по материалам и наноматериалам.
3. Отчет о работе Совета. Ученый секретарь Совета Э.Р. Бадамшина.
4. Предложения по тематикам заседаний 2023 г.
5. Разное

На открытии заседания председатель Научного совета РАН академик **Сергей Михайлович Алдошин** рассказал о возрастающей экспертной роли Советов РАН, в том числе, в проведении экспертизы и мониторинге проектов, входящих в дорожные карты по развитию отдельных высокотехнологичных направлений.

Далее С.М. Алдошин рассказал об изменениях в составе Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, утвержденных постановлением президиума РАН № 15 от 31.01.2023 г. До этого в состав Совета входило 48 членов, в настоящее время Совет насчитывает 47 членов: 12 членов Совета выведено из состава, 13 – введено.

После этого Ученый секретарь Совета **Эльмира Рашатовна Бадамшина** кратко доложила о работе Совета за последние годы. Она отметила, что с начала 2014 года (когда Председателем Совета стал академик С.М. Алдошин, ученым секретарем – Э.Р. Бадамшина) проведено 34 заседания с приглашением ведущих отечественных и зарубежных ученых, представителей государственных и бизнес-структур, руководителей и ведущих специалистов производственных предприятий частного и государственного сектора. На этих заседаниях с целью проведения экспертного анализа состояния научно-инновационной деятельности в области разработки и создания материалов и наноматериалов в РФ, заслушиваются и обсуждаются обзорные доклады ведущих ученых, содоклады и выступления участников заседаний с детальным обсуждением научно-технических проблем, анализом инновационного потенциала в рассматриваемой области, научно-производственной деятельности, существующих трудностей и возможных путей их преодоления. На основании докладов, представленных видными учеными и специалистами, составляются аналитические записки, в том числе в виде расширенных решений Совета, которые направляются в Правительство, Минпромторг, Министерство инвестиций и инноваций МО, Министерство науки и образования, Роснано, Фонд перспективных исследований, Российскую венчурную компанию, Венчурный фонд «Лидер-инновации» и ряд других профильных ведомств.

За прошедшие годы обсуждались вопросы, связанные с состоянием дел в области металлических материалов и наноматериалов, в области производства технического стекла. Цикл заседаний, посвященных материалам для Арктики, завершился аналитическим обзором «Арктическое материаловедение: состояние и развитие» как основы Дорожной карты по арктическому материаловедению. По итогам заседаний, посвященных малотоннажной химии (МТХ), Советом была проведена огромная работа по формированию перечня разработок Институтов РАН в области малотоннажных продуктов, который был передан в Минпромторг для организации взаимодействия с исполнителями по выпуску продукции МТХ.

Необходимо отметить цикл заседаний, посвященных моделированию материалов и их свойств, внесших вклад в создание двух Центров компетенции: на базе Бауманского университета и на базе Новосибирского университета.

Проведен также цикл заседаний, посвященных такой актуальной тематике как «Аддитивные технологии и материалы». Существующее состояние дел в области аддитивных технологий и материалов для них было изложено на нескольких заседаниях в

докладах Первого заместителя генерального директора АО «Наука и инновации» ГК «Росатом» д.т.н. А.В. Дуба, заместителя генерального директора ФГУП ВИАМ по металлическим материалам к.т.н. М.М. Бакрадзе, генерального директора АО «Композит», д.т.н. А.Г. Береснева, ректора Санкт-Петербургского Государственного морского технического университета, д.т.н. Г.А. Туричина, и.о. проректора Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, д.х.н. С.Ю. Хашировой.

Следует подчеркнуть, что эти заседания проводились, в том числе, с целью обсуждения потенциальных проектов для формируемой комплексной научно-технической программы (КНТП) полного инновационного цикла «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы». Несколько из этих проектов включены в КНТП. Работа эта проходила в контакте с Советом по приоритетному направлению СНТР РФ «Переход к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» под председательством академика И.А. Каляева.

В конце 2021 г. был предпринят удачный опыт проведения совместного заседания Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Научного совета РАН «Квантовые технологии» по теме «Анализ состояния фундаментальных исследований в Российской Федерации в области разработки материалов для квантовых технологий».

В 2022 г. это начинание продолжено в плане совместных заседаний с Отделением медицинских наук по актуальнейшей, особенно в сегодняшних реалиях, темы «Проблемы в области материалов и изделий для медицины». Связано это с тем, что в настоящее время сложилась критическая ситуация, обусловленная отсутствием отечественного производства большинства материалов и изделий из них, примен器яющихся в медицине. Для разрешения этой проблемы в Минздраве РФ разработана Программа “Медицинская наука для человека”, результатом выполнения которой должны стать не отчеты и научные статьи, а конкретные продукты, которые могли бы войти в медицинскую практику.

Таким образом, проведение совместных заседаний Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Отделением медицинских наук (медиков и материаловедов) должно стать мощным инструментом трансляции результатов фундаментальных изысканий в практику, создания междисциплинарных коллективов, усилиями которых будет выполняться вышеупомянутая Программа Минздрава РФ.

Научным советом РАН по материалам и наноматериалам в 2022 году проведено четыре совместных с Отделением медицинских наук заседания, посвященных проблемам в области материалов и изделий из них для хирургии органов головы и шеи, для трансплантологии (см. отчет за 2022 год).

Э.Р. Бадамшина сообщила также, что в настоящее время готовится Аналитическая записка по итогам заседаний, посвященных проблемам в области материалов и изделий из них для медицины. Осуществлен сбор разработок в этой области из некоторых Институтов ОХНМ РАН и Отделения медицинских наук РАН

Бюро Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам, обсудив сообщения Председателя и Ученого секретаря Совета и возможные тематики предстоящих заседаний, вынесло следующее решение:

1. Принять к сведению информацию академика С.М. Алдошина о возросшей роли Советов РАН в плане экспертной деятельности и об изменениях в составе Совета.
2. Признать работу Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам удовлетворительной.
3. Проработать вопрос о создании банка по материалам.
4. Провести заключительное совместное заседание Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам и Отделения медицинских наук с обсуждением Аналитической записки по материалам и изделиям из них для медицины для

дальнейшего отправления ее в органы власти, профильные Министерства и другие профильные ведомства.

5. Далее провести заседание совместно с Научным советом РАН по квантовым технологиям.

3 апреля 2023 г. состоялось заседание Совета, завершающее цикл заседаний, начатый в 2022 году, посвященный обсуждению такой важной темы, как **проблемы в области материалов и изделий для медицины**. В силу сложившейся традиции заседание проходило в смешанном режиме – очно и в режиме ВКС со следующей повесткой:

Повестка:

1. Вступительное слово председателя Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам академика Сергея Михайловича Алдошина.
2. Доклад академика Людмилы Борисовны Бойнович и д.х.н. Александра Михайловича Емельяненко, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН «Разработка материалов для профилактики и борьбы с нозокомиальными инфекциями».
3. Доклад заместителя академика-секретаря Отделения медицинских наук академика Валерия Васильевича Береговых «О возможности достижения практических результатов при выполнении государственных заданий при взаимодействии отделений РАН».
4. Доклад член-корреспондента РАН Натальи Валерьевны Пятигорской «Системный подход к созданию инновационного продукта».
5. Краткое сообщение ректора МГМСУ академика Олега Олеговича Янушевича, директора НИИ стоматологии член-корреспондента РАН Рамаза Шалвовича Гветадзе, зав. кафедрой цифровой стоматологии профессора Сергея Дарчоевича Арутюнова «Проблемы импортозамещения в стоматологии».
6. Дискуссия, обсуждение.

В своем вступительном слове академик **С.М. Алдошин** сообщил, что в 2022 г. проведен цикл совместных заседаний с Отделением медицинских наук по актуальнейшей, особенно в сегодняшних реалиях, теме «Проблемы в области материалов и изделий для медицины».



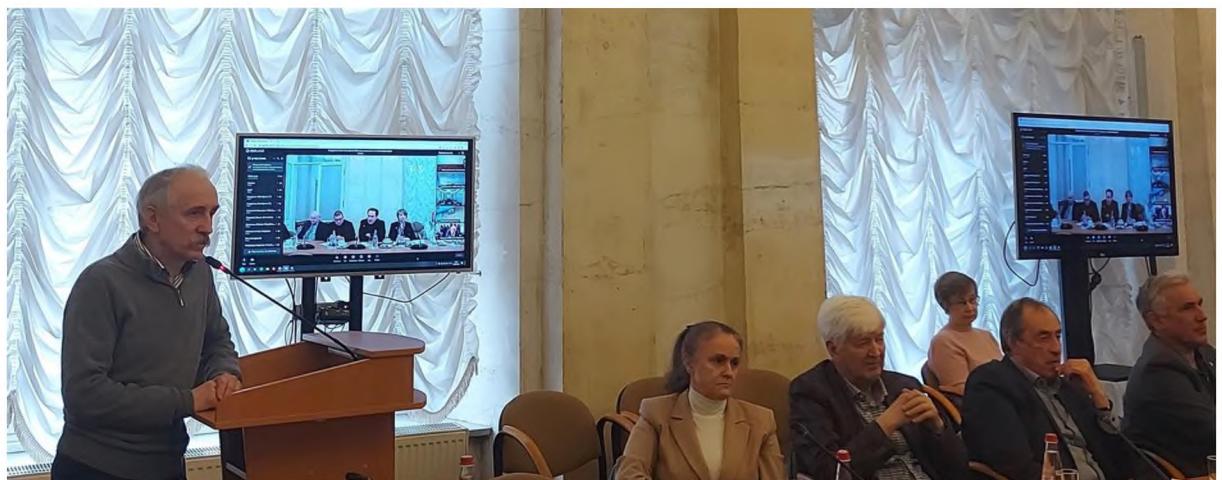
Связано это с тем, что в настоящее время сложилась критическая ситуация, обусловленная отсутствием отечественного производства большинства материалов и изделий из них, примен器ющихся в медицине. Для разрешения этой проблемы в Минздраве РФ разработана Программа “Медицинская наука для человека”, результатом

выполнения которой должны стать не отчеты и научные статьи, а конкретные продукты, которые могли бы войти в медицинскую практику. Таким образом, проведение совместных заседаний Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Отделением медицинских наук (медиков и материаловедов) должно стать мощным инструментом трансляции результатов фундаментальных изысканий в практику, создания междисциплинарных коллективов, усилиями которых будет выполняться вышеупомянутая Программа Минздрава РФ.

Научным советом РАН по материалам и наноматериалам проведено 4 совместных с Отделением медицинских наук заседания, посвященных проблемам в области материалов и изделий из них для хирургии органов головы и шеи, для трансплантологии. От медиков на заседаниях с докладами выступили академики Игорь Владимирович Решетов, Олег Олегович Янушевич, член-корреспонденты РАН Николай Аркадьевич Дайхес, Сергей Юрьевич Иванов, профессора Андрей Вячеславович Васильев, Пётр Сергеевич Тимашев. От материаловедов с докладами выступили академики Вячеслав Михайлович Бузник, Игорь Леонидович Федюшкин, член-корреспонденты РАН Сергей Николаевич Чвалун, профессора Светлана Юрьевна Хаширова, Юрий Романович Колобов, Руслан Зуфарович Валиев, Владимир Евгеньевич Юдин, причем материаловеды часто выступали с содакладчиками-медиками.

По итогам заседаний, посвященных проблемам в области материалов и изделий из них для медицины, подготовлена Аналитическая записка и осуществлен сбор разработок в этой области из некоторых университетов и институтов ОХНМ РАН и Отделения медицинских наук РАН.

В докладе академика **Л.Б. Бойнович** и д.х.н. **А.М. Емельяненко** (*приложение 2*) отмечено, что возрастающая мобильность человечества сопровождается как возрастающей частотой появления новых вспышек эпидемий, так и растущей скоростью их распространения. Особенно тревожной тенденцией является быстрое распространение в мире бактерий с резистентностью к противомикробным препаратам. Развитие медицинских средств борьбы уже не справляется с быстро формирующейся резистентностью бактерий-возбудителей инфекций к этим средствам. Поэтому остро стоит задача создания новых материалов, которые бы обладали бактерицидным действием, либо подавляли формирование биопленок и перенос бактериальных клеток. И здесь очень перспективным направлением является создание материалов с экстремальным смачиванием. Для создания таких материалов необходимо сочетание определенного типа текстуры поверхностного слоя и химии поверхности.



В докладе представлены подходы, развитые в лаборатории ИФХЭ РАН, и примеры антибактериальных покрытий, полученных в последние годы. Разработка покрытий

неразрывно связана с исследованием механизмов, определяющих их антибактериальную эффективность поверхностей с экстремальным смачиванием. Проанализировано, как проявляют себя в случае созданных поверхностей как известные ранее механизмы антибактериального действия, так и новые, выявленные механизмы, специфические для поверхностей с экстремальным смачиванием.



Академик В.В. Береговых в начале доклада (*приложение 3*) привел постановление Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2013г. №327 (в редакции от 27 мая 2022г. №959) «О единой государственной информационной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения», в котором предписано:

- Министерству науки и высшего образования Российской Федерации разработать и утвердить порядок определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий и научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий.

- Порядок определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, а также научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий, утверждается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации



Далее В.В. Береговых сообщил о приказе Министерства науки и образования РФ «Об утверждении порядка определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий и научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий». Настоящий Порядок устанавливает правила определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, в том числе с учетом отраслевых особенностей планируемых и (или) проводимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (далее – работы) и научных и (или)

научно-технических результатов, соответствующих каждому этапу уровня готовности технологии.

В заключение докладчик привел перечень материалов и медицинских изделий, перспективных для разработки российскими специалистами в областях:

- патологии носа и глотки:

- Материалы для закрытия дефектов костных стенок основания черепа (хирургическое лечение ликвореи).
- Трансплантаты, используемые для реконструкции наружного носа.
- Биопечать хрящевой ткани при дефектах носовой перегородки.

- патологии уха и основания черепа:

- Матрица для закрытия дефектов барабанной перепонки.
- Тимпанальные шунты.
- Протезы для стапедопластики (частичные и тотальные).
- Материалы для закрытия/облитерации дефектов костной ткани.

- патологии верхних дыхательных путей:

- Ларингеальные стенты
- Импланты для медиалинизации голосовой складки
- Трахеотомическая трубка с раздувной манжетой
- Трахеопищеводный клапан
- Эндопротезы, используемые при резекции гортани
- Трансплантаты, используемые для реконструкции после обширных онкологических операций.

- детской ЛОР-патологии:

- Вентиляционные трубы (шунты) из металла (титан, позолоченное серебро).
- Баллоны для баллонной дилатации гортани, трахеи, бронхов и индефляторы для них.
- Баллоны для баллонной дилатации слуховой трубы и индефляторы для них.
- Трубки трахеостомические силиконовые.
- Губчатые тампоны (носовые, ушные) из поливинилового спирта и аналогов.
- Трахеальные стенты силиконовые (гладкие, сетчатые).

- челюстно-лицевой и пластической хирургии:

- Шовный материал резорбируемый (Vicryl).
- Шовный материал не резорбируемый (Prolen).
- Костный биоматериал (Bio-Oss).
- Резорбируемая мембра (Bio-Gide).
- Материал гемостатический рассасывающийся.
- Жидкий фотополимер (пластичная масса) для 3D принтера.

- стоматологии:

- Пломбировочные материалы.
- Ортопедические материалы.
- Материалы для эндодонтии.
- Костнопластические материалы.
- Анестетики.
- Растворы для дезинфекции.
- Зуботехнические материалы.

- офтальмологии:

- Органические материалы для временного замещения стекловидного тела.
- Вискоэластики (растворы для операций на глазном яблоке).
- Красители для эпиретинальной мембранны.
- Силиконовое масло

- аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации:

- Материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей пациента.

- Импланты костной проводимости материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей пациента.



Член-корреспондент РАН Н.В. Пятигорская в докладе представила (*приложение 4*) статью 38 Федерального закона от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», в которой, в частности, сказано:

«4. На территории Российской Федерации разрешается обращение медицинских изделий, прошедших государственную регистрацию в порядке, установленном Правительством Российской Федерации, и медицинских изделий, прошедших регистрацию в соответствии с международными договорами и актами, составляющими право Евразийского экономического союза.

8.1. Производство медицинских изделий, подлежащих государственной регистрации, а также медицинских изделий, которые изготовлены по индивидуальным заказам пациентов, к которым предъявляются специальные требования по назначению медицинских работников, должно соответствовать требованиям к внедрению, поддержанию и оценке системы управления качеством медицинских изделий в зависимости от потенциального риска их применения, утвержденным Правительством Российской Федерации».



Далее докладчица рассказала о регуляторной стратегии, включающей следующие пункты:

1. Основные бизнес-задачи проекта:

- на какие рынки (ниши) предполагается выводить продукт (медицинское изделие, МИ), желаемые сроки;
- какие бизнес-проблемы может решить МИ;
- какие финансовые затраты ожидаются (возможные источники финансирования проекта);
- какие сроки окупаемости проекта ожидаются (другие финансовые показатели);
- какие конкуренты уже есть рынке или находятся в стадии разработки.

2. Описание разрабатываемого МИ:

- какие существующие медицинские проблемы поможет решить разрабатываемое МИ и предполагаемые показания для медицинского применения;
- предполагаемая целевая популяция (группа) пациентов;
- предполагаемый режим применения (введения, использования);
- возможные процедуры регистрации в зависимости от источника происхождения (использования);
- уникальные (конкурентные) характеристики МИ с указанием необходимых данных, которые должны быть получены в ходе разработки;
- опыт клинического применения отдельных видов МИ высокого класса потенциального риска применения.

3. Регуляторная среда на выбранных целевых рынках:

- основные регуляторные требования на выбранном рынке (НПА, особенно к содержанию регистрационного досье и разработке: например, обязательное проведение КИ, или запрещение использования отдельных красителей и материалов и т.д.);
- основные требования для доступа на выбранный рынок (например, необходимость включения МИ в протоколы лечения (и какие данные для этого необходимо представить) и т.п.);
- планируемые изменения в законодательстве, государственном регулировании рынка МИ;
- механизмы защиты прав на интеллектуальную собственность и эксклюзивность данных;
- текущие требования к проведению клинических испытаний;
- требования к пострегистрационным данным (мониторинг безопасности, качества и эффективности МИ).

4. План разработки:

- технические испытания (исследования) с целью оценки биологического действия МИ, клинические и клинико-лабораторные испытания (исследования), испытания в целях утверждения типа средств измерений;
- доказательства первой стороны - доказательные материалы производителя МИ (протоколы собственных испытаний (исследований), в том числе выданные испытательными лабораториями (центрами), результаты клинического применения МИ.

В докладе также представлены основные направления развития Евразийского экономического союза, информация о соглашении «О единых принципах и правилах обращения медицинских изделий (изделий медицинского назначения и медицинской техники) в рамках ЕАЭС» (Москва, 23.12.2014).



В выступлении на тему «Проблемы импортозамещения в стоматологии» от имени ректора МГМСУ академика О.О. Янушевича, директора НИИ стоматологии член-

корреспондента РАН Р.Ш. Гветадзе, зав. кафедрой цифровой стоматологии профессор С.Д. Арутюнов сообщил, что в октябре 2022 года в структуре Московского государственного медицинского стоматологического университета имени А. И. Евдокимова создан Научно-исследовательский институт стоматологии (НИИС).

Одним из направлений деятельности НИИС является разработка новых медицинских изделий (МИ) для стоматологии в целях выполнения задачи импортозамещения. На сегодня доля отечественных компаний, производящих МИ для стоматологии, по разным оценкам составляет не более 25–30 %. В сложных современных условиях возможно возникновение дефицита материалов медицинского (стоматологического) назначения и дефектуры для стоматологии при том, что стоматологическая помощь – самый массовый вид медицинской помощи населению РФ.



Профессор С.Д. Арутюнов



Академик О.О. Янушевич



Член-корр. РАН Р.Ш.
Гветадзе

Из огромной номенклатуры стоматологических МИ были выбраны несколько видов, которые не производятся на территории России и закупались исключительно по импорту:

1. Стоматологические установки – это комплекс, который состоит из кресла пациента, блока врача, где расположены инструменты и панель управления всей установкой (креслом, светильником, инструментами, плевательницей), блока ассистента врача с отсосом слюны, гидроблока с плевательницей и светильника, с возможностью размещения полимеризационной лампы и скалера, включаемые в комплект установки, как дополнительная опция. Кроме того, для работы необходим компрессор, вакуумной помпы и т. д. Отечественные производители стоматологических установок закупали комплектующие по импорту в недружественных странах. Задача создания отечественной отрасли важная и очень необходимая. Считаем возможным, используя потенциал отечественной промышленности организовать производство комплектующих и линейки отечественных стоматологических установок.

2. Анестетики. Сегодня на рынке России самые популярные анестетики – анестетики артикаинового ряда (артикаин и ультракаин). Но есть и другие анестетики, закупаемые по импорту компаниями-импортерами (Италия, Франция и др.). Производимые в РФ анестетики изготавливают из субстанции, закупаемой по импорту из Италии, Франции, Индии. В России субстанция не производится. Формула – предмет интеллектуальной собственности и защищена патентом. Картриджи для анестетиков также закупаются по импорту. (к примеру, только компания «Бенергия» закупает 30 миллионов картриджей в год).

3. Материал для пломбирования корневых каналов зубов (гуттаперча) для обтурации (пломбирования) корней зубов. Для производства материала необходимо специфическое промышленное оборудование и интеграция усилий врачей-стоматологов и химиков.

4. На территории России сегодня не производится стоматологическая керамика, предназначенная для изготовления зубных протезов. Однако интенсивно ведутся разработки в ТПУ (Томском политехническом университете), МИСИС (Национальный исследовательский технологический университет) и др.

5. Медицинский силикон:

- оттисковые (слепочные) материалы. Силиконовые оттисковые материалы (А- и С-силиконы). Практически все аналогичные материалы поступают из-за рубежа из-за отсутствия импортного сырья (альгинат натрия), в ближайшее время возможно возникновение сложности с производством альгинатных оттисковых материалов.

- силикон для лицевых протезов (эктопротезов лица, эпитезов).

Необходимо консолидировать возможности отечественных разработчиков промышленного силикона, которые имеют большой опыт и организовать малотоннажное производство силикона не только для стоматологии, но и медицины в целом.

6. Полимерные материалы:

- акрилового ряда выпускаются отечественными производителями (ВладМива г. Белгород, ООО «НПО «Альтернатива» г. Москва, ООО «Эвидент плюс» г. Щелково). Материалы неконкурентоспособные в сравнении с зарубежными аналогами. Востребованность в этих материалах высокая, потенциал и ресурсные возможности позволяют создать широкий ассортимент и успешно его производить.

- керамонаполненные композиты полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) и полиэифкетонкетон (ПЭКК) для изготовления зубных протезов аддитивными технологиями. Перспективный материал для стоматологии и реконструктивной хирургии. Есть отечественные разработки (Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, Томский ПУ). Необходима поддержка и эти разработки будут внедрены, а продукция востребована не только в РФ, но и в дружественных странах.

7. В производстве материалов для стоматологии российские компании используют большое количество сырьевых компонентов, закупаемых по импорту. Аналоги некоторых материалов производятся в России, однако для обеспечения качества конечного изделия производственные компании предпочитали использовать импортное сырье (список прилагается). В силу того, что количество материалов небольшое (иногда килограммы), большие предприятия химической промышленности не проявляют интерес в разработке и организации производства сырьевых компонентов.

Это малая часть медицинских изделий, закупаемых по импорту, требующих скорейшего решения для их разработки и организации производства на территории РФ во избежание возникновения дефицита и бесперебойного снабжения стоматологических медицинских учреждений. Так как большинство производственных компаний, производящих медицинские изделия для стоматологии, относятся к компаниям малого или среднего бизнеса, без дополнительного финансирования разработать и организовать производство самостоятельно они не смогут.



Дискуссия и обсуждение

С выступлениями, вопросами и замечаниями, предложениями выступали академики С.М. Алдошин, В.В. Береговых, В.М. Бузник и др.

Заслушав и обсудив доклады:

1. Вступительное слово председателя Научного Совета РАН по материалам и наноматериалам академика Сергея Михайловича Алдошина.
2. Доклад академика Людмилы Борисовны Бойнович и д.х.н. Александра Михайловича Емельяненко, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН «Разработка материалов для профилактики и борьбы с нозокомиальными инфекциями».
3. Доклад заместителя академика-секретаря Отделения медицинских наук академика Валерия Васильевича Береговых «О возможности достижения практических результатов при выполнении государственных заданий при взаимодействии отделений РАН».
4. Доклад член-корреспондента РАН Натальи Валерьевны Пятигорской «Системный подход к созданию инновационного продукта».
5. Краткое сообщение ректора МГМСУ академика Олега Олеговича Янушевича, директора НИИ стоматологии член-корреспондента РАН Рамаза Шалвовича Гветадзе, зав. кафедрой цифровой стоматологии профессора Сергея Дарчоевича Арутюнова «Проблемы импортозамещения в стоматологии», а также выступления членов Советов, и приглашенных

Совет вынес следующее решение:

1. Считать заслушанные в ходе заседания доклады, посвященные исследованиям в области материалов и изделий из них для медицины, в целом, актуальными и перспективными.
2. Разослать членам Совета и участникам заседаний от Отделения медицинских наук Аналитическую записку по материалам и изделиям из них для медицины с приложением для внесения корректиров.
3. Разослать Аналитическую записку по материалам и изделиям из них для медицины с приложением в органы власти, профильные Министерства и другие профильные ведомства.

Текст **Аналитической записки по материалам и изделиям из них для медицины с приложением** приведен в *приложении 1*.

В соответствии с решением Бюро Совета **31 мая 2023 г.** прошло совместное заседание Научного совета Отделения нанотехнологий и информационных технологий (далее – ОНИТ) РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания» и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам по теме **«Импортозамещение материалов для микроэлектроники»**.





Председательствовали председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников, Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН С.М. Алдошин, заместитель председателя Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», заместитель руководителя приоритетного технологического направления АО «НИИМЭ», член-корреспондент РАН Е.С. Горнев.

Заседание прошло со следующей повесткой:

1. Академик РАН Красников Геннадий Яковлевич (Президиум РАН, АО «НИИМЭ»), академик РАН Алдошин Сергей Михайлович (Президиум РАН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН). Открытие заседания.
2. Член-корреспондент РАН Горнев Евгений Сергеевич (АО «НИИМЭ»). Импортозамещение материалов для микроэлектроники: состояние и задачи.
3. Член-корр. РАН Егоров Антон Юрьевич (ООО «Коннектор Оптикс», СПБАУ РАН им. Ж.И. Алферова), д.т.н. Панасенко Пётр Васильевич (АО «НИИМЭ»). Импортозамещение материалов и оборудования для производства приборов микро- и оптоэлектроники на основе соединений А3В5.
4. Член-корреспондент РАН Рошупкин Дмитрий Валентинович, д.ф.-м.н. Зайцев Сергей Иванович, к.ф.-м.н. Князев Максим Александрович, к.ф.-м.н. Ильин Александр Иванович, к.х.н. Карандашев Василий Константинович (ИПТМ РАН), к.х.н. Малков Георгий Васильевич, к.х.н. Грачев Вячеслав Петрович (ФИЦ ПХФ и МХ РАН). Материалы для электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии, современные методы диагностики материалов для микро- и наноэлектроники.
5. Д.ф.-м.н. Кукушкин Сергей Арсеньевич, д.ф.-м.н. Осипов Андрей Викторович (ИПМаш РАН). Рост эпитаксиального карбида кремния на кремнии методом согласованного замещения атомов.
6. К.х.н. Викулова Евгения Сергеевна (ИНХ СО РАН). Высокочистые металлогорганические соединения для осаждения материалов микроэлектроники: проблематика и перспективы.
7. Д.т.н. Воротынцев Илья Владимирович (РХТУ им. Д.И. Менделеева). Национальная аналитическая сертификационная лаборатория. Проблемы и перспективы.
8. Профессор РАН, д.ф.-м.н. Оганов Артем Ромаевич (Сколтех, НИТУ «МИСиС»). Предсказание новых материалов и необычных химических соединений.
9. К.х.н. Мочалов Леонид Александрович (ННГУ им. Н.И. Лобачевского). Современные технологии глубокой очистки и синтеза базовых материалов микроэлектроники и ИК-оптики. Состояние и перспективы.

10. К.х.н. Джонс Михаил Михайлович, к.х.н. Синенков Михаил Александрович, Пронина Анастасия Львовна, Продаевич Вероника Владимировна (ООО «Поликетон»). Разработка резиста для рентгеновской литографии.
11. К.х.н. Малков Георгий Васильевич, д.х.н. Бадамшина Эльмира Рашатовна (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), д.х.н. Кузнецова Нина Александровна (АО «НИОПИК»), Варламов Денис Александрович (АО «НИИМЭ»), к.х.н. Джонс Михаил Михайлович (ООО «Поликетон»). Результаты работ по антиотражающему покрытию АОП-193, ФР-193 и ПАВ для безметалльного проявителя.
12. Д.т.н. Конарев Александр Андреевич (АО «НИОПИК»), Варламов Денис Александрович (АО «НИИМЭ»). Разработка и освоение промышленной мембранный электрохимической технологии производства концентратра тетраметиламмония гидроксида.
13. Академик РАН Бузник Вячеслав Михайлович (ИОНХ РАН), к.т.н. Больбасов Евгений Николаевич (Томский политехнический университет). Отечественные фильтровальные материалы и изделия из поливинилиденфторида и политетрафторэтилена, получаемые методами электроформованием и 3D-печати.
14. К.ф.-м.н. Волков Иван Александрович, к.т.н. Арсенов Павел Владимирович, к.т.н. Ефимов Алексей Анатольевич, член-корр. РАН Иванов Виктор Владимирович (МФТИ). Формирование функциональных микроструктур из металлических и полупроводниковых нанообъектов с применением методов печатной электроники.

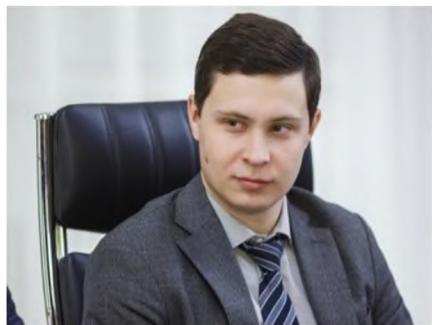
Во вступительном слове при открытии совместного заседания Председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН **Геннадий Яковлевич Красников** отметил, что в нашей стране финансируются и реализуются программы по разработке особо чистых материалов и развитию электронного машиностроения для роста отечественной микроэлектроники. Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент РАН, академик РАН **Сергей Михайлович Алдошин** предложил участникам совместного заседания сформулировать задачи в области материаловедения и понять возможности материаловедов РАН, институтов, вузов по решению задач микроэлектроники. Опыт проведения совместных заседаний Научного совета РАН по материалам и наноматериалам с научными советами РАН как в области медицины, так и в области квантовых технологий показывает их высокую эффективность.

Член-корреспондент РАН **Евгений Сергеевич Горнев** (АО «НИИМЭ») сообщил об отличительных особенностях материалов, применяемых в производстве микроэлектроники (*приложение 5*).



Их разработка напрямую связана со смежными направлениями – разработкой и аттестацией методик измерений параметров, разработкой материалов для специальной технологической тары и оснастки, созданием соответствующей инфраструктуры. Рассмотрена ситуация с обеспечением материалами для микроэлектроники в разрезе существующих производств, выполнения НИОКР, формирования научно-технического задела и проблемных аспектов, а также деятельности предприятий; проанализированы сдерживающие факторы. Предложены варианты решения вопросов, связанных с изменением зарубежных поставщиков и аттестации их материалов путем проведения различных технологических проб и испытаний; с организацией производства материалов как с длительным, так и кратковременным сроком хранения; с созданием и работой координационно-аналитических центров высокочистых материалов; с проработкой механизмов приоритетного формирования технологических цепочек из академических научно-исследовательских институтов, отраслевых институтов, производственных предприятий, ориентированных на выпуск конкретных материалов; с квалифицированным кадровым обеспечением; с организацией экспертной оценки заявок на государственное финансирование проектов по разработке и производству материалов.

В ходе обсуждения доклада **Юлгушев Шамиль Рюстямович** (Минпромторг России) выступил с сообщением (*приложение 6*) о проводимой Министерством организационной работе «Импортозамещение химических материалов для радиоэлектроники».



В качестве замечаний к сообщению отмечено, что РАН проводит независимую экспертизу по 10 высокотехнологичным направлениям с привлечением Научных советов при президиуме и при отделениях (Постановление президиума РАН от 16.05.2023 г. № 104 «Об организации и порядке проведения Российской академией наук независимой научно-технической экспертизы результатов реализации соглашений о развитии высокотехнологических направлений»). В частности, целью данного совместного заседания является выработка решения по импортозамещению материалов для микроэлектроники двумя Научными советами РАН. Дополнительно, в соответствии с утвержденным Указом Президента Российской Федерации от 20.07.2016 г. № 347 Положением о руководителе приоритетного технологического направления такой руководитель согласовывает проекты технических заданий, что означает необходимость согласования таких проектов с руководителем приоритетного технологического направления «Электронные технологии» академиком Г.Я. Красниковым в области электроники и микроэлектроники.

Член-корреспондент РАН **Егоров Антон Юрьевич** (ООО «Коннектор Оптикс», СПБАУ РАН им. Ж.И. Алферова) сообщил, что импортозамещение широкой номенклатуры пластин полупроводниковых гетероструктур на основе материалов группы А3В5 и технологии их серийного производства с целью формирования технологического суверенитета Российской Федерации в области современных систем радиолокации и систем оптической связи является важной и актуальной задачей. В настоящее время имеются несомненные успехи в этой области.



В частности, успешно реализуется проект по разработке конструкций и технологии серийного изготовления пластин полупроводниковых гетероструктур А3В5 на подложках большой площади, диаметром 100 мм и более. Проект реализуется АО «НИИМЭ» в партнерстве с ООО «Коннектор Оптикс» (г. Санкт-Петербург). Работы по разработке новых типов полупроводниковых гетероструктур А3В5 также ведутся в СПБАУ РАН им. Ж.И. Алферова при взаимодействии с индустриальным партнером АО «ОКБ-Планета» в рамках проекта Минобрнауки России по созданию молодежных лабораторий в области микроэлектроники. Обсуждены достигнутые на сегодняшний день результаты и актуальные проблемы импортозамещения материалов и оборудования для производства приборов микро- и оптоэлектроники на основе гетероструктур полупроводниковых соединений А3В5 (гетероструктур СВЧ МИС, фотоприемников, лазеров). В том числе будут рассмотрены проблемы с доступностью особо чистых материалов и подложек для молекулярно-пучковой эпитаксии, глобальные проблемы с оборудованием для молекулярно-пучковой эпитаксии, проблемы с комплектующими для оборудования молекулярно-пучковой эпитаксии (в том числе тигли из РВН), проблемы с оборудованием для диагностики гетероструктур полупроводниковых соединений А3В5.

Член-корреспондент РАН **Рошупкин Дмитрий Валентинович** (ИПТМ РАН) отметил (*приложение 7*), что в настоящий момент в инициативном порядке ИПТМ РАН и ФИЦ ПХФ и МХ РАН проводят исследования по созданию резистов для высокотехнологичных процессов электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии. В настоящий время на основе ПММА создан набор резистов, который позволяют методами электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии формировать критические элементы процессоров и микросхем с размерами 10-20 нм. Резисты имеют высокую чувствительность и контрастность. На базе созданных резистов были разработаны и многослойные резисты. Параллельно ведутся исследования по оптимизации растворителей и проявителей резистов. Созданы пилотные образцы для рентгеновской литографии, но здесь необходимо расширение поисковых исследований, так как процесс рентгеновской литографии может быть реализован в диапазоне длин волн рентгеновского излучения от 0,1 нм до 10-20 нм.



Также была продемонстрирована возможность решения задачи получения чистых металлов (Cu, Al, V, Mo, Pb,) для создания мишеней, применяемых в микро-

и наноэлектронике. Для получения чистых металлов были использованы методы выращивания монокристаллов из расплава методом Чохральского, методы зонной плавки и зонной чистки. В настоящий момент сохраняется возможность восстановления производства чистых металлов.

Отдельно был затронут вопрос диагностики материалов для микроэлектроники. Здесь важную роль играет применение рентгеновских дифракционных методов, микрофлуоресцентного анализа и рентгеновской микроскопии. Данные методы позволяют исследовать совершенство кристаллической структуры, фазовый состав, наличие дефектов в планарных структурах микросхем и процессоров. Были продемонстрированы возможности исследования чистоты материалов, применяемых в микроэлектроники, методами масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой. Продемонстрировано создание специализированного оборудования для пробоподготовки и создание современного двухкристального рентгеновского дифрактометра.

В докладе д.ф.-м.н. **Кукушкина Сергея Арсеньевича** (ИПМаш РАН) приведены данные (*приложение 8*) о разработке принципиально нового метода синтеза эпитаксиальных плёнок карбида кремния на кремнии. Метод заключается в согласованной замене части атомов Si на C прямо внутри матрицы кремния, а не при помощи нанесения атомов на поверхность подложки.



Метод позволяет решить одну из основных проблем гетероэпитаксии, а именно, осуществить синтез низкодефектных и ненапряженных эпитаксиальных пленок при большом различии между параметрами решетки пленки и подложки. По сути дела, впервые в мировой практике реализован метод согласованной замены атомов одного сорта другими прямо внутри исходного кристалла без разрушения его кристаллической структуры. Метод напоминает «генетический синтез» белковых структур в биологии. Качество структуры слоев, полученных данным методом, значительно превосходит качество пленок карбида кремния, выращенных на кремниевых подложках ведущими мировыми компаниями. Метод дешев и технологичен. Приведено сравнение нового метода роста с классическими методами роста тонких пленок. Изложен термодинамический и кинетический анализ процесса замещения атомов в твердой фазе. На основе данного фундаментального подхода ИПМаш РАН совместно с ООО «Научно-технический центр Новые технологии» создан новый полупроводник — нанокарбид кремния на кремнии, выращенный методом согласованного замещения атомов. Данный полупроводник представляет собой новую гибридную структуру, сочетающую в себе свойства полупроводника, полуметалла и обладающую магнитными свойствами. Новый полупроводник может иметь широкое применение как, в качестве буферного слоя для получения гетероструктур соединений группы A3B5, соединений группы A2B6 и ряда других веществ, также может быть и использован в качестве самостоятельной гетероструктуры для генерации и приема терагерцевого излучения, изготовления чувствительных магнетометров, различного рода датчиков. Совместно с АО «Эпиэл»

и НТЦ микроэлектроники РАН на подложке кремния с буферным слоем карбида кремния, созданы первые НЕМТ гетероструктуры, подвижность носителей заряда в некоторых из которых, достигала значений порядка $1610\text{--}1730 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, что соответствует лучшим мировым достижениям. Таким образом, данный материал полностью обеспечивает замену импортного карбида кремния на кремний, новым отечественным материалом.

Докладчик ответил на ряд вопросов, среди которых: Каким образом появляются магнитные свойства в углеродсодержащих соединениях? Имеется ли возможность использования полученных Вами кристаллов для силовой электроники?

Викулова Евгения Сергеевна (к.х.н., ИНХ СО РАН) сообщила (*приложение 9*), что технологические процессы формированияnanoструктур элементов микроэлектроники требуют использования методов атомного-слоевого (ALD) или химического газофазного осаждения (CVD). Они обеспечивают прецизионный контроль состава и характеристик формируемых слоев, а также конформное покрытие объектов сложной геометрии. Получаемые таким образом материалы, в частности, high-k диэлектрики, металлические барьерные и зародышевые слои, безальтернативны при уменьшении проектных норм изготовления микропроцессоров, в основе которых лежат КМОП транзисторы, выполненные по технологии HkMG, FinFET, GAA, и востребованы при конструировании перспективных элементов энергонезависимой памяти новых типов (сегнетоэлектрическая, резистивная).



Ключевую роль в процессах осаждения играют металлоганические соединения-прекурсоры, которые должны удовлетворять определенному набору требований к химическим и термическим свойствам, а также высочайшим требованиям к чистоте. Прекурсоры необходимого качества для востребованных материалов поставляют на рынок, в основном, иностранные производители. Поэтому разработка подходов к синтезу и глубокой очистке целевых металлоганических соединений является необходимым этапом для реализации отечественных производственных цепочек компонентной базы устройств и обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации. В докладе представлены перспективные классы высокочистых металлоганических соединений для осаждения ключевых материалов, подходы к получению и контролю качества, оценена возможность их реализации в РФ.

Профессор **Воротынцев Илья Владимирович** (РХТУ им. Д.И. Менделеева) еще раз подчеркнул, что на сегодняшний день технологии современных и перспективных изделий микроэлектроники требуют высокочистых веществ и материалов. В России объективная оценка примесной и фазовой чистоты материалов на основе неорганических и органических веществ фактически отсутствует для большинства производимой продукции.



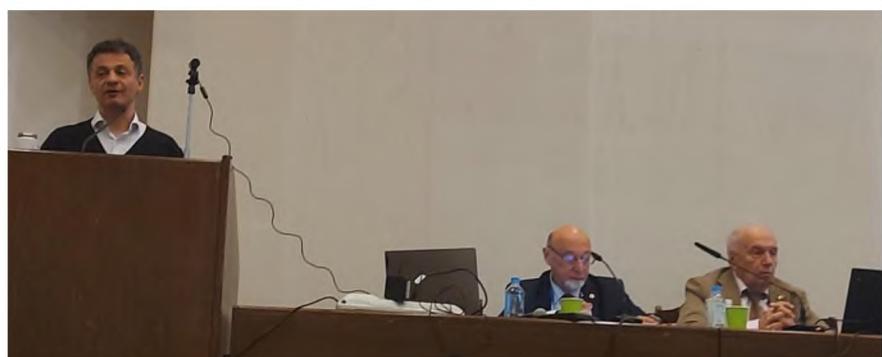
Требования по химической чистоте к исходным, вспомогательным веществам и функциональным материалам, обеспечивающим производство современной ЭКБ, непрерывно растут. В настоящее время востребованными являются вещества с химической чистотой 99,99999-99,9999999 мас. %, которые в зарубежных стандартах оценивается по суммарной концентрации примесей 10^{-5} - 10^{-8} мас. % (7-10 N). В последнее время ситуация на отечественном рынке высокочистых веществ непрерывно ухудшается в связи с ужесточением санкций, которые перекрывают поставки высокочистых твердых, жидких, а в последнее время и газообразных веществ в Российскую Федерацию.

Важной задачей для развития отечественных технологий высокочистых веществ является сертификация продукции предпочтительно в лаборатории, имеющей международную аккредитацию. Это позволит не только исключить из оборота некондиционные вещества и материалы, но и осуществлять контроль над импортными высокочистыми веществами до тех пор, пока не будут разработаны соответствующие отечественные аналоги.

РХТУ им. Д.И. Менделеева имеет значительный опыт в данной области. Деятельность Национальной аналитической сертификационной лаборатории высокочистых веществ и материалов, создаваемой в РХТУ нацелена на устранение технологического отставания и обеспечит широкий круг задач от непосредственно анализа примесного состава и разработки аттестованных методик и выдачу сертификатов на продукцию до создания базы данных высокочистых веществ и материалов, выпускаемых отечественными предприятиями.

К настоящему времени в лаборатории разработано свыше 10 современных аналитических методик контроля примесного и нестехиометрического состава высокочистых веществ и материалов для различных практических применений. Выполнен ряд НИР/НИОКР по разработке лабораторных технологий высокочистых веществ для процессов выращивания монокристаллов. В данной области лаборатория оказывает услуги более чем 50 организациям в год. При этом число ежемесячных анализов примесного состава высокочистых веществ превышает 350 анализов в месяц и их количество растет.

Профессор РАН, д.ф.-м.н. **Оганов Артем Ромаевич** (Сколтех, НИТУ «МИСиС») отметил, что до середины 2000-х гг. считалось, что кристаллические структуры невозможно предсказать.



Это изменилось во многом благодаря созданию эволюционного алгоритма USPEX. Этот метод можно рассматривать как применение искусственного интеллекта, и позволяет легко предсказывать стабильные кристаллические структуры для заданного состава, предсказывать стабильные составы из заданных элементов, и предсказывать состав и структуру, соответствующие требуемым свойствам. В докладе приведены сведения:

- Об открытии новых химических явлений при высоких давлениях, включая предсказание и синтез новых электридов, а также рекордных высокотемпературных сверхпроводников, приближающихся к комнатной сверхпроводимости.
- О предсказании новых наноматериалов и полупроводников для различных применений при нормальных условиях.

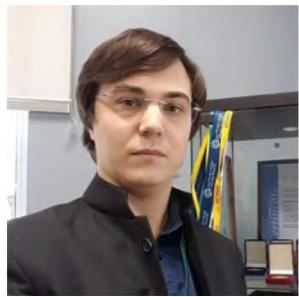
Сотрудник ННГУ им. Н.И. Лобачевского к.х.н. **Мочалов Леонид Александрович** сообщил, что к настоящему времени учеными Университета Лобачевского накоплен уникальный и достаточный научный задел для создания прорывных технологий в области современных оптических и полупроводниковых материалов, получены результаты, превосходящие лучшие мировые достижения в данной области.



Комплексный подход к созданию современной оптической и полупроводниковой элементной базы включает в себя:

- разработку новых не имеющих аналогов плазмохимических технологий глубокой очистки исходных веществ для синтеза оптических и полупроводниковых материалов. Разработаны методы очистки серы, теллура, цинка, мышьяка, галлия, йода и др.;
- новые подходы к синтезу оптических и полупроводниковых материалов, когда в качестве исходных веществ могут использоваться непосредственно элементы в высокочистом состоянии, а инициирование химических превращений осуществляется в плазменном разряде.

К.х.н. **Джонс Михаил Михайлович** (ООО «Поликетон») в начале доклада рассказал (*приложение 10*) краткую историю создания компании, в том числе упомянул о достижениях группы компаний на мировом рынке медицинских имплантируемых изделий. Далее был представлен анализ публикационной активности, посвященной теме создания резистов для рентгеновской литографии. Из него следует, что максимум работ приходится на 2010 – 2014 годы в связи с готовностью к этому времени первых опытных образцов литографов, на которых разработчики резистов могли бы проводить тестирование. Это позволило совершенствовать как композиции, так и аппаратную часть разрабатываемых литографов. В целом, развитие рентгенорезистов можно разделить на три основных этапа: исследование классических и модифицированных ПММА резистов; химически усиленных резистов широко используемых на то время в ArF и KrF фотолитографии; и специальные молекулярные, неорганические резисты.



Докладчиком были представлены и результаты исследования негативного резиста БМТ-433-5 при формировании изображения электронно-лучевой литографией, а также результаты исследований модифицированного резиста. Были представлены и результаты исследований позитивных резистов в электронно-лучевой литографии. Контрастность таких резистов, как и следовало ожидать, получается крайне высокой, хотя при увеличении энергии экспонирующего излучения наблюдается существенное снижение чувствительности. Эти же перспективные составы были исследованы и при экспонировании рентгеновским излучением с длиной волны 13,5 нм в сравнении с модифицированным не усиленным резистом ПММА-13. Было отмечено что, хотя чувствительность усиленных резистов заметно хуже, чем для модифицированного ПММА, тем не менее в целом значения вполне сопоставимы с имеющимися в литературе данными.

Малков Георгий Васильевич (к.х.н., ФИЦ ПХФ и МХ РАН) отметил (*приложение 11*), что производство интегральных схем (ИС) включает десятки технологических операций. Одними из наиболее важных являются фотолитографический процесс формирования рельефных покрытий на функциональных поверхностях подложек для ИС.



В процессе фотолитографии на функциональный слой подложки последовательно наносят слои антиотражающего покрытия (АОП) и фоторезистивной пленки химически усиленного фоторезиста (ФР), состоящего из полимера с кислотно-лабильными защитными группами и фотогенератора кислоты (ФГК). При воздействии ультрафиолетового излучения через маску с рисунком ФГК в местах экспонирования разлагается, выделяя сильную кислоту, при прогреве катализирующую реакцию снятия защиты, во время которых отщепляются подвешенные группы, что делает полимер растворимым в щелочном проявителе и открывает возможность получения требуемого рельефа для проведения операций травления и металлизации. В силу объективных обстоятельств, в Российской Федерации до последнего времени в фотолитографии с актиничным излучением 193 нм использовались зарубежные материалы, попавшие в настоящее время в санкционные списки. Очевидно, что современное производство микроэлектроники остро нуждается в создании отечественных материалов подобных иностранным аналогам. Для выполнения поставленной задачи импортозамещения материалов для фотолитографии консорциумом предприятий под руководством

АО «НИИМЭ» при участии ФИЦ ПХФ и МХ РАН, АО «НИОПИК», ООО «Поликетон» и АО «Микрон» проводится ряд НИОКР и инициативных работ.

Антиотражающее покрытие (АОП-193). При экспонировании фоторезиста монохроматическим излучением, когда топологическая норма приближается к $\frac{1}{2}$ длины волны, могут возникать негативные эффекты, вызываемые стоячими волнами либо интерференцией в тонких плёнках, что приведет к дефектам в получаемых изображениях. Для их подавления используется антиотражающие покрытия, к которым предъявляются высокие требования по оптимальному поглощению актиничного излучения, толщине (~ 100 нм), высокой скорости отверждения (90 с), отсутствию набухания в компонентах фоторезиста, хорошей адгезии к подложке и к слою ФР, отсутствию микропримесей металлов, а также оптических дефектов.

Докладчиком и соавторами была проведена экспериментальная работа по изучению иностранного аналога, получению и охарактеризации методами ГПХ, ДСК, ИК- и ЯМР-спектроскопии сополимеров на основе смесей мономеров (метилметакрилат – стирол/бензиметакрилат/феноксиэтилметакрилат – 2-гидроксиметилметакрилат) различного состава. Определен состав АОП оптимальный по содержанию хромофора, а также по растворимости и адгезии к подложке. Проведена работа по подбору сшивающего агента, катализатора сшивки, оптимизации их концентраций. В итоге разработаны технологии синтеза полимерной основы, изготовления и очистки от микропримесей металлов и взвешенных частиц композиции АОП-193. Разработанный материал подобен по своим технологическим характеристикам иностранному аналогу, применявшемуся ранее в производстве. Выпуск наложен.



Фоторезист (ФР-193). Фоторезист представляет собой светочувствительный технологический материал, который наносят на подложку с целью получения соответствующего фотомаскирующего слоя для последующей обработки поверхности – для доступа травящих веществ, металлизации и других операций, необходимых при изготовлении полупроводниковых приборов и устройств.

В рамках работы по созданию отечественного фоторезиста для фотолитографии с актиничным излучением 193 нм был проведен анализ патентной и научной литературы по составам существующих фоторезистов, по особенностям свойств отдельных компонентов и их функциональным признакам, по методам получения и очистки полимеров, входящих в состав ФР. В результате работы были экспериментально определены условия получения тройных сополимеров на основе смесей метил(этил)адамантанилметакрилата, гидроксиадамантанилметакрилата и гамма-бутиrolактонметакрилата с оптимальной вязкостью, необходимой для формирования сплошных пленок определенной толщины, исследованы их свойства, наработаны образцы для составления композиции ФР. Коллективом сотрудников консорциума проведены работы по разработке составов композиций фоторезистов, апробации композиции фоторезиста с подбором и оптимизацией режимов ее нанесения, дозы и условий

экспонирования. Результаты проведенного тестирования показали потенциальную возможность применения разработанной композиции при изготовлении интегральных микросхем.

Поверхностно-активное вещество для безметального проявителя. Индустрия микроэлектроники постоянно сокращает размер элементов интегральных схем. Чтобы выполнить требования по минимизации размера элемента, ширина фоторезистивных структур должна уменьшаться. Это приводит к увеличению аспектного отношения, с ростом которого механическая прочность линий фоторезиста снижается, что вызывает «схлапывание» (коллапс) структур за счет капиллярных эффектов при сушке после проявления, некачественное проявления из-за проблем со смачиваемостью и т.п. Для предотвращения этих нежелательных эффектов наиболее простым является использование в проявителе поверхностно-активных веществ (ПАВ). Известно, что в качестве такого рода ПАВ могут быть эффективно использованы неионогенные ПАВ, например, блоксополимеры окиси этилена и окиси пропилена. В результате проведенного исследования были изучены различные подходы к синтезу триблоксополимеров окиси пропилена с окисью этилена. Наиболее доступным оказался синтез катионной полимеризацией по механизму активированного мономера. Исследовано влияние концентраций гликоля, катализатора и общей концентрации инициирующей системы, температуры полимеризации на свойства триблоксополимера. В результате был получен материал, который обладает свойствами, позволяющими использовать его в качестве поверхностно-активного вещества в композиции безметального проявителя на основе тетраметиламмоний гидроксида для снижения поверхностного натяжения и уменьшения пенообразования. Результаты комплексного тестирования на производственной линии показали, что полученная композиция ПАВ в безметальном проявителе обладает необходимыми характеристиками и может быть использована в существующем технологическом процессе без существенных изменений его условий. Отработана методика очистки полученного полимера от микропримесей металлов до допустимого уровня, проводится масштабирование до уровня, позволяющего получать ПАВ в необходимых объемах.

Сотрудник АО «НИОПИК» д.т.н. **Конарев Александр Андреевич** сообщил (*приложение 12*), что тетраметиламмония гидроксид (ТМАГ) используется в различных отраслях промышленности: при производстве электролитов для энергосберегающих устройств; при изготовлении печатных плат, в качестве чистящей жидкости для полупроводниковых подложек; в качестве исходного сырья для получения безметалльных проявителей, применяемых в микроэлектронном производстве, а также в электрохимическом органическом синтезе.



Исходным продуктом для получения безметалльных проявителей является концентрат ТМАГ, к которому предъявляются высокие требования к содержанию примесей металлов (не более 5 ppb), зависящему от технологии получения ТМАГ и её реализации

в промышленном масштабе. Концентрат ТМАГ, соответствующий требованиям современного уровня качества для микроэлектронного производства, в России не производится, поэтому возникла острая необходимость в разработке и создании промышленного производства концентрата ТМАГ. Исходя из научных и патентных данных, концентрат ТМАГ преимущественно получают мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония или бикарбоната тетраметиламмония.

Обстоятельное экспериментальное изучение процесса синтеза ТМАГ мембранным электролизом водных растворов хлорида и бикарбоната тетраметиламмония в лабораторных условиях, направленное на оптимизацию технологических параметров (плотности тока, температуры, концентрации реагентов, типа катионообменной мембранны, выбор коррозионностойких электродных материалов и т.д.) и их уточнение в опытно-промышленном масштабе, позволило обнаружить существенные недостатки при использовании хлорида тетраметиламмония в качестве сырья:

- содержание примесей металлов в концентрате ТМАГ превышает нормативный показатель – более 5.0 ppb, что не соответствует современному уровню качества;
- экологически опасное производство из-за образующегося газообразного продукта – хлора, что требует дополнительной технологической схемы его утилизации и герметичности используемого оборудования и коммуникаций;
- для приготовления рабочего раствора хлорида тетраметиламмония требуется дополнительная технологическая операция и соответствующее оборудование;
- использование хлорида тетраметиламмония при электролизе в анодном пространстве электролизера создаются жесткие условия для эксплуатации анодов и катионообменных мембран из-за выделяющегося хлора и продуктов его гидролиза, что требует использования дорогостоящих перфторированных катионообменных мембран Нафлон 324 (США) и Флемион 811(Япония), закупаемых за рубежом;
- трудоемкой операцией является обезвреживание отработанного анолита после электролиза из-за наличия в нем остаточных количеств хлора и щелочного раствора, полученного после утилизации хлора.



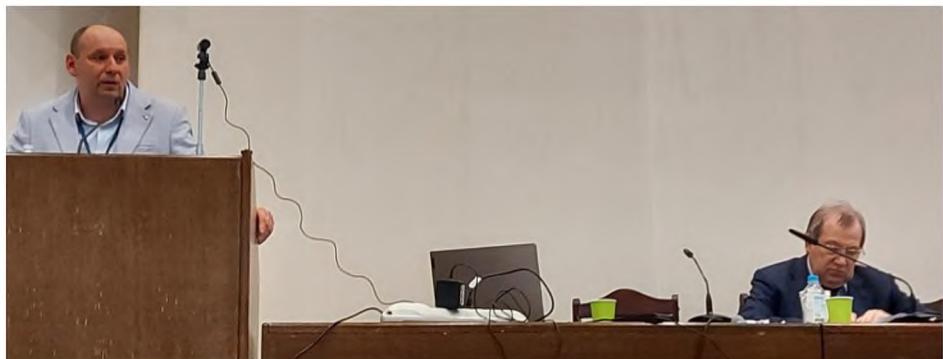
Указанные недостатки определили направление разработки промышленной технологии производства ТМАГ – это бесхлорная мембранный электрохимическая технология.

Разрабатываемая промышленная бесхлорная технология получения концентрата ТМАГ апробируется на опытно-промышленной мембранный электрохимической установке, созданной в АО «НИОПИК». Полученные результаты указывают на её технологичность, экологическую безопасность и экономическую целесообразность по сравнению с технологией получения концентрата ТМАГ из хлорида тетраметиламмония, а также на возможность достигать высокое качество материала и безметалльного проявителя на его основе, соответствующее требованиям современного уровня производства ИС, что вносит значительный вклад в технологическую независимость России от иностранных государств

и обеспечивает получение новых технических и научных компетенций в области синтеза материалов для микроэлектронного производства.

Исходя из механизма анодного процесса, протекающего в водном растворе бикарбоната тетраметиламмония, появляется принципиальная возможность использования отечественных катионаобменных мембран при получении концентрата ТМАГ вместо импортных дорогостоящих перфторированных мембран Нафион 324 и Флемион 811, что подтверждено результатами опытно-промышленных исследований.

Больбасов Евгений Николаевич (к.т.н., Томский политехнический университет) в своем докладе обсудил (*приложение 13*) особенности разработки масштабируемых технологий получения пористых полупроницаемых полимерных мембран на основе отечественных фторполимерных материалов для применения в качестве фильтров, жидких и газообразных агрессивных сред.

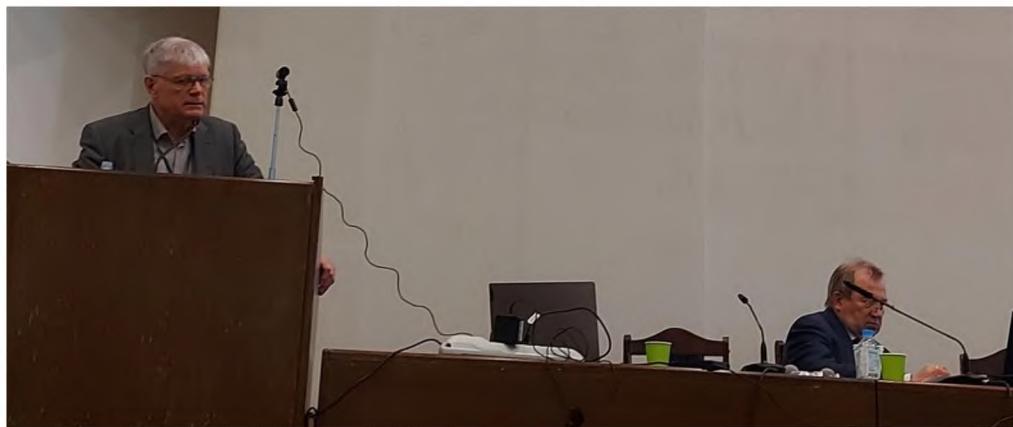


В процессах производства микроэлектронных компонентов требуется большое количество сервисных сред, зачастую очень агрессивных, обладающих высокой степенью чистоты: воздуха, азота, кислорода, воды, растворителей, электролитов и т.д. При этом основной тренд – чем меньше размер элемента чипа, тем выше требования к фильтрующим элементам используемых фильтров. Больбасов Е.Н. представил результаты исследований по разработке методом электроформования отечественных полупроницаемых полимерных мембран из политетрафторэтилена (PTFE) и поливинилиденфторида (PVDF). Рассмотрел вопросы изготовления изделий сложной формы из PVDF методом 3D печати. Он представил также результаты практического использования полупроницаемых полимерных мембран из PVDF и PTFE для фильтрации жидких и газообразных агрессивных сред. Кроме того, докладчик сообщил результаты по получению изделий сложной формы методом 3D печати по технологии послойного нанесения расплавленного материала (FDM) из PVDF.

Член-корреспондент РАН **Иванов Виктор Владимирович** (МФТИ) сообщил (*приложение 14*), что печатная электроника – область электроники, в которой электронные устройства создаются аддитивным способом, использующим печатное оборудование и чернила. Объема рынка печатной электроники развивается с высокими темпами ежегодного прироста порядка 15%, и в 2022 г. оценивался в 11,7 млрд. \$. В ряду методов чернильной печати широкий интерес представляют безмасковые методы, позволяющие оперативно создавать новые электронные микроструктуры. В МФТИ развиваются исследования именно таких методов с использованием коммерческих установок зарубежного производства, в том числе: микроплоттерная 2D-печать, ширина линий до 5 мкм; струйная 2D-печать, ширина линий до 25 мкм; аэрозольная 3D-печать, ширина линий до 10 мкм. Причем два последние метода являются бесконтактными, а метод аэрозольной к тому же представляет собой 3D-технологию.

Методы в печатной электронике опираются на использовании наноматериалов и чернил на их основе, причем в 2021 году сегмент чернил занимал 58,5 % рынка всей печатной

электроники. Характерный маршрут приготовления коллоидных чернил включает: синтез наночастиц, приготовление чернил (дисперсионной среды), ультразвуковое диспергирование дисперсионной среды и центробежное удаление крупных объектов.



В докладе представляется получение и применение чернил на основе наночастиц платины, палладия, оксида олова, золота, серебра, серебряных нанопроволок и углеродных нанотрубок для формирования функциональных элементов газовых сенсоров, SERS-подложек, микроантенн и прозрачных электродов оптоэлектронных устройств. Приводятся результаты характеризации получаемых микроструктур, в том числе, методом аэрозольной печати с использованием чернил на основе наночастиц Pt, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования микронагревателей на тонкой (20 мкм) мембране из LTCC стеклокерамики для реализации газовых сенсоров хеморезистивного типа (полупроводниковые металлооксидные сенсоры) с низким энергопотреблением. Рабочая температура сенсоров составляет 200–450 °C в зависимости от состава чувствительного слоя (SnO₂, ZnO, NiO и др.) и детектируемого газа (H₂, NH₃, H₂S, VOC и др.).

Методом струйной печати с использованием чернил на основе наночастиц SnO₂, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования чувствительных слоев хеморезистивных газовых сенсоров. Газовые сенсоры на основе синтезируемых наночастиц демонстрируют высокую чувствительность к водороду и могут быть использованы при разработке технологий обеспечения безопасности водородной энергетики.

Методом микроплоттерной печати с использованием чернил на основе наночастиц Pd, синтезируемых в газоразрядном генераторе, отработана технология формирования каталитических слоев (2–3 мкм) газовых сенсоров термокатализитического типа, предназначенных для обнаружения горючих газов (например, метана) в широком диапазоне концентраций (в т.ч. выше LEL). Один из вариантов реализации данных сенсоров опирается на использование сенсорных платформ российского производства, включающих тонкую мембрану из стеклокерамики (50–60 мкм) с интегрированным микронагревателем.

Разработан способ изготовления матриц хеморезистивных сенсоров на основе наноструктурированных покрытий из полупроводниковых оксидов, формируемых на одном мультиэлектродном SiO₂/Si чипе методом микроплоттерной печати с использованием истинных растворов прекурсоров (алкоксоацетилацетонатов) – M(C₅H₇O₂)_x(C₄H₉O)_y, где M = Mn, Ti, Ce, Zr, Zn, Cr, Co, Sn. Реализованная на основе восьми типов оксидов мультисенсорная система обеспечивает возможность идентификации одноатомных спиртов (метанол, этанол, изопропанол, н-бутанол) при их концентрации в воздухе на уровне нескольких ppm.

Реализованы условия достижения высокой проводимости проводящих Ag элементов. В частности, получены планарные структуры, в том числе на гибких подложках, типа двойной щелевой микроантенны с высокими функциональными параметрами.

Среднесрочные планы МФТИ в области печатной электроники включают решение следующих научно-технических задач:

- разработка коллоидных чернил на основе квантовых точек для печати активных слоев оптоэлектронных устройств;
- разработка синтеза отечественных нанопроволок Ag и коллоидных чернил на их основе для печати прозрачных электродов оптоэлектронных устройств;
- разработка синтеза наночастиц полупроводниковых оксидов и коллоидных чернил на их основе для печати активных элементов микроэлектроники с проектными нормами не более 10 мкм;
- создание отечественного 3D принтера аэрозольной печати.

При подведении итогов заседания председатель Научного совета ОНИТ РАН «Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания», президент РАН, академик РАН Г.Я. Красников выразил уверенность в усилении сотрудничества между организациями и предприятиями в области освоения и совершенствования производства материалов для микроэлектроники.

Дискуссия и обсуждение

С вопросами, замечаниями и предложениями выступали академики РАН Г.Я. Красников; С.М. Алдошин; А.Л. Асеев; А.А. Горбацевич; Н.З. Ляхов; член-корреспонденты РАН В.А. Бородин; Е.С. Горнев; профессор РАН, д.х.н. С.Ю. Хаширова; д.т.н. В.П. Бокарев; д.ф.-м.н. Ю.Р. Колобов; д.ф.-м.н. А.М. Мерзлиkin; д.х.н. Б.В. Спицын; к.х.н. А.В. Аккуратов; к.х.н. И.А. Горбачев.



Заслушав и обсудив доклады, *Совет вынес следующее решение:*

1. Принять к сведению заслушанные доклады и их обсуждение.
2. Подготовить предложения по созданию Научного совета РАН по микроэлектронике и особочистым материалам для микроэлектроники в соответствии с п. «3. Создание новых форм интеграции научно-исследовательской и производственно-технологической деятельности» («формирование в системе федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» научных советов по приоритетным направлениям критических и сквозных технологий. Их функция — целеполагание, мониторинг и проведение экспертизы научных исследований в интересах технологического развития. Такие советы должны включать главных конструкторов и главных технологов по соответствующим технологическим направлениям») Концепции технологического развития на период

до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р (отв. академик РАН С.М. Алдошин, член-корреспондент РАН Е.С. Горнев, срок – июнь 2023 г.).

3. Авторам докладов в адрес ученого секретаря предоставить (при наличии) конкретные предложения с указанием заказчика, технических требований и предложений со стороны исследователей и разработчиков с целью рассмотрения возможности постановки НИОКР с финансированием в рамках программы по особо чистым материалам.
4. По готовности запланировать продолжение заседания с рассмотрением вопросов производства фоторезистов и антиотражающих покрытий (включая соответствующие методики измерения их характеристик), особо чистого кварца, кварцевых заготовок, мишеней, прекурсоров и др. материалов для микроэлектроники.

19 октября 2023 года была проведена **стратегическая сессия** Отделения химии и наук о материалах, Отделения наук о земле, Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию с участием представителей Контрольного управления Президента Российской Федерации, Госкорпорации «Росатом», Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, **посвященная состоянию дел и проблемам в области минерально-сырьевой базы Российской Федерации.**

Повестка:

1. **Обеспеченность стратегическими видами минерального сырья в части редких и редкоземельных металлов.** Марков Иван Александрович, директор Департамента металлургии и материалов Минпромторга РФ.
2. **Проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России.** Академик РАН Николай Стефанович Бортников, член-корреспондент РАН Александр Владимирович Волков, д.г.-м.н. Александр Валерианович Лаломов, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН).
3. **Потенциал горнодобывающего комплекса России по обеспечению рудами критических металлов.** Академик РАН Валерий Николаевич Захаров Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН).
4. **Иновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава.** Академик РАН Валентин Алексеевич Чантuria Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН), член-корреспондент РАН Татьяна Николаевна Александрова, СПбГУ.
5. **Сырьевая база лития и редкоземельных металлов Сибири: состояние, преимущества и проблемы освоения.** Академик РАН Николай Петрович Похиленко, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН).
6. **Технология селективного извлечения редких металлов.** Академик РАН Аслан Юсупович Цивадзе, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН).
7. **Технология извлечения лития из отечественного гидроминерального сырья.** Член-корреспондент РАН Александр Петрович Немудрый, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (ИХТТМ СО РАН).
8. **Проблемы извлечения стратегических металлов из минерального сырья.** Член-корреспондент РАН Иван Гундарович Тананаев, Институт химии и

- технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (ИХТРЭМС) — ФИЦ «Кольский научный центр РАН»
9. **Проблемы и перспективы разработки технологий извлечения редкоземельных элементов из труднообогатимых руд Чуктуконского и Томторского месторождений Восточной Сибири.** Д.х.н. Владимир Иванович Кузьмин, д.х.н., профессор РАН Оксана Павловна Таран, Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН) — ФИЦ КНЦ СО РАН.
10. **Развитие metallургического комплекса России. Проблемы сырья, возможные пути решения.** Академик Леопольд Игоревич Леонтьев, Аппарат Президиума РАН.



На открытии заседания председатель Научного совета РАН академик РАН **Сергей Михайлович Алдошин** отметил, что президент Российской Федерации В.В. Путин в 2022 г. утвердил перечень поручений (от 28.06.2022 г. № Пр-1130), направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы, основной задачей которого является создание технологической независимости в этом направлении. В этом перечне, фактически, определен путь создания производства продукции от прогноза по перечню и количеству дефицитных видов стратегического минерального сырья, до поиска, добычи, обогащения руд, извлечения и разделения металлов, вплоть до получения конечного изделия.

В перечне поручений в п.3 особо отмечена роль Российской академии наук: «Правительству Российской Федерации с участием Российской академии наук, госкорпорации «Росатом» и иных заинтересованных организаций:

- а) определить приоритеты развития минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых в увязке с прогнозом научно-технологического развития Российской Федерации в целях создания перспективной высокотехнологичной продукции и материалов на долгосрочную перспективу;
- б) подготовить и внести на рассмотрение Совета при Президенте Российской Федерации по науке и образованию предложения по разработке и реализации федеральной научно-технической программы, направленной на обеспечение комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычу и промышленную переработку твердых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами».



Академия наук приступила к этой работе и в апреле текущего года по инициативе Отделения наук о Земле проведено заседание Президиума, где обсуждалось состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы. В соответствии с его решением был создан Межведомственный научный совет РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию при Президиуме РАН. Совет уже провел несколько заседаний и находится в постоянном контакте с Министерством природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды РФ) и Министерством промышленности и торговли РФ (Минпромторг РФ). При этом необходимо наладить активное взаимодействие с Министерством науки и высшего образования РФ (Минобрнауки РФ), без чего невозможно организовать полноценные исследования в подведомственных научных институтах, находящихся под научно-методическим руководством РАН. Кроме того, Межведомственный научный совет принял участие в корректировке версии Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2035 г. и напрямую занимался разработкой Федеральной научно-технической программы «Разработка и внедрение комплексных технологий сопровождения геологоразведочных работ, добычи и промышленной переработки твердых полезных ископаемых, замещение импортных технологий и оборудования отечественными аналогами».

В связи с этим было решено провести стратегическую сессию с участием Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию, Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН и Бюро Отделения наук о Земле РАН, посвященную состоянию дел и проблемам в области минерально-сырьевой базы РФ. На сессию приглашены представители Минпромторга РФ, Минприроды РФ, Минобрнауки РФ, Госкорпорации (ГК) «Росатом». Участвует в заседании заместитель начальника Контрольного управления Президента РФ Валентин Васильевич Летуновский, принимающий деятельное участие в обсуждении всех вопросов и инициирующий активное взаимодействие РАН с министерствами.

Академик РАН С.М. Алдошин отметил, что в декабре РАН проводит общее собрание, важнейшим вопросом повестки которого является обеспечение технологического суверенитета и роль Академии в его достижении. Доклады будут отбираться по итогам проведенных стратегических сессий. Можно надеяться, что по итогам сегодняшней сессии на общем собрании РАН прозвучит доклад по минерально-сырьевой базе.

Свое выступление академик РАН С.М. Алдошин завершил предоставлением слова докладчикам.

В первом по повестке докладе «Обеспеченность стратегическими видами минерального сырья в части редких и редкоземельных металлов» **Иван Александрович Марков**, директор Департамента металлургии и материалов Минпромторга РФ сообщил,

что Россия располагает одной из крупнейших в мире минерально-сырьевых баз, включая редкие и редкоземельные металлы (далее – РМ и РЗМ), в части которых (по своей величине) находящейся на втором месте после Китая. Отечественная сырьевая база способна потенциально обеспечить текущую и перспективную потребность российской промышленности в случае вовлечения в эксплуатацию новых месторождений и выстраивания максимально полного цикла переработки сырья.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. № 2473-р утвержден перечень основных видов стратегического минерального сырья из 61 позиций. Подавляющая часть дефицитных видов стратегического минерального сырья относится к группе РМ и РЗМ, которые играют наиболее важную роль в создании производств перспективной высокотехнологичной продукции. В 17 стратегических дефицитных видов минерального сырья входят группа *тантал, вольфрам, молибден, уран, хром, бокситы, бериллий, цирконий, рений, ванадий, графит, плавиковый шпат*, а также группа критически зависимого от импорта сырья – *РЗМ, литий, ниобий, титан, марганец*.



РЗМ. Сыре для получения РЗМ в России представлено лопаритовой рудой Ловозерского массива, комплексными редкометальными рудами Томторского месторождения и техногенными ресурсами (фосфогипс). **В настоящее время в России добывается сырье РЗМ в виде лопаритового концентратата на ООО «Ловозерский ГОК» (Мурманская область).** Основным действующим предприятием по выделению коллективного концентратата РЗМ в Российской Федерации остается ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край), работающий в единой технологической связке с ООО «Ловозерский ГОК». Несмотря на наличие значительных запасов РЗМ, сырьевая база остаётся в целом невостребованной, что главным образом связано с низким внутренним спросом на РЗМ в силу отсутствия производства полуфабрикатов.

В целях стимулирования спроса на российские РЗМ разработан проект «Магниты», реализуемый АО «ТВЭЛ» (ГК «Росатом») на промышленной площадке в г. Глазов. Проект подразумевает приобретение разделенных неодима, празеодима и диспрозия, их спекание и производство сверхмощных постоянных магнитов. Мощность по производству составит 1000 тонн в год к 2028 году. Магнитами будет обеспечиваться производство генераторов для ветроэнергетики. Основной объем потребления (80% РЗМ) приходится на производство катализаторов крекинга нефти, гидроочистки средних дистиллятов (входящих в состав дизельного топлива) и химических катализаторов, в том числе автомобильных. Востребованными являются лёгкие РЗМ — лантан, церий, неодим в виде оксидов, карбонатов и оксалатов; кроме того, неодим используется также в виде версатата; празеодим в виде азотнокислого раствора.

В настоящее время в Российской Федерации ГК «Скайград» (г. Королев) производит до 100 тонн, разделенных РЗМ (*преимущественно металлы легкой группы – лантан, церий и неодим*) из концентрата РЗМ, произведенного СМЗ. На данный момент компания переходит на использование вторичного сырья (фосфогипс – богатое сырье по

(содержанию РЗМ тяжелой группы) и устанавливает дополнительные производственные мощности на площадке в г. Воскресенск (Подмосковье). Минпромторгом России ведется работа по поиску потребителей РЗМ продукции ГК «Скайград».

Литий. Глобальный рынок лития находится в фазе активного роста: при переходе к массовому производству электромобилей и другой высокотехнологичной продукции (электроника, промышленная техника, системы хранения энергии и др.) потребление лития ежегодно растет. В этой связи доступ к источникам литиевого сырья становится критическим звеном цепочки поставок. По запасам лития Россия входит в пятерку мировых лидеров. Основная часть балансовых запасов лития России (около 68,8%) заключена в семи существенно литиевых месторождениях редкометалльных пегматитов со сподуменом в Мурманской и Иркутской областях, Республике Тыва, Республике Бурятия и в Забайкальском крае. Крупнейшими из них являются Колмозерское и Полмостундовское в Мурманской области, Гольцовое в Иркутской области, Урикское в Республике Бурятия. По содержанию Li₂O отечественные месторождения этого типа в целом беднее основных зарубежных месторождений- аналогов.

В настоящее время на территории Российской Федерации отсутствует добыча лития за счет собственной сырьевой базы. При этом имеются мощности по переработке литиевого сырья на ПАО «Новосибирский завод химконцентратов» (ПАО «НЗХК») г. Новосибирск, АО «Химико-металлургический завод» (АО «ХМЗ») г. Красноярск и ООО «ТД «Халмек» г. Тула. Предприятия по производству лития работают исключительно на импортном сырье – карбонате лития, который импортируется из Чили и Боливии. **Освоение литиевых месторождений сдерживалось рядом причин: низкий спрос внутри страны на металл и его соединения; комплексный состав руд и их трудная обогатимость, обуславливающие высокую себестоимость получения концентратов; отсутствие эффективной рентабельной технологии получения лития из гидроминеральных источников;** высокий размер стартового разового платежа ввиду комплексности руд; ограничительный гриф на сведения о запасах, добыче и переработке (до середины 2020 г.). Снятие ограничительного грифа в 2020 г. на сведения, составляющие государственную тайну, а также пересмотр методики расчета минимального (стартового) размера разового платежа за пользование недрами в 2022 г. вызвали у недропользователей заинтересованность в освоении литиевых месторождений.



Минпромторг России ведет ряд литиевых проектов. В 2023 году проведены аукционы на право пользование недрами Колмозерского и Полмостундовского месторождений. ООО «Полярный литий» получена лицензия на право пользования недрами Колмозерского месторождения. Начаты геологоразведочные работы, идет проработка технологий обогащения и metallurgicheskogo передела. Уже в этом году АО «ХМЗ» может начать опытно-промышленную отработку техногенных отвалов Завитинского литиевого месторождения в Забайкальском крае. Кроме того, важным направлением в литиевой отрасли является создание производства катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов. Основной из проблем является **отсутствие технологий**

получения современных катодных материалов для литиевых ячеек нового поколения.

Ниобиевое направление. Российская сырьевая база ниobia достаточна для обеспечения потребностей российских предприятий в ниобиевом сырье. Однако *полный переход на отечественное сырье возможен только в долгосрочной перспективе — при условии своевременной реализации всех проектов освоения месторождений, к 2030 г. объём производства ниobia сможет превысить текущий объём потребления.* Основными сдерживающими факторами освоения месторождений ниobia являются: несопоставимо высокая (в сравнении с получением из пирохлора) стоимость феррониobia, производимого из природного концентрата Томторского месторождения, сырья Ловозёрского и Зашихинского месторождений. На сегодняшний день основным действующим производством ниobia в России является ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край), который производит пентаоксид ниobia.

Танталовое направление. Существующие производственные мощности на ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край), далее – СМЗ, позволяют полностью удовлетворить внутренний спрос на оксиды тантала для оптической отрасли, производства жаропрочных сплавов. Однако потребность в **металлическом тантале** полностью обеспечивается за счет **импорта** в связи с отсутствием в Российской Федерации производства металлопродукции.

Циркониевое направление. Основным потребителем цирконового концентрата является АО «Чепецкий механический завод» (АО «ЧМЗ» входит в состав АО «ТВЭЛ», ГК «Росатом») в г. Глазов в Удмуртской Республике. АО «ЧМЗ» является одним из крупнейших производителей циркониевого проката в мире (около 18% мирового рынка). Потребителями циркониевого сырья являются предприятия литейной, огнеупорной, абразивной и керамической отраслей промышленности, производители антипригарных красок. В мире основными промышленными источниками циркониевого сырья служат минералы бадделеит и циркон. Однако высокая стоимость бадделеита не позволяет использовать его в огнеупорной, литейной и керамической отраслях промышленности (в среднем цена бадделеита в 3 раза превышает цену цирконового концентрата). На данный момент в России добычу и переработку бадделеитового концентрата осуществляет АО «Ковдорский ГОК» (входит в состав АО «МХК «ЕвроХим», Мурманская область). Практически весь произведённый бадделеитовый концентрат экспортировался и лишь малая часть поставлялась на отечественный рынок. На обеспечение потребностей в цирконовом сырье направлен проект «Титан», реализуемый Туганским горно-обогатительным комбинатом (ГОК) в Томской области. В 2022 году закончено строительство I очереди Туганского ГОКа в рамках проекта «Создание производства на базе титан-циркониевых россыпей Туганского месторождения» (проект «Титан») и запущено производство. В 2023 году планируется выход на проектную мощность – 3 700 тонн/год цирковых концентратов. Проект будет частично закрывать потребности в циркониевом концентрате.

После запуска II очереди к 2029-2030 гг. Туганским ГОК будет выпускаться 14 700 тонн/год циркового концентрата. Сдерживающим фактором освоения месторождений является комплексность руд, разведенных цирконийсодержащих объектов, требующих единовременной реализации всех основных и попутных компонентов. Кроме того, дополнительные сложности возникают на этапе переработки (требует использования новых передовых технологий, внедрение которых продвигается слабо).

Сложность ввода в промышленную эксплуатацию отечественных циркониевых месторождений определяется пераспределенного фонда недр в первую очередь особенностями их вещественного состава и гранулометрических характеристик. Так, в большинстве случаев руды коренных объектов страны являются труднообогатимыми из-за тонкой вкрапленности, наличия мелкозернистых, глинистых, частично сцементированных минеральных фракций, что диктует необходимость

расширения фронта обогатительных операций (додрабливания и обесшламливания) и приводит к увеличению капитальных и производственных затрат.

Основным препятствием для вовлечения в отработку россыпей служит их комплексность. В мировой практике обогащение добытых песков осуществляют по гравитационной схеме с использованием в качестве доводочных операций магнитных и электрических методов, а также гидравлическую или пневматическую сепарацию. Однако на Лукояновском месторождении при обогащении возникают трудности по разделению ильменит-хромит-гематитового продукта на индивидуальные концентраты; месторождение Центральное характеризуется повышенными содержаниями вредных примесей (фосфора и хрома). Комплексные россыпи Ставропольского края (Бешпагирское, Камбулатский и Константиновский участки) не отвечают действующим требованиям отечественной промышленности к примесному составу титановых концентратов, что ведет к необходимости применения дополнительных доводочных операций. Ряд россыпей (Тарское в Омской области и др.) при наличии потенциально реализуемых товарных концентратов характеризуется весьма глубоким залеганием и предполагают отработку методом скважинной гидродобычи.



Марганец. Марганец используется при производстве практически всех марок стали и чугуна, так как активно участвует в реакции восстановления оксида железа, способствуя образованию жидких шлаков и связывая почти весь находящийся в расплаве кислород. Металлический марганец также применяется при выплавке нержавеющей и других специальных сортов сталей. **Россия обладает достаточно крупной сырьевой базой марганцевых руд, входя в десятку мировых держателей их запасов, однако товарно-сырьевую продукцию не производит.** В то же время внутреннее потребление марганцевых руд обеспечивается полностью за счет импортных поставок. **Освоение российских марганцеворудных объектов сдерживается отсутствием эффективных промышленных технологий обогащения и переработки низкокачественных руд, а также отсутствием инфраструктуры в районах локализации большинства перспективных объектов.** Качество российских руд в целом низкое: по содержанию марганца они относятся к бедным (среднее значение Mn по месторождениям варьирует от 6,6 до 31%), труднообогатимым, в значимом количестве содержат вредные примеси (фосфор, железо, кремнезем). Особенно вреден фосфор, который, в отличие от других примесей, невозможно удалить механически, из-за чего он переходит в концентрат.

Ильменит (титан). Россия располагает крупной сырьевой базой титана, достаточной для обеспечения внутренних потребностей страны в титановом сырье. Однако **освоение коренных месторождений титана, связанных с габброидными породами, сдерживается отсутствием в стране промышленной технологии переработки высокотитанистых титаномагнетитовых (железорудных) концентратов, получаемых из руд этих месторождений вместе с ильменитовыми (титановыми) концентратами.** Освоение россыпных месторождений затрудняется

качеством руд и/или условиями залегания, осложняющими их добычу и переработку, что отрицательно сказывается на рентабельности проектов.

Ильменит является сырьем для производства титановой губки, из которой производят титан. В 2022 году закончено строительство I очереди Туганского ГОКа (Томская область) в рамках проекта «Создание производства на базе титан-циркониевых россыпей Туганского месторождения» (проект «Титан») и запущено производство. С 2023 года запущено производство ильменитового концентрата, с 2024 года планируется выход на мощность 11 тыс. тонн ильменитового концентрата и 3 тыс. тонн циркониевого концентрата. С введением второй очереди в 2029-30 г.г. эти потребности будут полностью закрыты.

Титан. В настоящее активно ведется работа с Минпромторгом РФ по снижению стартового платежа месторождения «Центральное» для его развития. Основным потребителем будет «Корпорация ВСМПО-АВИСМА».

Таким образом, развитие РЗМ и РМ в стране – это комплексная задача, требующая решения вопросов в области разработки и производства оборудования, материалов, программного обеспечения, разработки перспективных технологий на всех стадиях технологического цикла с учетом специфики применения конечных изделий в различных отраслях – атомной, транспортной, космической, в военно-промышленном комплексе. Ключом в обеспечении потребности промышленности в РМ и РЗМ является совершенствование технологии и оборудования, создание устойчивого рентабельного производства. Данный протокол заложен в Стратегии развития металлургии, утвержденной в декабре 2022 года.

Член-корреспондент РАН **Александр Владимирович Волков** от себя и своих содокладчиков (*приложение 15*) отметил, что проблема обеспеченности высокотехнологичной промышленности России дефицитными видами стратегического минерального сырья с каждым годом становится все более острой в связи с неуклонным сокращением богатых и относительно доступных в техническом и экономическом отношении месторождений и неустойчивостью импорта из стран-продуцентов вследствие политической нестабильности в мире. В докладе были рассмотрены проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России. Особое внимание уделено проблеме самообеспечения России импортозависимыми видами (включая критические) стратегического минерального сырья. Показаны отечественные и мировые тенденции развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности.



Отмечено, что в последние годы Правительство России уделяет много внимания проблемам развития минерально-сырьевой базы стратегического сырья: в 2018 г. утверждена Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, а в 2022 г. утвержден обновленный впервые за 26 лет «Перечень основных видов стратегического минерального сырья». Показано, что по большинству позиций

Перечня достигнуто самообеспечение стратегического минерального сырья, но по 17 позициям Перечня промышленность Российской Федерации сильно зависит от импортных поставок, а по отдельным позициям (литий, ниобий, РЗМ) зависимость достигает 100%. Несмотря на это, многие отечественные месторождения стратегического минерального сырья, критически зависимые от импорта, не разрабатываются в связи с низкой рентабельностью.

Выполненный анализ показал, что *Россия может полностью заместить импорт минерального сырья за счет развития собственной минерально-сырьевой базы стратегического минерального сырья*. Наиболее быстрыми темпами самообеспечение может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений, кор выветривания и рециклинга.

Авторами сделано следующее заключение.

Недра России содержат значительный ресурсный потенциал критических металлов, в том числе и для зеленых технологий, позволяющий создать новые или значительно увеличить объемы производства на действующих предприятиях. *Препятствуют реализации этого потенциала: отсутствие достоверной информации о количестве попутных критических металлов в рудах и концентратах из многих отечественных месторождений; технологически вопросы извлечения и низкая рентабельность производства*.



Поставки большинства попутных высокотехнологичных металлов, извлекаемых из комплексных руд, потенциально могут быть увеличены в результате специальных мероприятий, стимулирующих их производство, включая:

-рост цен на попутный металл, оправдывающий увеличение его производства на обогатительных фабриках за счет расширения существующих и строительства новых мощностей;

-производство попутных металлов на рудниках, где они в настоящее время не добываются, но потенциально могут быть извлечены;

-улучшение технологии metallургического восстановления попутных металлов;

-переоценка запасов комплексных месторождений, на которых в настоящее время не производятся рассматриваемые металлы;

-извлечение попутных металлов из остаточных отходов добычи и переработки комплексных руд;

-улучшение показателей переработки попутных металлов.

Наиболее быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов минерального сырья (Zr, Ti, Nb, Ta, РЗМ и др.) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений.

Академик РАН Валерий Николаевич Захаров, начиная доклад «Потенциал горнодобывающего комплекса России по обеспечению рудами критических металлов» (*приложение 16*), отметил, что его тема определяется возрастающей ролью рудной минерально-сырьевой базы в обеспечении технологического суверенитета нашей страны, так как воплощением любой военной или промышленной технологии является собственное сырье, включая стратегическое, о котором шла речь в докладе академика Н.С. Бортникова, добыча которого в требуемых объемах и качестве является сложной задачей в природно-климатических условиях нашей страны и geopolитических реалиях, что в настоящее время приобрело наибольшую значимость.

Все крупные карьеры России (более 1 млн м³/год горной массы) и все без исключения подземные рудники относятся к объектам чрезвычайно высокого и высокого класса опасности. Добыча рудоминерального сырья обеспечивается более чем пятьстами крупными карьерами и подземными рудниками. На долю подземных горных работ приходится более 35 %. Причем, данная динамика происходит в условиях непрерывного изменения минерально-сырьевой базы России не в лучшую сторону, так как отмечаются следующие тенденции:

- вовлекаемые в эксплуатацию крупные рудные месторождения характеризуются труднообогатимыми рудами, требующими изыскания новых способов их переработки;
- возрастает число вовлекаемых в разработку маломасштабных месторождений, что осложняет создание необходимой инфраструктуры требуемого качества;
- увеличивается проектная глубина горных работ за 20 лет, в среднем, в 2 раза и достигло 1100 м на открытых горных работах. Глубина ведения подземных работ на: железорудных месторождениях достигает 1000 м, медноколчеданных и золоторудных 1200 м, медно-никелевых более 2500 м;
- накопление больших объемов техногенных образований (более 100 млрд.т.), сопоставимых по объему и качеству с запасами перспективных месторождений, которые должны быть оценены и рассматриваться в качестве составляющей минерально-сырьевой базы;
- в то же время, в недрах остается значительная часть запасов, не извлекаемых по различным причинам;
- смещение объектов разработки полезных ископаемых в труднодоступные районы с неразвитой инфраструктурой и неблагоприятными природно-климатическими условиями.

Фундаментальный задел, лабораторная база и отдельные примеры опытно-промышленных испытаний данных геотехнологий в нашей стране созданы. При необходимости, институты РАН горного профиля готовы развивать данные направления в консорциумах с нашими химиками и металлургами.

В основном, месторождения не освоены, характеризуются достаточно сложными горно-геологическими условиями, относительно невысоким качеством руд.

Базовым объектом сегодня является Ловозерское месторождение, достижение проектной мощности которого позволит закрыть существующие потребности отечественной промышленности в Ta, Nb и РЗМ.



Следует отметить, что значительные резервы таятся на рудных площадях, ранее выведенных из эксплуатации. Всем известно, что уникальный рудник Умбозеро был затоплен после аварии в перестроечный период. Его расконсервация (что, конечно, является непростой задачей в плане безопасности горных работ) позволит существенно увеличить объем добычи редкоземельного сырья в достаточно короткие сроки, по сравнению со строительством новых рудников.

В качестве перспективы развития горнoprомышленного комплекса России для обеспечения критическими металлами, например, по редким землям, следует рассматривать техногенные образования. С точки зрения добычи техногенные образования являются сложными объектами – не ясна структура массива и распределение в нем ценных компонентов, то есть непонятно, как обеспечить перерабатывающее обогатительное и гидрометаллургическое производство сырьем стабильного качества. В качестве примера в докладе приведены разработанные технологии подготовки участков хвостохранилищ, где в глубине массива сосредоточены скрытые обводненные зоны. Таким образом, безопасная разработка хвостохранилища – это комплекс НИР, изыскательских работ и проектных решений.

Особое внимание следует уделить техногенным образованиям со складированным эвдиалитовым сырьем. Требуется заблаговременная оценка таких массивов и изыскание подходов к их безопасной отработке. *Эвдиалит, который до настоящего времени не перерабатывается, содержит цирконий и редкоземельные металлы не легкой группы, как лопарит, а тяжелой — самария, тербия, гадолиния, диспрозия, эрбия. Дело в том, что эвдиалитовый концентрат, в отличие от лопаритового, нельзя переработать на единственном в стране Соликамском магниевом заводе.* Если будут приняты соответствующие решения, необходимо строить отдельное гидрометаллургическое предприятие, которое должно предъявлять требования к качеству добываемого природного и техногенного сырья и, в соответствии с этим, разрабатываться горные технологии добычи такого сырья. В целом, анализ сложности геологического строения всех без исключения месторождений, содержащих в качестве основных или попутных компонентов редкоземельные элементы и редкие металлы, свидетельствует о необходимости изменения подходов в управлении качеством. Обычные технологии открытой добычи, основанные на масштабных взрывных работах, здесь трудно применимы ввиду экологических ограничений (существуют и опубликованы результаты проведенных экологических экспертиз), но, если ориентироваться на принципиально иные технологии разработки месторождений, можно обеспечить снижение экологического вреда в разы.

Что касается урана, огромные запасы стратегического урана сосредоточены в Якутии на месторождениях Эльконского урановорудного района. Там содержится не только уран, но и молибден, и другие попутные компоненты. Наряду со многими нерешенными проблемами в стране до сих пор отсутствует оборудование, химические составляющие и опыт работы по технологии пастовой закладки. А для освоения урановых месторождений это является принципиальным вопросом, так как обеспечивает утилизацию радиоактивных отходов. Такие исследования должны быть первоочередными

для эффективного освоения подобного рода месторождений. Требуется создание собственного оборудования для импортозамещения. Особенно, когда это касается такого стратегического сырья, как уран.

На ныне осваиваемых месторождениях, например, на Стрельцовском рудном поле, создан задел для реализации физико-химических технологий. Развитие физико-химических геотехнологий интересно в контексте освоения не только урановых месторождений, но и других. На примере Норильских рудников показана доля элементов, связанных с рудными минералами, извлекаемыми флотацией, и доля элементов в рассеянной форме, то есть, по сути, связанных с породными минералами. В практическом отношении это означает, что в ходе переработки значительная часть редких металлов поступает в отходы. Вероятно, развитие физико-химических геотехнологий может способствовать дополнительному получению таких металлов. Но требуется проведение масштабных исследований, данный вопрос не решен и не рассматривается, так как в принципе, результаты обогащения медно-никелевых руд в нашей стране признаются достаточно хорошими.

Проблема состоит только в том, что сложно обеспечить сырьем требуемого стабильного качества обогатительные фабрики, поскольку каждый из сортов руд имеет различные технологические свойства. В результате после добычи руд различных технологических сортов, они шихтуются и перерабатываются в едином технологическом потоке. Стабилизация качества такого объединенного потока является крайне сложной задачей и требует разработки новых технологий внутрирудничного усреднения путем создания новых систем усреднительныхrudоспусков в руднике и новых транспортных схем. Конечно, на действующих рудниках это сделать уже сложно, однако в дальнейшем при проектировании необходимо учитывать такие возможности. Но более эффективным вариантом будет селективная добыча разных сортов с последующей переработкой на разных технологических линиях обогатительных фабрик. Это позволит существенно повысить извлечение высокоценных минералов, содержащих, в том числе, редкие элементы. То же самое необходимо учитывать при обосновании технологий разработки месторождений редкоземельного сырья. Например, при разработке Томторского месторождения потребуется создание систем управления качеством ввиду извлечения из недр, как минимум, 3 типов руд, очевидно, характеризующихся различными технологическими свойствами.

Проектирование рудников для обеспечения потребности в критических металлах должно быть основано на внедрение перспективных научно обоснованных решениях на базе глубокого изучения структуры и свойств горных массивов и добываемого сырья. Такие решения должны включать селективную отработку, внутрирудничные системы управления качеством, утилизацию пустых пород без выдачи на поверхность, утилизацию хвостов обогащения после глубокой переработки сырья в виде пастовой или иной закладки, комбинированные технологии – сочетание различных физико-технических и физико-химических способов добычи в пределах одного месторождения.

Вместе с тем, для нашей страны наиболее сложным с точки зрения обеспечения технологического суверенитета является вопрос технического обеспечения технологий горных работ. В стране практически не производится техники для добычи полезных ископаемых подземным способом. Более того, в ВУЗах прекращен выпуск специалистов, способных разрабатывать горные машины в соответствии с вышеотмеченными особенностями развития минерально-сырьевой базы. Отсутствуют конструкторские бюро и заводы, способные в короткие сроки восполнить пробелы в отечественном горном машиностроении. Необходимо в кратчайшие сроки совместно с соответствующими отделениями РАН и заинтересованными сторонами начать процесс возрождения российского горного машиностроения.

В качестве выводов по докладу В.Н. Захаров отметил необходимость осуществления следующих мероприятий:

1. Оценка потребности в георесурсах.
2. Оценка доступности ресурсов в соответствии с прогнозом развития.
3. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы.
4. Направления развития геотехнологий:
 - Комбинированные физико-технические и физико-химические геотехнологии;
 - Вовлечение забалансовых запасов (камера-реактор);
 - Разработка техногенных образований;
 - Доработка законсервированных объектов;
 - Интеллектуализация и роботизация технологических процессов.



Доклад «Иновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава» член-корреспондент РАН **Татьяна Николаевна Александрова** (*приложение 17*) начала с определения «стратегического минерального сырья». Это сырье, которое отражает geopolитические интересы страны, имеет особое значение для обеспечения ее экономического развития, обороны и безопасности. Перечень такого сырья и материалов устанавливается правительством и может меняться в зависимости от:

- военно-политических и экономических приоритетов государства,
- структуры материального производства и прогнозируемой обстановки,
- конъюнктуры мирового рынка,
- состояния внешнеэкономических связей и других обстоятельств.

В настоящее время Минприроды из утвержденного перечня выделяют 17 видов стратегического минерального сырья (СМС), зависимого от импорта, причем в критическую группу выделено всего пять видов: марганец, титан, литий, ниобий и редкоземельные металлы. Для вовлечения в эксплуатацию данного СМС более широко должны применяться разработанные технологии рудоподготовки на основе крупнокусковой рентгенорадиометрической и фотометрической сепарации, обеспечивающие удаление до 50–70% отвального продукта. Традиционные методы рудоподготовки могут быть заменены процессом селективной дезинтеграции, реализуемых в аппаратах нового типа: пресс-валки высокого давления, дробилки ударного действия и др. Применение данных методов позволяет значительно повысить содержание ценных компонентов и резко снизить затраты на основные процессы обогащения. Проблема разделения минералов с близкими технологическими свойствами традиционно решается повышением селективности обогатительных процессов. Научные исследования в настоящее время ведутся по нескольким направлениям: синтез флотационных реагентов направленного действия и использование энергетических методов обработки минералов, пульп и промышленных вод. Россия располагает крупной сырьевой базой редкоземельных металлов (РЗМ), включая РЗМ иттриевой группы, при этом товарная добыча РЗМ в стране ведется в ограниченном количестве.



В ходе доклада показаны технологии обогащения на примере Ловозеровского, Томторского, Белозиминского, Чуктуконского и др. месторождений. На базе Африканского месторождения первовскит-титаномагнетитовых руд (Мурманская область) реализуется проект по получению и переработке первовскитового концентрата. Планируемая продукция - пигментный диоксид титана, концентраты РЗМ, пентаоксиды ниобия и tantalа, титаномагнетитовый концентрат. Приведены комплексные технологии титаномагнетитового и марганцевого сырья.

Перспективным направлением является поиск и разработка технологий для вовлечения в переработку нетрадиционного сырья, представляющего собой источник ценных компонентов, например техногенное сырье, фосфогипс, растворы экстракционной фосфорной кислоты, диктионемовые сланцы и др. Основная трудность реализации разработанных технологий обусловлена сложным вещественным составом сырья, низким содержанием ценных компонентов, сложными горно-геологическими условиями залегания ряда месторождений, а в отдельных случаях отсутствием необходимой инфраструктуры, что обуславливает высокую стоимость готовой продукции и, как следствие, ее неконкурентностью на мировом рынке. Практическое использование СМС отечественной промышленностью в настоящее время находится на стадии инновационного подъема и для достижения технологического суверенитета России необходимо обеспечение государственными заказами научно-исследовательских и горно-металлургических компаний, перерабатывающих стратегическое сырье.

Т.Н. Александрова завершила свое выступление следующим заключением.

Россия обладает мощной сырьевой базой редкометалльной продукции. Разработаны для ряда месторождений эффективные процессы обогащения и глубокой переработки. Однако, *развитие минерально-сырьевой базы редких и редкоземельных металлов в России сдерживается крайне низким спросом на них со стороны потребителей. В подавляющем большинстве металлы вывозятся из страны в виде руды или концентратов.*

Помимо работ по добыче сырья, обогащения и переработки с получением требуемого количества и качества СМС продуктов необходимо предусмотреть стадии ОКР, создания модельных и опытно промышленных установок.

Необходимо создание отечественных флотореагентов, оборудования и материалов.

Для обеспечения технологического суверенитета России необходимо обеспечение государственными заказами горно-металлургических компаний, производящих СМС продукцию.

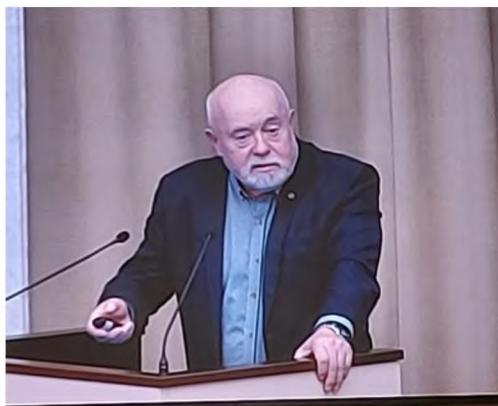
Академик РАН Николай Петрович Похilenко в своем докладе «Сыревая база лития и редкоземельных металлов Сибири: состояние, преимущества и проблемы освоения» (приложение 18) отметил, что основными проблемами развития сырьевой базы стратегических видов твердых полезных ископаемых Сибири являются:

- Сокращение и практическое исчерпание поискового задела по большинству стратегических видов полезных ископаемых;

- Резкое сокращение государственного фонда рентабельных участков недр для их предоставления в пользование;
- Инфраструктурные ограничения новых открытий в неосвоенных районах страны;
- Отсутствие научно-обоснованных предпосылок концентрации имеющихся ресурсов на отдельных направлениях и территориях (необходимо программно-целевое планирование);
- Отсутствие необходимых организационно-финансовых условий для эффективной поисковой деятельности юниорных компаний.

Потребление сырья для технологий «чистой» энергетики вырастет, как минимум, в 4 раза к 2040 году, и особенно высоким будет рост сырья, необходимого для изготовления электромобилей.

Так, по данным агентства Benchmark Mineral Intelligence в 2022 году мировой спрос на карбонат лития составил 668 тыс. тонн. Установленная в конце марта 2023 года консорциумом ведущих на литиевом рынке компаний минимальная цена за тонну карбоната лития равна 36380 USD. В 2032 году потребуется добывать уже 2,9 млн. тонн карбоната лития, а это больше, чем все его мировое производство за период с 2015 по 2022 годы (2,7 млн. тонн). К 2040 году весь литий, добытый в мире в 2022 году составит объем менее месячного спроса, даже если добавить к нему литий, добытый из переработанных батарей. К 2050 году спрос на карбонат лития достигнет уже 11,7 млн. тонн, причем 2/3 этого материала будет уходить на нужды накопления энергии, и только менее 1/3 – на обеспечение автомобильной промышленности.



Производство многих видов сырья для высокотехнологичных отраслей промышленности, включая переходную энергетику, в настоящее время географически более сконцентрировано, нежели производство нефти и газа

До середины 90-х годов прошлого века литий в мире, включая Россию, добывался из сподумен-пегматитового сырья (сподумен – Li-содержащий силикат – $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, содержание Li_2O в сподумене составляет 6,5-7,7 мас.%). Однако, начиная с середины 90-х годов, на мировом рынке появился новый поставщик дешевого карбоната лития, производимого из рапы соленых озер района Салара-де-Атакама (Чили), который вытеснил производителей литиевой продукции, включая Россию, производившую в период до 90-х годов до 20% мирового объема лития и его соединений. Это привело к утрате позиций России на мировом рынке лития и стагнации всего отечественного литиевого промышленного комплекса. За прошедшие 40 лет сложившаяся ситуация практически не изменилась.

Однако в настоящее время стало очевидным значение российских месторождений сподуменовых пегматитов Центрально-Азиатского складчатого пояса и литиеносные подземные рассолы Сибирской платформы, общие запасы Li и его прогнозные ресурсы категорий P1 и P2 в которых огромны (~ 4,5 млн. тонн) и сопоставимы с таковыми для Чили, Аргентины, Боливии и Китая. Эти месторождения, вне сомнения, будут

востребованы в связи с переходом на технологии «чистой энергетики», электромобили и связанным с этим острым дефицитом лития для производства аккумуляторов, а также стремительно растущими потребностями лития в широком ряде других высокотехнологических отраслей.

В Иркутской области известны Ковыктинское и Знаменское месторождения гидроминерального сырья. Содержание лития и дополнительных компонентов в рассолах этих месторождений значительно превышают их концентрации в традиционном промышленно перерабатываемом сырье. Это единственное место в мире, кроме соленых озер в Чили, где концентрация лития доходит до 0,7 г/дм³. Задокументированы скважины с дебитом до 5-7 тыс. м³/сут, выносящие за сутки до 10 т хлористого лития.

Ресурсы рассолов в Ангаро-Ленском бассейне могут обеспечить годовой объём производства более 17 000 тонн карбоната лития, что превышает мощность действующих производств по извлечению лития из рассолов озёр в Китае (более 15000 тонн карбоната лития в год), США (6000 т в год) и Аргентине (12000 т в год).

По предварительной оценке, запасов промышленных рассолов Ангаро-Ленского бассейна и на основе анализа технико-экономической оценки использования этих рассолов для производства лития и дополнительных компонентов (брома, бора, стронция, калия, магния) Иркутскую область можно рассматривать как крупную минерально-сырьевую базу.

В настоящее время такие компании как «Газпром» и «ИНК» занимаются развитием проектов по добыче лития из промышленных рассолов месторождений Иркутской области.

Ключевым моментом развития минерально-сырьевой базы лития являются новые и незаслуженно забытые химико-технологические исследования, связанные с механохимическим переделом минерального сырья, позволяющим резко удешевить получение конечных промпродуктов из богатых сподумен-пегматитовых руд и хвостов горно-обогатительных комбинатов. В этой связи, проводившиеся и проводимые в профильных институтах Сибирского отделения РАН исследования, задачей которых является разработка новых методов поиска и изучения рудных и техногенных месторождений лития, а также создание *экологически безопасных технологий обогащения и переработки минерального сырья*, закладывают научные основы вывода из стагнации производства лития в России.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск), Институт геохимии им. А.П. Виноградова (г. Иркутск), Институт земной коры (г. Иркутск) провели комплексные экспедиционные работы и минералогические исследования, сейчас они располагают геоинформационной базой данных и уникальной коллекцией опытно-лабораторных проб качественных сподуменовых руд (0,5-2,5 т) по всем перспективным сподумен-пегматитовым месторождениям Сибири. Эти материалы позволили перейти к решению вопросов технологической минералогии и разработке новых схем извлечения лития и его соединений из сподуменовой руды (Алахинское месторождение в Горном Алтае, Гольцовое, Белореченское и Урикское месторождения сподуменовых пегматитов в Восточных Саянах), а также хвостов Забайкальского ГОКа (Читинская область).

Далее Н.П. Похilenко сообщил, что обеспечение экономики страны редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ) носит критический характер для национальной безопасности и является важным условием модернизации промышленности. Без РМ и РЗМ невозможно полноценное внедрение 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 07 июня 2011 г. № 899, в том числе:

- военные и промышленные для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;

- создание электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- силовая электротехника;
- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- информационные, управляющие, навигационные системы;
- наноустройства и микросистемная техника;
- новые и возобновляемые источники энергии, включая водородную энергетику;
- получение и обработка конструкционных наноматериалов;
- создание высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;
- создание ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;
- создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- производство металлов и сплавов со специальными свойствами.

Варианты воссоздания редкоземельной промышленности в России возможны в трех направлениях:

1. Реанимации мощностей по производству РЗМ из лопарита Ловозерского месторождения (Мурманская область), на базе которого Соликамский МЗ сегодня производит коллективный концентрат РЗО в минимально возможных объемах, экспортируемых полностью за рубеж;
2. За счет попутного получения РЗМ из Хибинского месторождения апатита, в котором заключено около 60% их балансовых запасов, что требует создания целой отрасли;
3. За счет освоения балансовых месторождений, готовых к эксплуатации, из которых самым богатым является Томтор (уч. Бураенный, Северный и Южный).

Первые два варианта, несмотря на их очевидную ясность, требуют создания многочисленных цепочек перерабатывающих предприятий, опираясь на реанимацию устаревших и старых технологий и производств, а также организацию новых мощностей, удаленных друг от друга на тысячи километров.

Вариант, базирующийся на источнике сибирского сырья — месторождении Томтор с уникально высокими параметрами содержания в его руде остродефицитных редкометальных и редкоземельных компонентов, гарантирует реализацию самых смелых стратегических интересов нашей страны.

По ресурсам редких и редкоземельных металлов и их концентрациям Томтор является безусловным лидером нашей планеты. В мире такие объекты редки, поэтому Томтор по праву стоит в одном ряду с месторождениями-гигантами, такими, как Виттватерсrand или Сухой лог (золото), Чукикамата (медь), Норильская группа (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе Nb-РЗМ объектов, опередив месторождения ниobia (Араша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай). На площади ~ 35 кв.км располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пирохлор-моаназит-крандаллитовых руд (Северный, Бураенный и Южный). На участке Бураенный оценено свыше 42 млн т. руды (Толстов, 1999). Томтор имеет приоритетное значение среди других сырьевых источников, поскольку позволяет обеспечить любые потребности российской промышленности и мировой экономики в РЗЭ на обозримый период в полном спектре. В пределах рудного поля можно выделить блоки руды практически с любыми заданными параметрами, как например блок иттрий-скандиевых руд. В пределах Томтора установлены блоки богатых марганцевых руд, а также присутствие в его породах вкраплений самородного золота и платины, что требует доизучения массива на распределение этих компонентов. Кроме того, на территории Уджинского поднятия, поблизости от Томтора, имеются еще четыре

практически не изученных массива подобного типа, что значительно повышает перспективы развития сырьевой базы РЗМ региона.

Уникальность разработанной в ИХХТ СО РАН технологии переработки томторских руд в том, что в полезную переработку вовлекается 75% компонентов руды, в результате чего нет необходимости предварительного обогащения руды. Работы по совершенствованию переработки томторских руд (Кузьмин В.И., 2006-2014 г.г.) позволили увеличить количество товарных продуктов до 20, среди которых главную ценность представляют индивидуальные оксиды средних и тяжелых РЗМ, что позволяет говорить о новых возможностях получения практически полной линейки РМ и РЗМ из одного сырьевого источника.

Завершая доклад, Н.П. Похilenко сделал следующие выводы:

1. Литий:

- Наиболее подготовленным к получению конечного продукта – востребованных промышленностью и рынком соединений лития является вариант переработки Li-содержащих рассолов Ангаро-Ленского бассейна.

- В связи с ожидаемыми стремительным ростом потребления лития в мире, острым ростом дефицита лития на мировом рынке начиная с 2024 года, представляется перспективным диверсифицировать варианты производства лития. Для этого необходимо включить в разрабатываемую программу освоение *наиболее перспективных с экономической точки зрения* рудных и техногенных месторождений этого металла.

- Для ускоренной реализации задач по развитию производства лития в Сибири в частности и России в целом следует в максимально короткие сроки привлечь и обеспечить (материально и инструментально) сохранившиеся остатки высококвалифицированных специалистов из профильных институтов СО РАН (геологов, химиков-технологов, экономистов) для создания реально реализуемой программы работ по данному направлению.

2. Редкие и редкоземельные металлы

Организация освоения уникального по всем параметрам Томторского месторождения целесообразна по следующим причинам:

- освоение месторождения позволит на сотни лет отказаться от импорта РЗМ и вывести Россию, как крупного игрока, на мировой рынок наравне с ведущими странами БРИКС - Китаем (РЗМ) и Бразилией (ниобий);

- вовлечение в промышленную обработку Томтора благоприятно отразится на экономике Якутии и всей Арктики, что вписывается в Федеральные программы освоения Арктики и возрождения Севморпути;

- запуск Томторского проекта ввиду уникальности параметров руд потребует небольшого объема добычи руды (100-150 тыс. тонн в год, в зависимости от потребности экономики России в РЗМ), что не требует создания грандиозных горнодобывающих производств в Арктике;

- при успешном развитии событий на базе Томтора и месторождений Маймеч-Котуйской провинции Красноярского края возможна организация производства фосфатов, по ресурсам которых регион также уникален;

- расположенные вблизи Томтора месторождения импактных алмазов Попигайского кратера позволяют комплексно подойти к освоению сибирского сегмента Арктики (северо-запад Якутии и северо-восток Красноярского края);

- с началом освоения Томтора в приполярном регионе Республики Саха (Якутия) появится новый горнодобывающий узел типа Норильского, но расположенный более чем в 1000 км к востоку от последнего, что гармонично вписывается в геополитические устремления России в Арктике.

Участок Бурунный месторождения Томтор готов к эксплуатации после разведки (АК АЛРОСА, 1999) и доразведки (участок Бурунный, ОАО Востокинжиниринг, 2019). На участках Южный и Северный выполнены поисково-оценочные работы (АО

Якутскгеология, 2015-2017). Запасы по трем участкам утверждены ГКЗ МПР в объемах, составляющих десятки млн. т. по руде на каждом из них.

3. Возможность участия профильных академических институтов в реализации поставленных задач.

Для обеспечения активного участия профильных академических институтов и научных центров Минобрнауки РФ (геологических, горных, химико-технологических и экономических) в работах по развитию и освоению МСБ лития, редких и редкоземельных металлов необходимо создание межведомственной ФНТП с участием в ней Минприроды РФ, Минпромторга РФ и Минобрнауки РФ.

Анализ данных по минерально-сырьевой базе редких металлов показывает, отметил академик РАН **Аслан Юсупович Цивадзе** (*приложение 19*), что в России имеются достаточные ресурсы для эффективной добычи редких металлов. Однако для эффективного использования этих ресурсов необходимо разрабатывать прорывные технологии переработки минерального сырья и создавать конкурентоспособные производства особо чистых редких металлов.



Рассмотрение известных в России предложений по технологии редких металлов, полученных по запросу РАН, показывает, что предлагаемые технологические решения, в большинстве случаев, основаны на принципах устаревших классических технологий, что в значительной степени осложняет выбор подходящей технологии в каждом конкретном случае. В качестве примера можно продемонстрировать сравнительный анализ проблем селективного извлечения лития из различных источников минерального и гидроминерального сырья. Такой выбор оправдан тем, что указанная проблема наиболее широко обсуждается в настоящее время в рамках не только научного, но и бизнес сообщества в мировом масштабе.

Рассмотрены причины волатильности цен на литий, основные источники лития и сложности его добычи, а также перспективы развития литиевой промышленности.

Россия обладает большими запасами лития, позволяющими в случае внедрения новых технологических решений, полностью обеспечить не только внутренние потребности, но и успешно выступать на площадках мирового рынка.

Результаты научных исследований последних лет показывают, что *только экстракционная технология на основе новых селективных экстрагентов обеспечивает достижение приемлемых технико-экономических и экологических показателей, позволяющих добиться значительного снижения себестоимости, энергетических затрат и экологической опасности по сравнению с используемыми в настоящее время классическими технологиями*. Следует подчеркнуть, что в России в настоящее время основы таких технологий разработаны на базе применения отечественных селективных экстрагентов. Следовательно, *необходимо ускоренными*

темпами проводить внедрение отечественных результатов, которые превышают достигнутый мировой уровень.

Аналогичная ситуация складывается по проблемам технологии редкоземельных металлов с той разницей, что в данном случае отечественные технологии не имеют такой ясной перспективы. В связи с этим предложены пути развития фундаментальных и технологических исследований в этом направлении.

В докладе «Технология извлечения лития из отечественного гидроминерального сырья» (приложение 20) член-корреспондент РАН **Александр Петрович Немудрый** сообщил, что в последнее время в мире наблюдается стремительный рост потребности в литии, связанный с его использованием в литий-ионных аккумуляторах, которые все шире применяются в распределенной энергетике, в том числе в транспорте. Это ставит перед страной задачи по импортонезависимости и технологическому суверенитету; поиску и освоению новых минерально-сырьевых ресурсов для производства соединений лития, созданию новых конкурентоспособных технологий по извлечению лития из отечественного сырья.

История развития литиевого производства в России и использования лития тесно связана с историей Института химии твердого тела и механохимии (ИХТТМ) СО РАН. Эта тематика уже около 80 лет остается одним из основных направлений Института. В 50-х годах д.т.н. И.С. Лилеевым был разработан известковый способ переработки сподуменового концентрата с получением моногидрата гидроокиси лития. Технология была освоена на Красноярском химико-металлургическом заводе (ОАО КХМЗ), который поставлял продукт на Новосибирский завод химических концентратов (ОАО НЗХК), где производили металлический литий батарейного качества и его соединения. За разработку комплексной технологии переработки сподуменовых концентратов коллектив авторов во главе с д.т.н. И.С. Лилеевым был удостоен Сталинской премии.



Однако разработка рудных месторождений требует больших капитальных вложений из-за ее высокой энерго- и материалоемкости, затрат на экологические мероприятия. Освоение рассолов хлоридно-натриевого типа в Литиевом треугольнике (Аргентина, Боливия и Чили) позволило существенно понизить затраты на производство лития. Потребность России в имортонезависимости по литию вызывает интерес к технологиям по извлечению лития из гидроминерального сырья, запасы которого в виде пластовых вод нефтяных месторождений, континентальных подземных вод, геотермальных рассолов в стране достаточно велики. Проблемой их использование является высокое содержание кальция и магния, что при переработке приводит к неизбежному высыпыванию солей типа: $\text{LiCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{LiCl} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ при любых способах концентрирования. Таким образом, вовлечение гидроминерального сырья хлоридно-кальциевого и/или магниевого типа в процессы получения лития возможно только при его концентрировании путем селективной сорбции или экстракции.

В ИХТМ СО РАН в конце 80-х были проведены фундаментальные работы по изучению процессов взаимодействия кристаллической гидроокиси алюминия (гидрагиллит) с растворами содей лития. Было показано, что взаимодействие происходит за счет селективной интеркаляции солей лития между алюмогидроксидными слоями гидрагиллита. Образующийся при этом продукт - анионные производные двойного гидроксида алюминия и лития (ДГАЛ-An), имеет область гомогенности по литию и способен претерпевать циклы интеркаляции-деинтеркаляции, при этом реакционная способность алюмогидроксидной матрицы к процессам селективной сорбции резко возрастает. Под руководством д.х.н. Н.П. Коцупало на основе ДГАЛ-Cl был разработан селективный сорбент безреагентного выделения лития из высокоминерализованных литиеносных рассолов хлоридно-кальциевого и/или магниевого типа. Изучены технологии дальнейшего концентрирования растворов, обогащенных по ДГАЛ-Cl, в том числе путем электродиализного концентрирования. В Институте было создано опытное производство для апробирования в укрупненных условиях переработки природных рассолов, самоизливающихся в карьер трубы «Удачная» в Якутии. В результате был разработан технологический регламент, в ходе опытно-промышленных испытаний методом электродиализа получен вторичный литиевый концентрат - продуктивный раствор хлорида лития, содержащий 175 г/л LiCl, из которого осаждали карбонат лития. Испытания показали воспроизводимость сорбционного процесса и возможность получения продуктивного раствора хлорида лития для производства литиевых продуктов. Таким образом, было показано, что источниками сырья для новой технологии могут быть различные месторождения гидроминерального сырья России.

Научные разработки легли в основу технологии сорбционного обогащения, разработанной ЗАО «Экостар-Наутех». В 2004 году прошли успешные испытания китайской компанией высокоселективного сорбента ДГАЛ-Cl на китайских рассолов. В дальнейшем этот процесс был промышленно освоен для получения карбоната лития из рассолов оз. Дабсан-Нур (провинция Цинхай, КНР). Предприятие функционирует с 2012 года и выпускает около 10 тысяч тонн карбоната лития в год. Особенностью действующего предприятия является то, что в его составе имеется производство по грануляции сорбента для восполнения потерь его механического истирания. Для промышленного освоения процесса сорбционного извлечения лития из рассолов специалистами ЗАО «Экостар-Наутех» предложена и разработана схема грануляции сорбента. Процесс грануляции довольно сложный и затратный и должен постоянно восполнять потери в промышленном производстве получения карбоната лития из рассолов.

Сотрудниками ИХТМ СО РАН предложено дальнейшее развитие технологии сорбционного концентрирования лития с помощью ДГАЛ-Cl без гранулирования сорбента с организацией сорбционных процессов на порошковом сорбенте с использованием пульсационных колонн, что снижает уровень энергозатрат, расход реагентов, количество специального оборудования, трудозатраты. Преимуществом предлагаемой технологии является:

- непрерывность процессов сорбции-десорбции;
- использование схемы с оборотом сорбента;
- низкий расход воды на десорбцию - менее 0,05 объема перерабатываемого рассола;
- отсутствие в составе оборудования вращающихся систем (насосы, мешалки и т.п.);
- отсутствие особых требований к коррозионной стойкости оборудования;
- возможность требуемого масштабирования;
- обеспеченность сырьевой базы предлагаемой технологии высокоминерализованными рассолами Сибирской платформы.

Дальнейшее снижение себестоимости лития возможно достигнуть при комплексной переработке природных рассолов с выделением попутных ценных компонентов. Перспективным представляется извлечение брома, содержание которого в некоторых

подземных хлоридных рассолах Якутии и Красноярского края достигает 3-5 г/л. Электрохимическая технология извлечения брома, разработанная в Институте химии и химических технологий СО РАН, успешно прошла испытания на пилотной установке производительностью 50 л/час на пластовой воде Сухотунгусского месторождения Красноярского края.

Член-корреспондент РАН **Иван Гундарович Тананаев** рассказал «О проблемах извлечения стратегических металлов из минерального и техногенного сырья» (*приложение 21*) глазами химика-технолога.



Эта задача в настоящее время имеет исключительную значимость, поскольку химическая переработка – завершающий этап в освоении минерального и техногенного сырья, который «открывает дверь» в индустриальное общество, обеспечивающий наработку и доставку конечной продукции потребителю по производственным цепочкам. Вклад и развитие отрасли химической переработки сырья является явным индикатором состояния экономики государства и его роли в разделении мирового рынка труда.

В связи с этим, отметил докладчик, разговор пойдет не столько о проблемах в химическом извлечении целевых компонентов из минерального и техногенного сырья, сколько о его современной роли и месте при переходе нашего государства на новый технологический уклад.

Сегодня в перечне стратегических материалов более 60 наименований. Нельзя объять необъятное, поэтому для раскрытия темы доклада внимание будет сфокусировано только на проблемах химического извлечения одной группы стратегических металлов – бериллия, лития и редкоземельных элементов, которые, невзирая на востребованность для геополитических интересов и экономики государства, до сих пор остаются проблемными в части производства. В качестве примера можно отметить, что до 1990 года Советский Союз занимал 2 место в мире по производству редких земель, добывая ежегодно до 30 % от мировой добычи, т.е. по 8,5 тыс. тонн при собственном потреблении 6 тыс. тонн, а остаток направлял на экспорт в США, Японию, Германию. Сегодня Россия, напротив, завозит по импорту почти 90 % РЗЭ продукции, что вступает в противоречие с наличием огромных запасов природных и техногенных источников в нашей стране.

В чем причина этой ситуации и к чему это ведет?

Причина в том, что ведущие горнодобывающие компании не заинтересованы в добыче редкоземельных металлов и в организации глубокой переработки руд и концентратов, что, кстати, отмечалось в Постановлении Президиума РАН в апреле 2023 года.

И.Г. Тананаев привел на эту тему несколько примеров. Первый пример – история о красноуфимском монаците, завезенном для нужд атомной промышленности после Второй мировой войны. 82 тысячи тонн «золотого» концентрата были размещены близ г. Красноуфимска как собственность Свердловской области. Затем полезное сырье было продано в частные руки. В 2013 и 2014 гг. ГК «Росатом» как научный руководитель ПО

«Маяк» ядерного оружейного комплекса принимал участие в подготовке документов для переговоров с владельцами ООО «ТриАрк Майнинг», где наше предприятие предложило апробированную гидрометаллургическую схему переработки данного сырья с размещением образующихся радиоактивных отходов на своей площадке. К сожалению, эти предложения не были услышаны, а монацитовый концентрат в итоге достался компании «РедЗемТехнологии», которая пообещала вывезти концентрат за пределы Свердловской области. Куда? В 2021 г. владельцы отчитались об отправке первых партий монацитового концентрата (около 3 тыс. тонн из 82 тысяч) железнодорожным транспортом для переработки в Китай, или, как утверждают в РЖД, во Вьетнам. Планируется, что через 4 года по контракту весь груз будет перемещен за рубеж. Что важно, *представитель «РедЗемТехнологий» в части вывоза монацитового концентрата заявил, что в России не нашли подходящей технологии извлечения редкоземельных металлов из монацита, в том числе потому, что его потенциальный экологический вред превышает экономический эффект*. На каком основании он сделал такой вывод? В реальности же, на тему переработки минерального и техногенного сырья только наш институт разработал ряд апробированных технологий извлечения РЗЭ: из монацитового, апатит-нефелинового концентрата (два варианта), эвдиалитового сырья (три варианта), фосфогипса, из лопаритовых концентратов Ловозерского ГОК, и не только. И мы совсем не одни - ряд академических и ведомственных институтов четыре года работали по подпрограмме «Развитие промышленности редких и РЗМ», разработан ряд инвестиционных проектов. В исторической перспективе были построены и заводы по переработке концентратов редкоземельных элементов в индивидуальные элементы, некоторые, кстати, работают до сих пор. И совсем не уступают иностранным... Мы до сих пор закупаем у Эстонии РЗЭ, полученные на заводе, и по технологиям, созданным еще в советское время.

Второй пример – близкий к нам территориально ПО «Апатит», реализующий на экспорт минеральные удобрения. Там содержащий РЗЭ апатит-нефелиновый концентрат за границу не вывозится, но зато списывается «на ветер». За всю историю существования АО «Апатит» добыл до 700 млн. тонн, это значит, было списано более 7 млн. тонн предполагаемой РЗЭ продукции (до 80 тыс. тонн в год). Теперь к чему это ведет? Это ведет к тому, что государственный заказ на создание технологий химической глубокой переработки минерального и техногенного сырья для его освоения, практическое их внедрение на производстве и наработка ценных компонентов – что было в советское время в условиях планового хозяйствования – сегодня не действует.

Переход на рыночное хозяйствование перпендикулярно изменил систему управления запасами РЗЭ и продукцией на их основе, что, в свою очередь, поставило в тупик и миссию, и роль науки в сфере освоения и химической переработки минеральных запасов. Рынок руками новых владельцев полностью разрушил необходимую для испытаний опытную базу, созданную учеными на горно-обогатительных производствах. Мы, например, не обратимо утратили разработанную нами опытную установку по переработке отходов обогащения апатит-нефелиновых руд с получением пигментов, красителей, дубителей, сорбентов, диоксида титана, строительных материалов на ПО «Апатит» производительностью до 3 тыс. т в год. Восстановить опытную базу сложнейшая задача, решение её возможно только обоюдными усилиями науки и производства, однако владельцы не спешат, и, по всей вероятности, не будут внедряться в глубокую переработку руд и концентратов. Еще к чему это ведет? К тому, что мы теряем когорту квалифицированных инженеров, техников и химиков-технологов, которые обеспечивали упомянутую опытную базу, а в нашем институте – это до 60 % в штатном расписании без надежды применения их рационального труда. Их финансирование из средств министерского государственного задания затруднительна, поскольку на них не распространяется известный Указ Президента РФ по 200 % оплате труда ученых по региону. Содержать инженера в институте – роскошь, поскольку приходится

преодолевать непреодолимый разрыв между оплатой его труда и оплатой научного работника, имеющего ПРНД.

Рынок «костлявой рукой» опустил 35 % сотрудников института на уровень МРОТ, а на следующий год их станет 50 %. Не случайно из региона массово уезжают в среднюю полосу, в Санкт-Петербург и Москву.



Практически невозможно привлечь и молодежь в науку, поскольку разрушена система подготовки и ротации кадров в сфере химической промышленности. Здесь мы видим две главных проблемы: низкий набор на специальности химика-технолога и отсутствие современных образовательных программ в вузах. За последние пять лет число сдающих ЕГЭ по химии снизилось на 20%. Сдавшие имеют средний балл около 55, что говорит о слабой подготовке. Большая часть выпускников сдают химию не ради химии, а для подачи документов в медицинские институты. А что предлагаем мы? Например, специалитет «Химическая технология материалов современной энергетики». Обучение проводится в девяти вузах со средним проходным баллом от 46. Такие баллы говорят о том, что на данную образовательную программу (ОП) поступают в основном те, кто уже никуда не смог поступить. Докладчик призвал обратить внимание на следующее: на такую ОП открыто всего 347 бюджетных мест на всю страну. По ОП бакалавриата «Химическая технология» идет набор на менее, чем 3000 бюджетных мест в год. Это ничтожно мало. Поэтому для поддержки и развития отраслей химической переработки сырья необходимо предпринять комплексные меры по приведению в соответствие программ ОП в вузах, ведущих к решению современных задачам. Федеральные стандарты, действующие ОП в вузах, должны соответствовать государственным программам и постановлениям Правительства РФ, именно для их решения и нужны новые кадры.

Можно заключить, что в сфере химического извлечения стратегических металлов, в том числе, РЗЭ и других ценных металлов из минерального или техногенного сырья в России создан и апробирован ряд перспективных технологий, которые оказались, по существу, невостребованными. Однако имея ряд способов производства, самого производства нет в силу нестабильности рынка и отрицательной рентабельности производства. И это позиция бизнеса. Пример: в 2016 году по Госпрограмме «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» на ПАО «Акрон» был реализован проект по производству редкоземельных элементов мощностью производства до 200 тонн оксидов в год. Сырье – все тот же апатитовый концентрат – поступал с ГОКа «Олений Ручей», принадлежащего ПАО «Акрон». При запуске производства присутствовал наш Президент РФ. Через три года производство было закрыто. Исполнительный директор «Акрона» сообщил: «Акрон» сделал главное. Он освоил технологию получения РЗЭ, подняв уровень персонала на высокий профессиональный уровень, запатентовал данный способ производства». Главное для «Акрона», как видно, не является главным для государства.

Мы говорили, уважаемые коллеги, продолжил И.Г. Тананаев, о редкоземельной продукции. Но мы можем сказать точно то же самое применительно и к литиевой и бериллиевой промышленности и т.д. Например, по результатам аукциона в феврале 2023 года ООО «Полярный литий» получил лицензию на разведку и добычу полезных ископаемых на участке недр федерального значения Колмозерское для разработки крупнейшего литиевого месторождения, открытого сотрудниками Кольского научного центра РАН и названного именем академика Ферсмана. За год передачи лицензии фирме «Полярный литий» наш Кольский научный центр РАН совместно с научным дивизионом ГК «Росатом» в составе институтов ГИРЕДМЕТ и ВНИИХТ разработал совместный проект переработки колмозерского сподумена с получением «батарейного» карбоната лития по модернизированной технологии на пилотной установке в г. Апатиты. Этот проект был рассмотрен и обсужден на НТС ГК «Росатома» с привлечением экспертов из известных организаций горной промышленности. Была создана дорожная карта, ведущая к конкретному результату, которая была передана в адрес «Полярного лития». Однако, «полярники», насколько нам известно, ищут себе другого подрядчика для создания комплекса переработки сырья по китайским технологиям.

Бериллий. Получение бериллиевых концентратов и химических соединений из рудного сырья в России отсутствует, производственные мощности по переработке бериллиевых концентратов остались за рубежом (Казахстан). В результате сегодня образовалась ситуация, когда использование важнейшего стратегического металла находится в полной зависимости от зарубежных фирм. Промышленная переработка бериллиевых руд и получение бериллия имеется только в трех странах: США, Китай и Казахстан. Бериллий необходим для ядерного оружейного комплекса ГК «Росатом». В сложившихся условиях, задача по созданию собственного бериллиевого производства является для России остроактуальной.

Все упомянутые истории связаны с отсутствием внутреннего государственного регулирования запасами и заказа на стратегическую продукцию. По определению, стратегический материал является стратегическим за счет его роли в реализации стратегии развития государства. В условиях планового производства ценные металлы, действительно, являлись стратегическим материалом, а цепочки поставок формировали внутренний рынок. И нам кажется, момент истины сегодня для государства – определиться, являются ли РЗЭ, бериллий, литий, действительно, стратегически важным для него материалом, или нет? Если являются, то государство должно стать и заказчиком, и владельцем этого стратегического сырья, передав его, как вариант, Госкорпорации «Росатом» как единому поставщику, переадресовав ему средства государственных программ развития минеральной базы России; или, например, путем создания новой государственной корпорации типа «Росмет». Если нет, то на этом рынке останутся только владельцы сырья, стратегическое развитие государства для которых является вторичным. Здесь сфера химической переработки и производства конечной продукции свое место не находит. И мы должны хорошо понимать последствия: исключение отраслей химической переработки из системы бизнес-управления минерального и техногенного редкометального сырья однозначно ведет к переходу нашей державы в сырьевой призрак.

Профессор РАН, д.х.н. **Оксана Павловна Таран** в докладе «Проблемы и перспективы разработки технологий извлечения редкоземельных элементов из труднообогатимых руд Чуктуконского и Томторского месторождений Восточной Сибири» (*приложение 22*) отметила, что Томторское и Чуктуконское месторождения ниобий-редкоземельных руд являются уникальными сырьевыми объектами России. В этих двух месторождениях сосредоточено около 80% запасов богатых руд России по редкоземельным металлам (РЗМ) и ниобию. Содержание оксидов РЗМ в рудах томторского месторождения достигает 10%, в чуктуконском- 4-5%, оксидов ниobia -6-7%

и 0,5-0,7%, соответственно. Основу месторождений составляют коры выветривания карбонатитов. *Особенностью руд является ультрадисперсность минеральных составляющих и тонкие взаимопрорастания минеральных частиц, что делает руды практически необогатимыми известными методами.*

В ИХХТ СО РАН проведен комплекс исследований по прямой химической переработке руд этих месторождений с получением редкометальной продукции.

Процессы переработки томторских руд. Разработаны методы прямого щелочно-кислотного вскрытия руды. Проблемы первой стадии щелочного вскрытия обусловлены высоким содержанием алюминия, снижающего активность NaOH и щелочноземельных металлов, которые связывают фосфор. Предложены щелочно-азотнокислый и щелочно-солянокислый варианты переработки руд. По первому варианту получена редкоземельная и скандиевая продукция, а также Nb-Ti концентрат, пригодный в качестве сырья для переработки хлорированием. По второму варианту разработана схема комплексной глубокой переработки руды с электрохимической регенерацией отработанных хлоридных растворов с получением NaOH, HCl и хлорирующих реагентов. В качестве хлорирующего реагента для разложения Nb-Ti концентрата предложено использовать комплексную соль NaAlCl₄. Технология использована при утверждении в ГКЗ запасов руд участка «Бурунный» Томторского месторождения (1999 г.).



В настоящее время разрабатывается новый процесс, позволяющий получать ниобиевую продукцию (феррониобий) без вскрытия пирохлора. Применение процесса позволит существенно упростить технологическую схему переработки томторских руд и снизить затраты на получение редкометальной продукции.

Процессы переработки чукотконских руд. Особенностью руд чукотконского месторождения является высокое содержание в них оксидов железа (более 50%). В результате НИР, выполненных в ИХХТ СО РАН, разработан новый процесс вскрытия монацитовых руд. Процесс включает одностадийное прямое автоклавное вскрытие руд азотной кислотой при температурах 190-210°C. В этих условиях оксиды железа не растворяются, а вскрываются лишь фосфаты лантаноидов, урана и тория. Одновременно происходит глубокая очистка растворов от фосфора за счет связывания его оксидами железа с образованием устойчивого в кислых средах минерала - гиниита. Процесс позволяет селективно извлекать РЗМ из руд при низком расходе химических реагентов. Технология использована при утверждении в ГКЗ запасов чукотконских руд в 2016-2018 гг.

Экстракционное разделение РЗМ. Одной из важных задач химической технологии получения РЗМ является их разделение и очистка. В ИХХТ СО АН разработаны и изучены новые экстрагенты на основе солей аминов и органических кислот (бинарные экстрагенты). Особенностью процесса является извлечение РЗМ в виде солей (хлоридов, нитратов), с сохранением селективности по отношению к РЗМ использованной для получения бинарного экстрагента органической кислоты (катионообменного экстрагента).

Это позволяет использовать для реэкстракции воду, что существенно снижает расход реагентов на разделение РЗМ. Для бинарных эктрагентов, приготовленных на основе промышленных экстрагентов, применяемых для разделения РЗМ – диалкилфосфатов, алкилфосфинатов, карбоксилатов и триалкиламинов, получено физико-химическое описание процессов в широком диапазоне составов и концентраций, позволяющее рассчитывать коэффициенты распределения РЗМ в сложных многокомпонентных экстракционных системах.

Разработана математическая модель для расчета динамического распределения разделяемых РЗМ по ступеням противоточных экстракционных каскадов при использовании экстрагентов различных типов. Система расчетов позволяет оценивать необходимое число ступеней, расход реагентов, эффективность режимов управления каскадом при выборе оптимальных схем последовательного выделения групп и получения индивидуальных РЗМ в зависимости от состава исходного сырья и требований по чистоте конечных продуктов.

Однако отсутствие в г. Красноярск инфраструктуры для масштабирования и pilotирования технологий, а также современного опытного производства препятствует продвижению разработок и новых подходов в производство.

О.П. Таран завершила доклад, сделав следующее заключение.

ИХХТ СО РАН предлагает свои разработки в области технологии переработки природного минерального сырья, имеющегося на территории сибирского региона:

- Технологии переработки редкометальных труднообогатимых руд Томторского и Чуктуконского месторождений;
- Технологическая схема рациональной утилизации металлоносных углей Якутии – перспективного источника редких и редкоземельных металлов;
- Переработка рассолов и сопутствующих вод нефте- и алмазодобычи:
 - Экстракционные технологии извлечения бромида кальция из хлоридно-кальциевых рассолов;
 - Электрохимическое получение бромидного концентрата;
 - Экстракционная технология извлечения лития.

Для эффективного освоения богатейших ресурсов природного минерального сырья Восточной Сибири и их рационального использования **необходимо создание в г. Красноярске инжинирингового центра по химии, химической технологии на базе Института химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН и Сибирского федерального университета.** Задачи, которые предстоит решать инжиниринговому центру это максимальная интенсификация процесса трансфера новых технологий в производство, повышение эффективности выполнения прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ, организация промышленных испытаний, а также авторский надзор проектов в направлениях разработки передовых технологий извлечения стратегических металлов, в том числе, редкоземельных металлов и лития из природного минерального сырья.

Доклад «Развитие металлургического комплекса России. Проблемы сырья, возможные пути решения» (*приложение 23*) академик РАН **Леопольд Игоревич Леонтьев** начал с того, что в соответствии с поручением Президента РФ от 28.06.2022 № ПР-1130 и распоряжением Правительства РФ от 28.10.2022 утверждена «Стратегия развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 года». Премьер-министр РФ Михаил Владимирович Мишустин поручил Минпромторгу подготовить перечень приоритетных инвестиционных проектов, которые позволят достичь технологического суверенитета в данной области.



В разделе научно-техническое обеспечение развития отрасли сформулированы основные задачи: •сыревая обеспеченность; •совершенствование материально-технической базы; •снижение экологического и углеродного воздействия на окружающую среду; •утилизация побочных продуктов, возникающих в процессе производства; •производство импортозаменяющих материалов и новых металлов, отсутствующих на современном рынке; •повышение энергоэффективности.

Для решения задач предполагается возродить отраслевую науку и возобновить работу координационного Совета по металлургии с участием представителей научно-исследовательских и проектных институтов. Среди первоочередных задач:

- бесперебойное обеспечение металлургических предприятий сырьём и оборудованием;
- в части марганцевых руд – диверсифицировать импорт, создать новые технологии марганцевых ферросплавов и методы дефосфоризации марганцевых концентратов;
- в части хромовых руд – организовать импортозамещение сырья за счёт месторождений на Полярном Урале и в Пермском крае (Сарановское месторождение);
- в части ниобиевых руд – необходимо разработать месторождения (Томторское и Зашихинское) с вводом в эксплуатацию в 2026-2028 гг.;
- в части глинозёма – для снижения зависимости от импорта строительство завода в г. Усть-Луге (Ленинградская область) в течение 7 лет;
- в части цинковых руд – освоение Озерского месторождения и строительство цинкового завода в г. Верхний Уренгой;
- в части титановых руд – разработать новые технологии обогащения, обеспечивающие вовлечение в хозяйственный оборот отечественные сложнокомпонентные титаносодержащие руды, добываемые на Российских месторождениях;
- в части литиевых руд – поддержать проекты по добыче руд Завитинского, Толмостундовского, Ковыктинского, Ярактинского, Колмозерского месторождений;
- уделить внимание металлолому.

Марганец – это один из важнейших компонентов сталей, причём как массовых, так и специальных. Марганец обеспечивает высокие потребительские свойства сплавов (высокая прочность наряду с высокой пластичностью и вязкостью, низкий порог хладноломкости, немагнитность, оптимальный коэффициент теплового расширения, высокий уровень диссипативных свойств, способность к упрочнению и к формированию наноструктурированных композиций на поверхностях трения, обеспечивающих высокие трибологические свойства и низкий коэффициент трения при одновременном повышении износостойкости). Потребление марганца при выплавке стали полностью определяет ситуацию на рынке марганца. Суммарный расход марганца при выплавке 1 тонны стали составляет около 10,4 кг.

В 2021 г. Россия импортировала 1394 тыс. т марганцевого концентрата, кроме этого Россия полностью зависима от импортных поставок диоксида марганца, марганца металлического и электролитического, средне- и низкоуглеродистого ферромарганца.

Стоит отметить, что ситуация с производством марганцевых ферросплавов в России изменилась в лучшую сторону. Доля импорта в потреблении ферросиликомарганца за последние 15 лет снизилась с 80-90% до 40%. Доля импорта в потреблении ферромарганца за последние 15 лет снизилась с 40% до 13%. Но не изменилась ситуация с металлическим марганцем, весь объём его потребления (свыше 60 тыс. т) покрывается за счёт импортных поставок.

Для снижения зависимости от импортируемых марганцевых руд необходимо решить ряд вопросов в части научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных:

- с обогащением бедных марганцевых руд;
- с разработкой эффективных технологий выплавки марганцевых ферросплавов из концентратов, получаемых после обогащения марганцевых руд;
- с созданием более совершенных методов дефосфорации марганцевых концентратов.

Специалисты ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина считают, что убыточность планируемых проектов связана с их нацеленностью на получение традиционной многотоннажной товарной продукции (марганцевых ферросплавов), себестоимость которой оказывается дороже, чем при переработке зарубежных богатых концентратов.

Хром. Основной сферой потребления хромовых руд является чёрная металлургия, где их используют для выплавки феррохрома. Феррохром, в свою очередь, является легирующей добавкой при выплавке нержавеющих сталей. Хром обладает высокими антикоррозионными свойствами и в качестве легирующего элемента входит в большое число марок сталей и сплавов. Содержание хрома в сталях в зависимости от назначения и предъявляемых к ним требований изменяется от десятых долей процента до 30-40 %. В настоящее время в России выплавляют феррохром различных марок (300-400 тыс. т), ферросиликохром товарный (\approx 70 тыс. т) и передельный. Ввиду небольших мощностей по производству нержавеющей стали, существенная доля выпускаемого феррохрома поступает на экспорт.

Хромовые ферросплавы в основном потребляются при выплавке нержавеющих сталей. Основными конечными потребителями нержавеющей стали в России, по оценке ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина, являются машиностроительный комплекс (65% от общего объема потребления), нефтехимический комплекс (10%), топливно-энергетический комплекс (9%), строительство (8%) и сельское хозяйство (3%). На прочие отрасли приходится 5% потребления.

Ниобий в виде феррониobia (содержит 50-65% Nb) применяется для производства жаропрочных сталей в авиации, нержавеющих низколегированных сталей в машиностроении, судостроении, трубной промышленности (составляет около 85% мирового потребления, 93% в России). Серьёзной проблемой является практически полная зависимость отечественной чёрной металлургии от импортных поставок феррониobia (в среднем 98,5% от объёма потребления). В некоторых случаях возможна замена ниobia на молибден, tantal, титан, вольфрам и ванадий, но такая замена может приводить к снижению служебных характеристик стали и/или увеличению издержек.

Титан. В титановой подотрасли в мировой практике основным является производство пигментного диоксида титана, на который расходуется около 90 – 95 % исходного титанового сырья и лишь около 5 % идет на производство металлического титана и соединений. Диоксид титана используется в лакокрасочной промышленности, производстве пластмасс, бумаги, искусственных волокон, резины, катализаторов. Авиационной промышленностью потребляется около 65 % metallurgического титана и изделий из него. В России сложилась ситуация, при которой обладая большими запасами титана, она закрывает значительную (97,4%) часть своих потребностей за счет импортного сырья.

Длительно действующим источником титанового сырья в России является Ловозёрское месторождение, при переработке руды которого получают лопаритовый концентрат. Из этого концентрата на Соликамском магниевом заводе ежегодно получают около 2,2 тыс. т губчатого титана. Металлический титан производился ВМПО-АВИСМА, в основном, из зарубежного сырья (Украина, Индия, Австралия и другие страны).

Одним из вариантов развития титановой отрасли является создание металлургического производства на базе энергетических мощностей Кольской АЭС. Реализация совместной плавки лейкоксенового и перовскит-титаномагнетитового концентратов позволит снизить радиоактивность концентрата до безопасного уровня; получить продукцию глубокой степени переработки (в т.ч. проката нержавеющей стали, пигментного диоксида титана, изделий из титана, оксиды и соли редких металлов); снизить риски импортозависимости сырья; уменьшить на 7,5% себестоимость пигментного диоксида титана, в связи с отсутствием в лейкоксеновых концентратах железа и, соответственно, уменьшением расхода серной кислоты на вскрытие.

Скандий – металл XXI века. На основе многочисленных исследований в целях обеспечения рыночной доступности соединений скандия специалистами Североуральской марганцевой компании предложена новая концепция создания высокоэффективного горно-металлургического производства, основанная на вовлечении в комплексную переработку красного шлама Богословского алюминиевого завода, содержащего до 150 г/т Sc. Предлагаемая к внедрению технология предусматривает полностью безотходный способ переработки промышленных отходов. По предварительным расчетам, вовлечение в переработку 1 млн. т красного шлама (годовой сброс 1 глиноземного завода) позволит получить (с учетом использования имеющегося в избыточном количестве невостребованного местного сырья в виде отвалов горного производства): более 4 500 000 т цемента, в том числе высокомарочного; более 400 000 т железного концентрата; более 100 000 т бентонита; до 150 000 т глауконита; до 5 000 тонн концентрата редкоземельных элементов; более 30 000 тонн титан-циркониевого концентрата; до 30 000 т природных пигментов; до 120 тонн скандия (в пересчете на оксид); вернуть в производство около 200 000 т боксита «байеровского» и «спекательного» сортов.

Л.И. Леонтьев затронул также проблему оборудования. В отношении многих видов металлургического оборудования для черной и цветной металлургии в Российской Федерации наблюдается нехватка производственных компетенций и дефицит в части поставок оборудования в целях поддержания текущих мощностей и будущей модернизации производства.

В связи с этим необходимо:

- разработать программу развития российского инжиниринга и металлургического машиностроения;
- развивать деятельность инжиниринговых структур в таких организациях с государственным участием, как федеральное государственное унитарное предприятие "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина" и акционерное общество "Тяжпромэкспорт";
- расширять производственные мощности российских машиностроительных предприятий отрасли тяжелого машиностроения, производящих металлургическое оборудование.

В заключение отмечено, что, принимая во внимание решения руководства страны по активизации программы импортозамещения, развитию новых технологий и созданию новых материалов, необходимо в кратчайшие сроки приступить к организации промышленного производства высокоазотистых сталей, которые значительно превосходят существующие конвенциональные аналоги по прочности, вязкости, немагнитности, хладостойкости, коррозионной стойкости, радиационной стойкости и по ряду других параметров.

Согласно резолютивной части Протокола Минпромторга РФ № 63-ЕВ/17 от 25 ноября 2021 года, оказать ООО «Пульсар», владеющему технологиями промышленного

производства высокоазотистых сталей, максимальное содействие в реализации проекта на одном из профильных металлургических предприятий РФ, ориентированном на производство специальных сталей, используемых в ВПК, энергетике, в том числе ядерной, машиностроении, в нефте и газодобывающей отраслях.



Дискуссия и обсуждение

С выступлениями, вопросами и замечаниями, предложениями в проект решения выступали академики РАН С.М. Алдошин, Н.С. Бортников, М.П. Егоров, С.Н. Калмыков, Н.З. Ляхов, Н.П. Похilenко; чл.-корреспондент РАН Д.П. Гладкочуб, проф. В.Н. Санин, В.В. Летуновский, А.В. Темнов, Р.А. Черноба, И.Н. Чугуева, А.Б. Шевченко.

Решение Сессии:

Заслушав и обсудив доклады:

1. Обеспеченность стратегическими видами минерального сырья в части редких и редкоземельных металлов. Марков Иван Александрович, директор Департамента металлургии и материалов Минпромторга РФ.
2. Проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России. Академик РАН Николай Стефанович Бортников, член-корреспондент РАН Александр Владимирович Волков, д.г.-м.н. Александр Валерианович Лаломов, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН).
3. Потенциал горнодобывающего комплекса России по обеспечению рудами критических металлов. Академик РАН Валерий Николаевич Захаров, Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН).
4. Инновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава. Академик РАН Валентин Алексеевич Чантuria, Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН), член-корреспондент РАН Татьяна Николаевна Александрова СПбГУ.
5. Сырьевая база лития и редкоземельных металлов Сибири: состояние, преимущества и проблемы освоения. Академик РАН Николай Петрович Похilenко, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН).
6. Технология селективного извлечения редких металлов. Академик РАН Аслан Юсупович Цивадзе, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН).

7. Технология извлечения лития из отечественного гидроминерального сырья. Член-корреспондент РАН Александр Петрович Немудрый, Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН (ИХТМ СО РАН).
8. Проблемы извлечения стратегических металлов из минерального сырья. Член-корреспондент РАН Иван Гундарович Тананаев, Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (ИХТРЭМС) — ФИЦ «Кольский научный центр РАН».
9. Проблемы и перспективы разработки технологий извлечения редкоземельных элементов из труднообогатимых руд Чуктуконского и Томторского месторождений Восточной Сибири. Д.х.н. Владимир Иванович Кузьмин, д.х.н., профессор РАН Оксана Павловна Таран, Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХТТ СО РАН) — ФИЦ КНЦ СО РАН.
10. Развитие металлургического комплекса России. Проблемы сырья, возможные пути решения. Академик РАН Леопольд Игоревич Леонтьев, Аппарат Президиума РАН,

а также выступления членов Советов, и приглашенных

Сессия вынесла следующее решение:

Недра России содержат значительный ресурсный потенциал критических высокотехнологичных металлов (ВТМ), в том числе и для зеленых технологий, позволяющий создать новые или значительно увеличить объемы производства на действующих предприятиях. Разработаны для ряда месторождений эффективные процессы обогащения и глубокой переработки. Препятствуют реализации имеющегося потенциала: отсутствие достоверной информации о количестве попутных критических металлов в рудах и концентратах из многих отечественных месторождений; технологические вопросы извлечения и низкая рентабельность производства.

В связи с тем, что большинство ВТМ добывается попутно, то рост их производства зависит от увеличения производства основных металлов. Кроме того, поставки большинства попутных высокотехнологичных металлов, извлекаемых из комплексных руд, потенциально могут быть увеличены в результате специальных мероприятий, стимулирующих их производство, включая:

- рост цен на попутный металл, оправдывающий увеличение его производства на обогатительных фабриках за счет расширения существующих и строительства новых мощностей;
- производство попутных металлов на рудниках, где они в настоящее время не добываются, но потенциально могут быть извлечены;
- улучшение технологии металлургического восстановления попутных металлов;
- переоценка запасов комплексных месторождений, на которых в настоящее время не производятся рассматриваемые металлы;
- извлечение попутных металлов из остаточных отходов добычи и переработки комплексных руд;
- улучшение показателей переработки попутных металлов.

Наиболее быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов минерального сырья (Zr, Ti, Nb, Ta, Re и др.) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений.

Основная проблема, сдерживающая развитие минерально-сырьевой базы высокотехнологичных металлов в России – отсутствие большого внутреннего спроса. Большая часть производимых высокотехнологичных металлов в РФ экспортируется, причем экспорт значительно превышает внутренний спрос.

Для обеспечения технологического суверенитета России необходимо обеспечение государственными заказами горно-металлургических компаний, производящих стратегическую минерально-сырьевую продукцию.

Помимо работ по добыче сырья, обогащения и переработки с получением требуемого количества и качества стратегических минерально-сырьевых продуктов необходимо предусмотреть стадии ОКР, направленные на разработку отечественных материалов и оборудования, создания модельных и опытно-промышленных установок.

Для достижения технологического суверенитета в области получения солей лития, в том числе для производства литий-ионных аккумуляторов, в рамках Стратегии социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 года необходимо создание Инжинирингового центра разработки технологий извлечения лития из горнорудного и гидроминерального литиеносного отечественного сырья на базе Института химии твердого тела и механохимии СО РАН. Это позволит ввести в оборот отечественное сырье – как горнорудное (пегматиты), так и гидроминеральное (природные рассолы, пластовые воды), в том числе с высокой концентрацией солей кальция и магния, для которых отсутствуют технологии выделения лития. Задачей центра будет являться создание пилотных линий и опытно-промышленных установок по отработке технологий извлечения лития из сырья перспективных месторождений, получению катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов и сборке тестовых образцов ЛИА, а также производство литийсодержащих лекарственных препаратов по стандартам GMP на существующем участке ИХТМ СО РАН. В ИХТМ СО РАН на профильной кафедре и аспирантуре Института будет организована подготовка специалистов по получению лития и его соединений, а также разработка литий-ионных аккумуляторов.

Для эффективного освоения богатейших ресурсов природного минерального сырья Восточной Сибири и их рационального использования необходимо создание в г. Красноярске инжинирингового центра по химии, химической технологии на базе Института химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН и Сибирского федерального университета. Задачи, которые предстоит решать инжиниринговому центру – это максимальная интенсификация процесса трансфера новых технологий в производство, повышение эффективности выполнения прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ, организация промышленных испытаний, а также авторский надзор проектов в направлениях разработки передовых технологий извлечения стратегических металлов, в том числе, редкоземельных металлов и лития из природного минерального сырья.

В связи с ожидаемыми стремительным ростом потребления лития в мире, острым ростом дефицита лития на мировом рынке начиная с 2024 года, представляется перспективным диверсифицировать варианты производства лития. Для этого необходимо включить в разрабатываемую программу освоение наиболее перспективных с экономической точки зрения рудных и техногенных месторождений этого металла с учетом того, что Россия обладает большими запасами лития, позволяющими в случае внедрения новых технологических решений, полностью обеспечить не только внутренние потребности, но и успешно выступать на площадках мирового рынка.

Наиболее подготовленным к получению конечного продукта – востребованных промышленностью и рынком соединений лития является вариант переработки Li-содержащих рассолов Ангаро-Ленского бассейна. Дальнейшее снижение себестоимости лития возможно достигнуть при комплексной переработке природных рассолов с выделением попутных ценных компонентов. Перспективным представляется извлечение брома, содержание которого в некоторых подземных хлоридных рассолах Якутии и Красноярского края достигает 3-5 г/л. Электрохимическая технология извлечения брома, разработанная в Институте химии и химических технологий СО РАН, успешно прошла испытания на пилотной установке производительностью 50 л/час на пластовой воде Сухотунгусского месторождения Красноярского края.

Результаты научных исследований последних лет показывают, что экстракционная технология извлечения лития на основе новых селективных экстрагентов обеспечивает достижение приемлемых технико-экономических и экологических показателей,

позволяющих достичь значительного снижения себестоимости, энергетических затрат и экологической опасности по сравнению с используемыми в настоящее время классическими технологиями. Следует подчеркнуть, что в России в настоящее время основы таких технологий разработаны на базе применения отечественных селективных экстрагентов. Следовательно, необходимо ускоренными темпами проводить внедрение отечественных результатов, которые превышают достигнутый мировой уровень.

В плане редких (РМ) и редкоземельных металлов (РЗМ) целесообразна организация освоения уникального по всем параметрам Томторского месторождения, поскольку это позволит на сотни лет отказаться от импорта РЗМ и вывести Россию, как крупного игрока, на мировой рынок наравне с ведущими странами БРИКС - Китаем (РЗМ) и Бразилией (ниобий); благоприятно отразится на экономике Якутии и всей Арктики, что вписывается в Федеральные программы освоения Арктики и возрождения Севморпути.

Для обеспечения активного участия профильных академических институтов и научных центров Минобрнауки РФ (геологических, горных, химико-технологических и экономических) в работах по развитию и освоению минерально-сырьевой базы лития, редких и редкоземельных металлов необходимо создание межведомственной федеральной научно-технической программы с участием в ней Минприроды РФ, Минпромторга РФ и Минобрнауки РФ. С этой целью следует в максимально короткие сроки привлечь и обеспечить (материально и инструментально) сохранившихся высококвалифицированных специалистов из профильных институтов (геологов, химиков-технологов, экономистов) для создания реально реализуемой программы работ по данному направлению.

Таким образом, развитие минерально-сырьевой базы РЗМ и РМ в стране – это комплексная задача, требующая решения вопросов в области разработки и производства оборудования, материалов, программного обеспечения, разработки перспективных технологий на всех стадиях технологического цикла с учетом специфики применения конечных изделий в различных отраслях – атомной, транспортной, космической, в военно-промышленном комплексе. Ключом в обеспечении потребности промышленности в РМ и РЗМ является совершенствование технологии и оборудования, создание устойчивого рентабельного производства.

На основании вышесказанного, а также на основании заслушанных докладов и их обсуждения Сессия считает необходимым сформировать *рабочую группу* для решения следующих задач:

6. Совместно с Департаментом металлургии и материалов Министерства промышленности и торговли Российской Федерации принять участие в организации работы в рамках поручений президента по большому консолидированному заказу.
7. Принять участие во внесении необходимых корректиров в Стратегию развития минерально-сырьевой базы до 2035 г.
8. Принять участие в завершении работы по формированию предложений по разработке и реализации федеральной научно-технической программы, направленной на обеспечение комплексного сопровождения геологоразведочных работ, добычу и промышленную переработку твердых полезных ископаемых, а также ускоренное замещение импортных технологий и оборудования российскими аналогами, с формированием технологические цепочки по 17 видам дефицитного сырья. Цепочки определяют, какие конкретные технологии, какие потенциальные исполнители, то есть разработчики технологий, могут реализовать эти проекты. Общая схема технологических цепочек:



9. Принять участие в формируемый Минприроды РФ технологический центр «Разработки технологий минерального сырья». Центр будет операторным проектным офисом по реализации федеральной научно-технической программы. Как будет осуществляться финансирование этих работ, дополнительно, либо виде перераспределения концентрации под конкретные технологические проекты полного цикла, будет решаться при подготовке при рассмотрении на Совете по науке и образованию при Президенте РФ.
10. Совместно с ГК «Росатом», Минприроды РФ, Минпромторгом РФ разработать вариант мегапроекта «Оборудование и материалы для добычи критически важных материалов», в рамках которого должны быть решены основные проблемные вопросы в области развития минерально-сырьевой базы.
11. Сформулировать проблемные вопросы для их решения через новые/скорректированные тематики госзаданий для Институтов, подведомственных Минобрнауки РФ и находящихся под научно-методическим руководством Российской академии наук.

14 декабря 2023 года состоялось заседание Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, посвященное **рассмотрению и согласованию изменений, внесенных в дорожные карты развития высокотехнологичных направлений «Развитие водородной энергетики» и «Технологии новых материалов и веществ» на период до 2030 года.**

Повестка:

1. Вступительное слово председателя Совета академика С.М. Алдошина
2. Рассмотрение и согласование изменений, внесенных в дорожную карту «Развитие водородной энергетики».

Основной докладчик - Олег Валерьевич Жданеев, советник генерального директора – руководитель центра компетенций технологического развития ТЭК, Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России.

Содокладчик – член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам член-корреспондент РАН Антон Львович Максимов

3. Рассмотрение и согласование изменений, внесенных в дорожную карту «Технологии новых материалов и веществ».

Основной докладчик – член Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам Алексей Владимирович Дуб, профессор, д.т.н., первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации» ГК "Росатом"

Содокладчик – член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам член-корреспондент РАН Александр Никифорович Озерин (поднаправление «Полимерные композиционные материалы»)

Содокладчик – член-корреспондент РАН Иван Гундарович Тананаев, Отделение наук о земле РАН, заместитель генерального директора ФИЦ Кольский научный центр РАН - директор ИХТРЭМС КНЦ РАН (поднаправление «РЗМ»)

Содокладчик – Ученый секретарь Научного совета РАН по материалам и наноматериалам джн Эльмира Рашатовна Бадамшина (поднаправление «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»)

На открытии заседания председатель Научного совета РАН академик Сергей Михайлович Алдошин рассказал о возрастающей экспертной роли Советов РАН, в том числе, в проведении экспертизы и мониторинге дорожных карт по развитию отдельных высокотехнологичных направлений. Далее С.М. Алдошин сообщил о запросе, поступившем в Российскую академию наук из Правительства РФ, Минпромторга РФ и Минэнерго РФ, в котором с целью актуализации «дорожных карт» развития высокотехнологичных направлений «Технологии новых материалов и веществ» и «Развитие водородной энергетики» на период до 2030 года высказана просьба рассмотреть внесенные в них изменения и в случае отсутствия замечаний согласовать дорожные карты.

Об изменениях, внесенных в дорожную карту «Развитие водородной энергетики», доложили Олег Валерьевич Жданеев, советник генерального директора – руководитель центра компетенций технологического развития ТЭК, Российское энергетическое агентство (РЭА) Минэнерго России и член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам член-корреспондент РАН Антон Львович Максимов.



По дорожной карте «Технологии новых материалов и веществ» выступили четыре эксперта. Член Бюро Научного совета РАН по материалам и наноматериалам Алексей Владимирович Дуб, профессор, д.т.н., первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации» ГК "Росатом" в своем подробном докладе рассказал о дорожной карте в целом и о внесенных в нее изменениях (*приложение 24*).



Член Научного совета РАН по материалам и наноматериалам член-корреспондент РАН Александр Никифорович Озерин осветил изменения по поднаправлению «Полимерные композиционные материалы», член-корреспондент РАН Иван Гундарович Тананаев из Отделение наук о земле РАН, заместитель генерального директора ФИЦ Кольский научный центр РАН - директор ИХТРЭМС КНЦ РАН – по поднаправлению «Редкоземельные материалы», Ученый секретарь Научного совета РАН по материалам и наноматериалам джн Эльмира Рашатовна Бадамшина – по поднаправлению «Перспективные материалы и цифровое материаловедение».



В обсуждении и дискуссии приняли участие академики С.М. Алдошин, Е.Н. Каблов, Н.З. Ляхов, член-корреспондент РАН В.К. Иванов.

На основании проведенных экспертиз, а также на основании выступлений и дискуссии Научный Совет РАН по материалам и наноматериалам отметил, что, к сожалению, дорожные карты «Технологии новых материалов и веществ» и «Развитие водородной энергетики» изначально не прошли экспертизу и согласование с Российской академией наук.

Научный Совет РАН по материалам и наноматериалам *решил*:

1. Согласовать на данном этапе актуализированные Дорожные карты «Технологии новых материалов и веществ» и «Развитие водородной энергетики» *с условием*, что проекты в составе карт должны проходить экспертизу в Российской академии наук как точки зрения их содержания, так и в плане исполнителей проекта.
2. Сформировать перечень замечаний и предложений и выслать их в Департамент металлургии и материалов Минпромторга России.

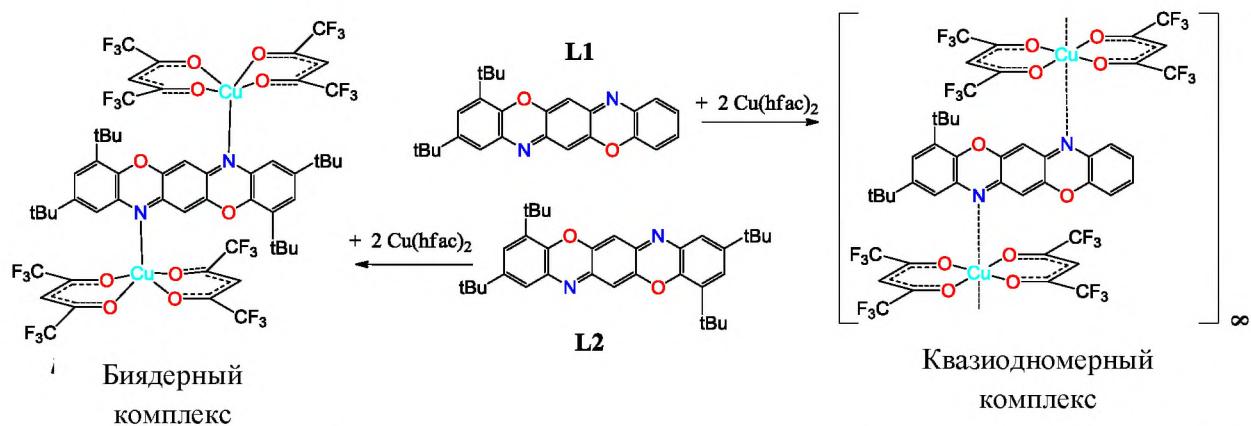
**Результаты, полученные в 2023 г. по направлению работы
Научного совета РАН по материалам и наноматериалам**

МЕДЛЕННАЯ МАГНИТНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В КОМПЛЕКСАХ МЕДИ(II) С ПЕНТАГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМ ТРИФЕНОДИОКСАЗИНОВЫМИ ЛИГАНДАМИ

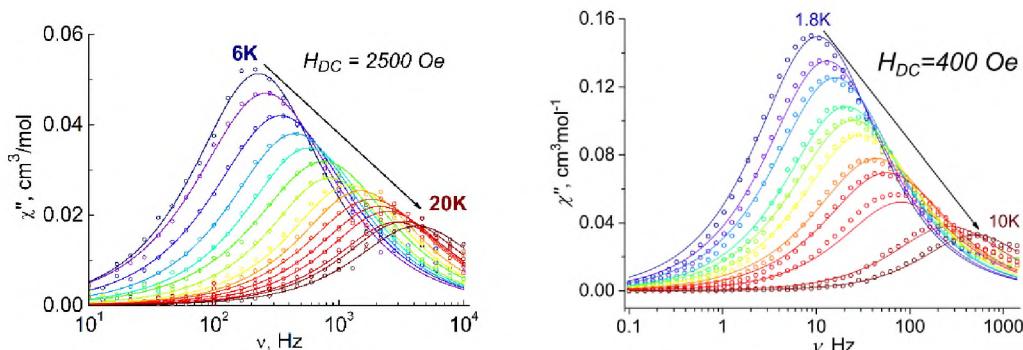
Д.В. Корчагин, Е.П. Ивахненко, О.П. Демидов, П.А. Князев, Н.Н. Ефимов,
Р.Б. Моргунов, А.Г. Стариakov, А.В. Палий, В.И. Минкин, С.М. Алдошин

*ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН,
Южный федеральный университет,
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН*

В настоящей работе получены два новых комплекса на основе бис(гексафторацетилацетоната) Cu(II) с трифенодиоксазиновыми лигандами разного строения (квазиодномерный и биядерный), детально исследовано влияние различных молекулярных и кристаллических структур полученных комплексов на статические и динамические магнитные свойства. В зависимости от заместителей в трифенодиоксазиновых лигандах в одних и тех же условиях в реакции с бисгексафторацетилацетонатом меди(II) образуются либо биядерные комплексы, либо комплексы с квазиодномерной структурой, в которых отсутствует координационная связь Cu-N.



Показано, что оба комплекса с трифенодиоксазиновыми лигандами на основе Cu(II) ионов с $S = 1/2$ демонстрируют индуцированную полем медленную магнитную релаксацию в отсутствие расщепления в нулевом магнитном поле. Установлено, что квазиодномерная структура обеспечивает условия для наблюдения медленной магнитной релаксации при значениях приложенного постоянного магнитного поля, которое намного меньше характерного значения для других ранее изученных 3d-металлокомплексов с $S = 1/2$.



Рассматриваемые комплексы представляют собой новые примеры довольно редкого семейства магнитоактивных систем со спином $S = 1/2$, стабильных в нормальных условиях и демонстрирующих медленную магнитную релаксацию, потенциал которой

может использоваться в молекулярных спиновых устройствах или в качестве молекулярных кубитов.

Работа проводилась в консорциуме с ЮФУ и ИОНХ РАН в рамках крупного проекта Министерства науки и высшего образования РФ «Фундаментальные основы спиновых технологий и направленного конструирования «умных» полифункциональных материалов для спинtronики и молекулярной электроники» (руководитель академик РАН С.М. Алдошин), номер соглашения 075-15-2020-779.

1. Korchagin D.V., Ivakhnenko E.P., Demidov O.P., Knyazev P.A., Efimov N.N., Morgunov R.B., Starikov A.G., Palii A.V., Minkin V.I., Aldoshin S.M. Field-assisted slow relaxation of magnetization in Cu(II) complexes with a pentaheterocyclic triphenodioxazine ligands: quasi-one-dimensional versus binuclear case, // New J. Chem. – 2023. – Vol. 47. – P. 21353 - 21360. (Q2) DOI 10.1039/D3NJ04614A

2D ФЕРРИМАГНЕТИЗМ В КВАЗИСВОБОДНОМ ГРАФЕНЕ

А.Г. Рыбкин, А.А. Рыбкина, А.М. Шикин с сотр.

Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)

Управление спиновой структурой в графене, т.е. спиновым расщеплением его электронных состояний и топологически нетривиальной запрещенной зоной в точке Дирака – одна из важнейших проблем материаловедения на сегодняшний день, которую необходимо решить для использования графена в спинтронике, особенно для реализации бездиссипативного транспорта.

Известно, что сильное спин-орбитальное взаимодействие является необходимым условием для наблюдения эффектов, таких как квантовый спиновый эффект Холла, квантовый аномальный эффект Холла (КАЭХ) и др. Вторым фактором, влияющим на спиновую структуру, является обменное взаимодействие в графене. В связи с этим особое внимание привлекают теоретические и экспериментальные исследования возможного магнитного порядка в двумерных углеродных системах, таких как сверхатомный графен, подкрученный двухслойный графен, триангулен, нанографены и др. Экспериментально нереализованная модель Халдейна на основе графеновой решетки с неоднородным распределением магнитного поля на атомном масштабе остается актуальной и привлекательной, поскольку предсказывает КАЭХ в гексагональной двумерной решетке. Немаловажное значение имеет эффект магнитной близости, который представляет собой многообещающий способ реализации обменного расщепления электронных состояний без приложения внешнего магнитного поля, что также может быть использовано для реализации КАЭХ при условии сохранения топологической нетривиальности электронных состояний. Ранее было показано, что контакт графена с антиферромагнитным оксидом может приводить к возникновению КАЭХ или квантового долинного эффекта Холла в зависимости от направления намагниченности.

В работе [1] сообщалось о реализации магнитно-спин-орбитального графена на интерфейсе Au/Co(0001) с петлевыми дислокациями. Результаты теоретических расчетов показали, что индуцированные в графене спин-орбитальное и обменное взаимодействия приводят к асимметрии спинового расщепления в противоположных K и K'точках зоны Бриллюэна графена. Интеркаляция меньшего количества золота под графен позволила перейти от p-допированного графена к n-допированному со смещением точки Дирака из зоны проводимости в валентную зону [2]. Было показано, что синтезированный графен характеризуется ферромагнитным упорядочением на атомах углерода двух подрешеток, обычно называемых A и B подрешетками. С использованием модели сильной связи [2,3] были получены противоположные по знаку кривизны Берри в противоположных K и K'точках, что позволило предложить n-допированный графен для реализации

теоретически предсказанного эффекта Холла с циркулярным дихроизмом. Однако, ранее в расчетах, выполненных методом теории функционала плотности (ТФП), не находилось подтверждение гигантского эффекта Рашибы с величиной спин-орбитального расщепления π состояний вблизи уровня Ферми вплоть до 100 мэВ. Причинами такого несоответствия теоретических и экспериментальных результатов могут быть структурные отличия в синтезированных и модельных системах и дополнительное влияние фононных колебаний на спин-орбитальное взаимодействие в графене. Поэтому были проведены исследования устойчивости ферромагнитного упорядочения на подрешетках графена на Au/Co(0001) интерфейсе по отношению к возможным структурным изменениям в реальной системе: формирование петлевых дислокаций различного размера под графеном и появление дополнительных атомов кобальта и золота вблизи графена [4]. Управление количеством атомов золота над/под графеном может быть использовано для поиска оптимального соотношения между спин-орбитальным и обменным взаимодействиями для наблюдения квантового аномального эффекта Холла.

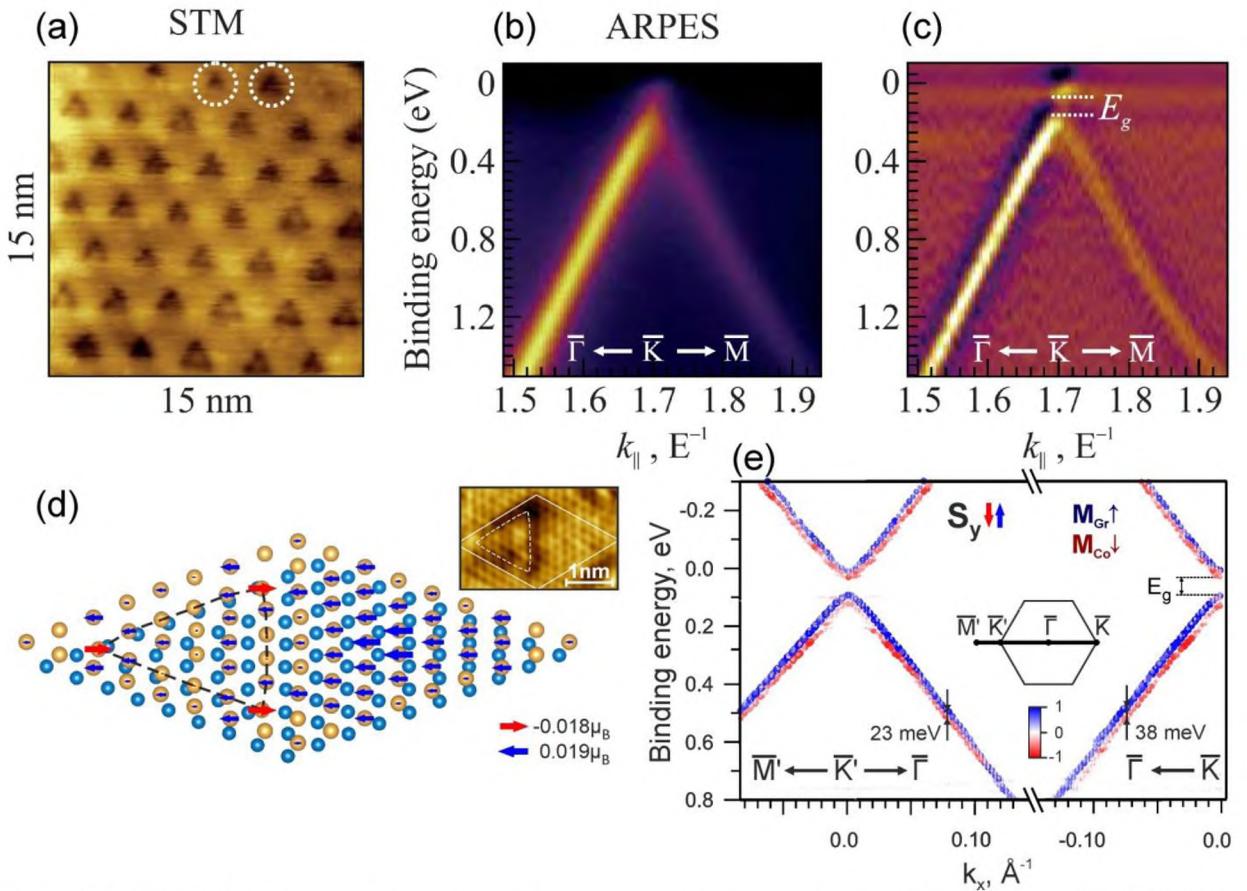


Рис. 1. (а) СТМ-изображение петлевых дислокаций в системе графен/Au/Co; (б) ARPES-карты интенсивности π состояний в направлении ГК поверхности зоны Бриллюэна, в том числе, представленные в виде второй производной по энергии на (с). (д) Элементарная ячейка структуры Au/Co под графеном с петлевой дислокацией. Размеры стрелок пропорциональны значениям атомных магнитных моментов на атомах золота и углерода. На рисунке отмечены стрелки, указывающие максимальные магнитные моменты в двух противоположных направлениях. (е) Соответствующая развернутая (9×9) электронная структура системы графен/Au/Co в окрестности противоположных точек К и K' зоны Бриллюэна. Размер и цвет символов показывают спектральный вес Блоха для S_y компоненты спина.

На сегодняшний день синтезированная система является несомненным кандидатом для дальнейших измерений эффекта Холла циркулярного дихроизма, предсказанного для

топологических изоляторов в 2018 году и для антиферромагнитного суператомного графена в 2021 году. Новый электрооптический эффект генерирует напряжение Холла различной полярности в зависимости от направления циркулярной поляризации. На основе проведенных исследований было разработано устройство на основе графена и его контакта с тяжелым и магнитным металлом для прямого детектирования циркулярно-поляризованного излучения в среднем инфракрасном диапазоне [5]. Изобретение может быть использовано в области оптоэлектроники и валлайtronики и предназначено для применения в оптоэлектронных интегральных схемах на микрометровом масштабе.

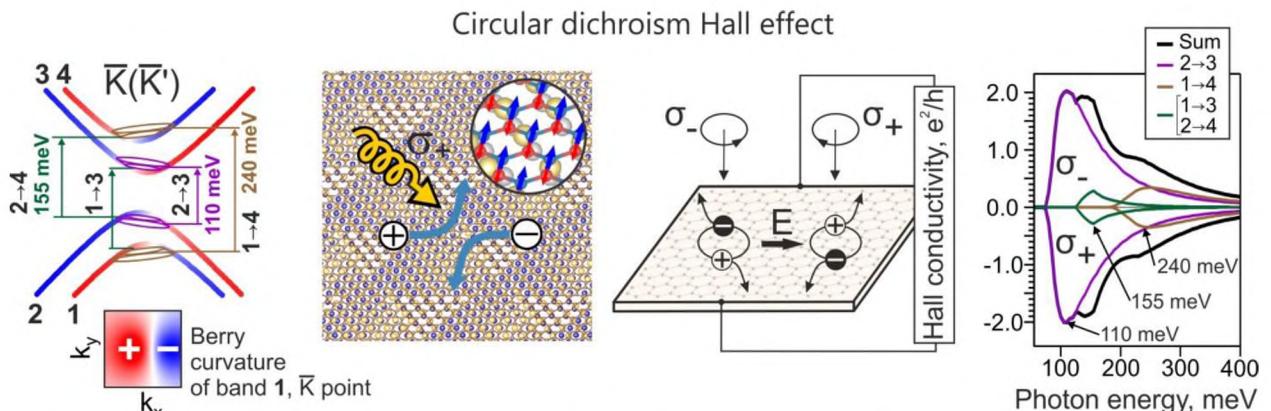


Рис. 2. Схематическое представление эффекта Холла с циркулярным дихроизмом при воздействии излучения с левосторонней (σ^-) и правосторонней (σ^+) поляризацией. Максимумы на кривой проводимости Холла наблюдаются за счет включения новых межзонных переходов при увеличении энергии фотонов.

1. Rybkin A. G., Rybkina A. A., Otrokov M. M., Vilkov O. Yu., Klimovskikh I. I., Petukhov A. E., Filianina M. V., Voroshnin V. Yu., Rusinov I. P., Ernst A., Arnau A., Chulkov E. V., Shikin A. M. Magneto-Spin–Orbit Graphene: Interplay between Exchange and Spin–Orbit Couplings // Nano Letters. – 2018. – Vol. 18 (3). – P. 1564–1574. doi.org/10.1021/acs.nanolett.7b01548
2. Rybkin A.G., Tarasov A.V., Rybkina A.A., Usachov D.Yu., Petukhov A.E., Eryzhenkov A.V., Pudikov D.A., Gogina A., Klimovskikh I.I., Di Santo G., Petaccia L., Varykhakov A., Shikin A.M. Sublattice ferrimagnetism in quasifreestanding graphene // Physical Review Letters. – 2022. – Vol. 129. – P. 226401. doi.org/10.1103/PhysRevLett.129.226401 [Editor's suggestion]
3. Eryzhenkov A.V., Tarasov A.V., Shikin A.M., Rybkin A.G. Non-Trivial Band Topology Criteria for Magneto-Spin–Orbit Graphene // Symmetry. – 2023. – Vol. 15. – N. 2. – P. 516. doi.org/10.3390/sym15020516
4. Рыбкин А. Г., Тарасов А. В., Гогина А. А., Ерыженков А. В., Рыбкина А. А. Устойчивый ферромагнетизм в квазисвободном графене // Письма в ЖЭТФ. – 2023. – Т. 117. – №. 8. – С. 625–630. [Editor's choice]
5. Патент RU № 2805784 "Инфракрасный детектор циркулярно-поляризованного излучения на основе графена" Дата выдачи: 24.10.2023 г. Авторы: Рыбкин А.Г., Рыбкина А.А., Тарасов А.В., Ерыженков А.В., Шикин А.М.

Проведенные исследования были широко освещены в СМИ:

1. <https://spbu.ru/news-events/novosti/fiziki-spbgu-vpervye-sozdali-dvumernyy-ferrimagnetizm-v-grafene>
2. <https://nauka.tass.ru/nauka/16500051>
3. <https://rg.ru/2022/12/05/reg-szfo/peterburgskie-fiziki-otkryli-novoe-sostoianie-grafena-dlia-elektroniki-budushchego.html>

Модуляция электронной структуры и магнитных свойств антиферромагнитных топологических изоляторов $Mn_{1-x}Sn_x(Ge)_xBi_2Te_4$ при контролируемой замене атомов Mn на атомы Sb,Ge при вариации их концентрации
А.М. Шикин, А.В. Тарасов, Д.А. Естюнин, Т.П. Естюнина и др.
Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ)

Интерес к исследованию магнитных топологических изоляторов (ТИ) обусловлен возможностью реализации в них квантового аномального эффекта Холла (КАЭХ), который может быть реализован без приложения внешнего магнитного поля, что позволяет использовать их в электронике с низким энергопотреблением и квантовых вычислениях. Среди различных соединений, используемых для исследования взаимодействия магнетизма и топологии, а также для реализации состояния КАЭХ, наиболее перспективным кандидатом стал собственный антиферромагнитный (АФМ) ТИ со стехиометрией $MnBi_2Te_4$. В то же время возможность управления электронными и магнитными свойствами этой системы может обеспечить новые эффективные способы ее применения в устройствах. Одним из подходов к манипулированию свойствами $MnBi_2Te_4$ является частичная замена магнитных атомов в соединении атомами немагнитных элементов, которые неизбежно влияют на взаимодействие магнетизма и топологии зон в системе.

В 2023 году в рамках работ с данными системами проведено комплексное экспериментальное и теоретическое исследование модуляции электронной структуры АФМ ТИ $Mn_{1-x}Sn_x(Ge)_xBi_2Te_4$ при частичной замене атомов магнитного металла (Mn) на атомы немагнитных элементов (Sn, Ge) при изменении их концентрации. Проведен практический синтез объемных магнитно-упорядоченных АФМ ТИ со стехиометрией $Mn_{1-x}Sn_x(Ge)_xBi_2Te_4$, полученных путем постепенного замещения атомов магнитных металлов (Mn) на атомы элементов IV группы (Sn, Ge) с варьированием концентрации примесных атомов Sn, Ge (x) от 0 до 0.9. Методом рентгено-электронной спектроскопии измерены спектры внутренних уровней (и их детальная структура) и определены реальные стехиометрии синтезированных образцов. Проведены экспериментальные исследования электронной структуры ТПС и состояний валентной зоны и зоны проводимости и ее изменений при частичном замещении атомов магнитного металла Mn на атомы немагнитного Sn (Ge) в объемных магнитно-упорядоченных ТИ со стехиометрией $Mn_{1-x}Sn_x(Ge)_xBi_2Te_4$ при вариации концентрации атомов Sn (Ge) методами ФЭС с угловым разрешением и РФЭС. Методом фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением измерены дисперсии топологических поверхностных состояний, а также ближайших состояний валентной зоны и зоны проводимости, и их изменения при увеличении концентрации атомов Sn (Ge) в синтезированных соединениях $Mn_{1-x}Sn_x(Ge)_xBi_2Te_4$. Детально исследованы изменения величины запрещенной зоны в точке Дирака в структуре ТПС при увеличении концентрации атомов Sn (Ge). На Рис 1.a1-a5, в качестве примера, представлены экспериментально измеренные дисперсионные зависимости для состояний на краях валентной зоны и зоны проводимости, показывающие изменения величины объемной запрещенной зоны при увеличении концентрации атомов Sn в соединениях $Mn_{1-x}Sn_xBi_2Te_4$, измеренные при фотовозбуждении гелиевой лампой ($h\nu=21.2\text{эВ}$). Видно постепенное уменьшение величины запрещенной зоны вплоть до нулевых значений при концентрации атомов Sn до 30-50% (по отношению к концентрации атомов Mn) с постепенным переходом к структуре, характерной для Mn-допированного ТИ $SnBi_2Te_4$ при концентрациях атомов Sn 90%. Аналогичные изменения электронной структуры наблюдаются и для АФМ ТИ $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$, где данный переход имеет место при концентрациях атомов Ge 40-60%. На рис. 1.b1-b6, также в качестве примера, представлены результаты теоретических расчетов (методом KKR) изменений соответствующих электронной структуры для АФМ ТИ $Mn_{1-x}Sn_xBi_2Te_4$ при увеличении концентрации атомов Sn в положениях Mn, которые

также показывают уменьшение величины объемной запрещенной зоны в данном соединении с ростом концентрации Sn (до 30%) с переходом в фазу полуметалла с нулевой запрещенной зоной (см. Рис. 1.b7) и обратным ростом величины запрещенной зоны при дальнейшем увеличении концентрации атомов Sn с переходом в фазу Mn-допированного SnBi₂Te₄. Результаты теоретических расчетов хорошо согласуются с экспериментом.

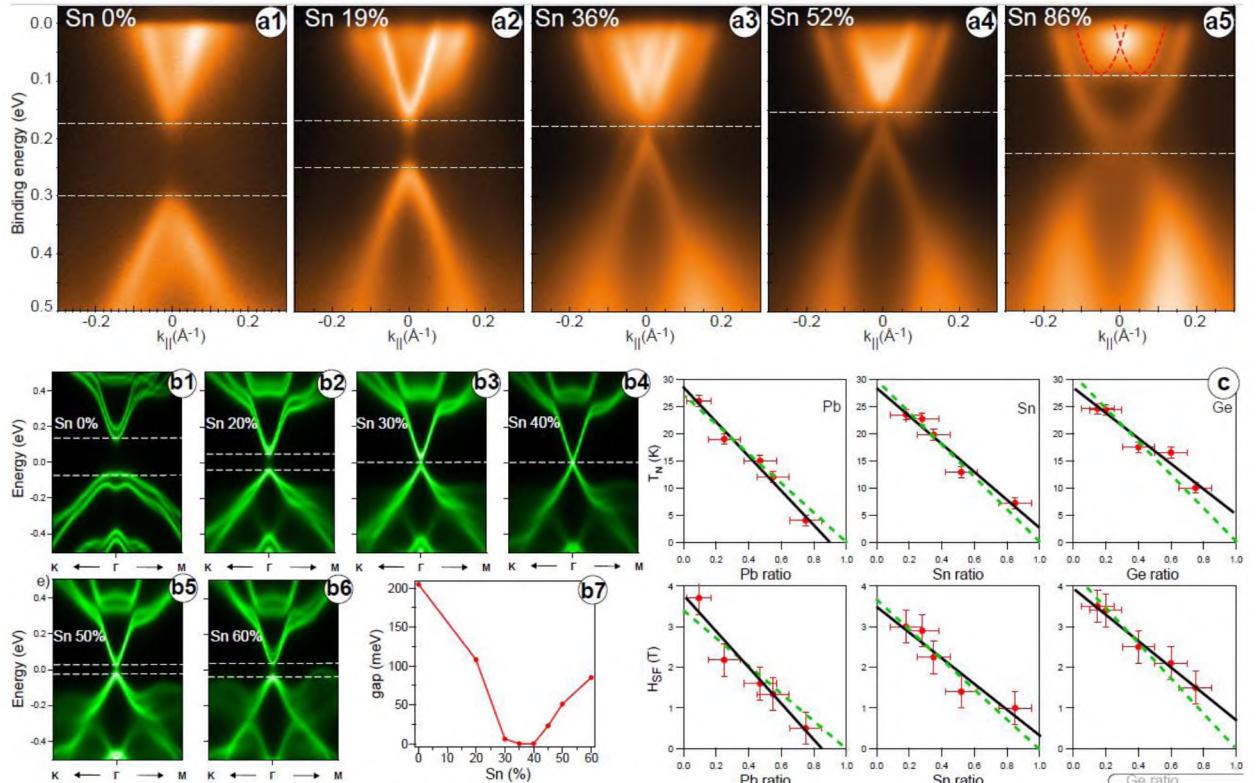


Рис. 1. (a1-a5) Экспериментально измеренные дисперсионные зависимости (методом ФЭСУР) для АФМ ТИ Mn_{1-x}Sn_xBi₂Te₄ для концентраций атомов Sn x = 0, 19%, 38%, 52% и 86% ($h\nu = 21.2$ эВ). (b1-b6) Теоретические расчеты изменений электронной структуры объемных состояний и величины запрещенной зоны в точке Дирака в направлении КГМ для Mn_{1-x}Sn_xBi₂Te₄ при различных концентрациях атомов Sn и (b7) соответствующая общая зависимость величины запрещенной зоны. (c) Экспериментальные значения T_N и H_{SF} в зависимости от уровня замещения Mn атомами Ge, Pb, Sn, измеренные методом (SQUID). Показаны линейные аппроксимации экспериментальных данных. Черные сплошные линии: учитывались только экспериментальные точки; зеленые пунктирные линии: также учитывалось, что параметры T_N и H_{SF} равны 0 при полном замещении Mn.

Одновременно с этим для реализации квантового аномального эффекта Холла в MnBi₂Te₄ требуется приложение внешнего магнитного поля в несколько Тесла. При этом для соединений с замещением атомов магнитных металлов на атомы немагнитных элементов величина требуемого переключающего магнитного поля может быть уменьшена. На рис1.с представлены результаты экспериментальных исследований магнитных свойств систем Mn_{1-x}Sn(Ge,Pb)_xBi₂Te₄ методом сверхпроводящей магнитометрии (SQUID) при увеличении концентраций атомов Ge, Sn Pb, соответственно, показывающих изменение температуры магнитного упорядочения (Температуры Нееля) Нееля и поле спин-флоп перехода(H_{SF}), т.е. уровня магнитного поля требуемого для перемагничивания в этих соединениях. Показано, что для всех уровней замещения для всех соединений сохраняется антиферромагнитный порядок, аналогичный чистому MnBi₂Te₄. При этом наблюдается почти монотонное уменьшение магнитных

характеристик материала, таких как температура Нееля(T_N) и поле спин-флоп перехода (H_{SF}). Однако скорость уменьшения для разных элементов оказалась различной: наибольшая для Pb, затем Sn и Ge. Такое поведение объясняется совместным влиянием на магнитные свойства как магнитного разбавления, так и увеличения параметров кристаллической решетки, наиболее существенным при замещении Mn на Pb ($Mn_{1-x}Pb_x)Bi_2Te_4$. Кроме того, было обнаружено, что линейная аппроксимация экспериментальных значений T_N и H_{SF} предполагает более высокие значения данных параметров для чистого $MnBi_2Te_4$, чем наблюдается экспериментально. Это указывает на наличие их немонотонного изменения при низких концентрациях, а также на возможность усиления магнитных свойств за счет легирования $MnBi_2Te_4$ небольшими количествами немагнитных примесей. В частности было обнаружено, что для образца $(Mn_{1-x}Pb_x)Bi_2Te_4$ с 10%-ным уровнем замещения Mn на Pb действительно наблюдаются повышенные значения магнитных параметров в сравнении с чистым $MnBi_2Te_4$, что также подтверждается локальным анализом с использованием фотоэлектронной спектроскопии с угловым разрешением.

Полученные результаты показывают возможность эффективной контролируемой модификации электронной структуры данного типа АФМ ТИ, которая проявляется в уменьшении объемной запрещенной зоны в точке Дирака, и соответствующей модуляции их магнитных свойств

1. Tarasov A. V., Makarova T. P., Estyunin D. A., Eryzhenkov A. V., Klimovskikh I. I., Golyashov V. A., Kokh K. A., Tereshchenko O. E., Shikin A. M. Topological Phase Transitions Driven by Sn Doping in $(Mn_{1-x}Sn_x)Bi_2Te_4$ // Symmetry. – 2023. – Vol. 15. – N. 2. – P. 469.
2. Estyunina T. P., Shikin A. M., Estyunin D. A., Eryzhenkov A. V., Klimovskikh I. I., Bokai K. A., Golyashov V. A., Kokh K. A., Tereshchenko O. E., Kumar S., Shimada K., Tarasov A. V. Evolution of $Mn_{1-x}Ge_xBi_2Te_4$ electronic structure under variation of Ge content // Nanomaterials. – 2023. – Vol. 13(14). – N. 2151.
3. Estyunin D.A., Rybkina A.A., Kokh K.A., Tereshchenko O.E., Likholetova M.V., Klimovskikh I.I., Shikin A.M. Comparative Study of Magnetic Properties of $(Mn_{1-x}AlV_x)Bi_2Te_4$ AlV = Ge, Pb, Sn // Magnetochemistry. – 2023. – Vol. 9. – N. 9: 210.

МЕХАНИЗМЫ ДЕГРАДАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ ГАЛОГЕНИДОВ СВИНЦА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГАММА-ЛУЧЕЙ И МАТЕРИАЛЫ СО СВЕРХВЫСОКОЙ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТЬЮ К ДОЗАМ >10 МГР

В.В. Озерова, Н.А. Емельянов, Д.П. Кирюхин, П.П. Кущ, Г.В. Шилов, Г.А. Кичигина,

С.М. Алдошин, Л.А. Фролова, П.А. Трошин

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

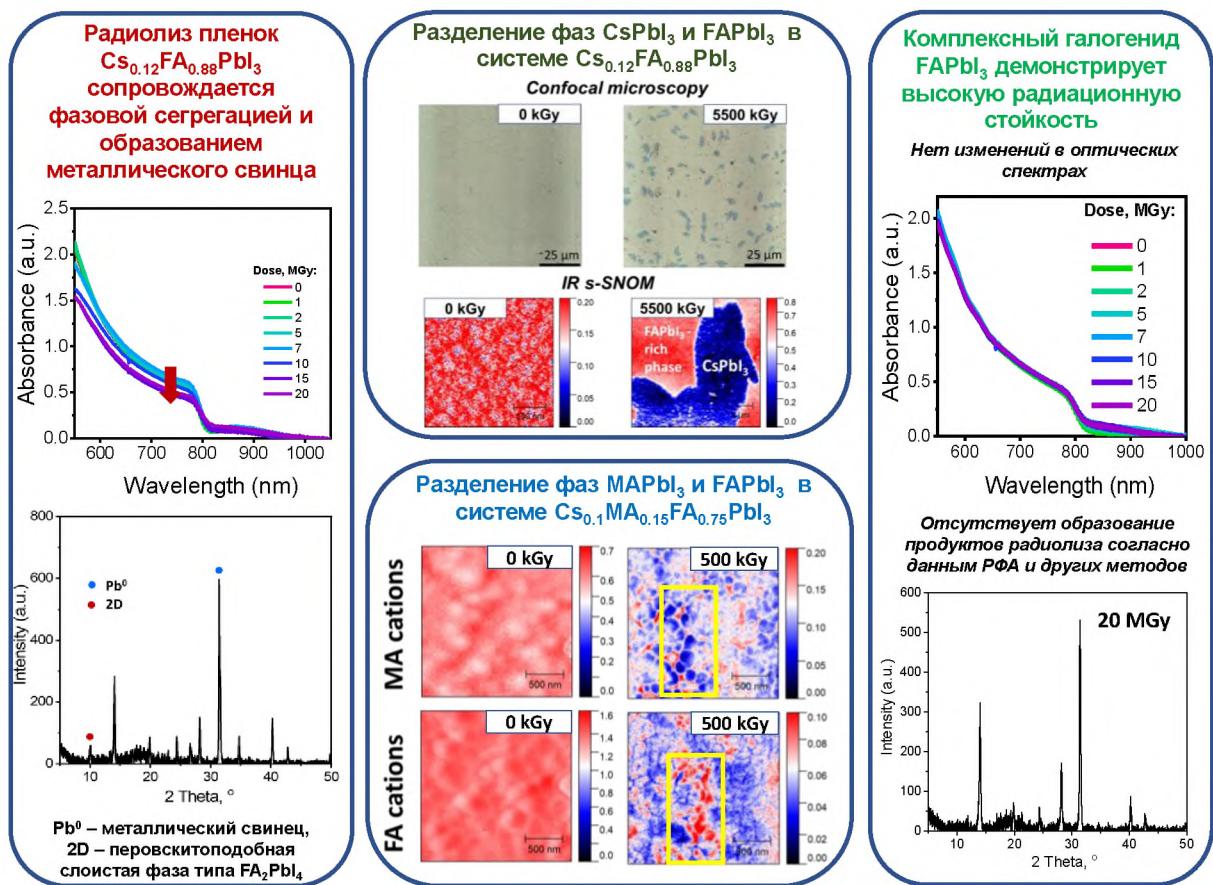
Впервые систематически исследовано поведение комплексных галогенидов свинца с перовскитной структурой в условиях воздействия высоких доз гамма-излучения. Установлены основные механизмы гамма-лучевой деградации материалов, главными из которых являются образование металлического свинца и радиационно-индукционная сегрегация фаз в системах, содержащих несколько одновалентных катионов. Обнаружена чрезвычайно высокая радиационная стойкость $FAPbI_3$, что открывает перспективы для его использования в перовскитных солнечных батареях в космосе и в составе детекторов ионизирующего излучения для медицинской диагностики.

КПД преобразования света в солнечных батареях на основе комплексных галогенидов свинца уже превышает 26%, приближаясь к характеристикам фотоэлементов на основе кристаллического кремния. Кроме того, полупроводники на основе комплексных галогенидов свинца с перовскитной структурой могут быть использованы

для создания химических сенсоров, фотодетекторов и детекторов ионизирующего излучения, в частности рентгеновских и гамма-лучей, что является крайне важной задачей для медицинской диагностики.

Применение перовскитных солнечных батарей в космосе и создание детекторов ионизирующего излучения требуют высокой радиационной стойкости комплексных галогенидов свинца. Среди различных типов ионизирующего излучения гамма-лучи характеризуются наибольшей проникающей способностью, поэтому невозможно защитить от них устройство с помощью стандартной инкапсуляции, которая блокирует воздействие низкоэнергетичных электронов и протонов. Однако в научной литературе практически отсутствуют работы по исследованию стабильности комплексных галогенидов свинца по отношению к гамма-лучам.

В данной работе были систематически изучены четыре модельные системы: MAPbI_3 , FAPbI_3 , $(\text{CsFA})\text{PbI}_3$ и $(\text{CsMAFA})\text{PbI}_3$, где MA^+ и FA^+ — катионы метиламмония и формамидиния, соответственно.



Установлено, что под действием гамма-лучей органические катионы в пленках MAPbI_3 скапливаются на границах зерен, при этом образуется комплексный галогенид со слоистой структурой MA_2PbI_4 . Механизм этого явления был предложен ранее на основании квантово-химических расчетов, указывающих на радиолиз $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ до CH_3I и NH_3 , эти молекулы выделяются на границах зерен, где рекомбинируют, что приводит к реформированию $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ (MAI). Реакция MAI с MAPbI_3 на границах приводит к MA_2PbI_4 . Кроме того, радиолиз MAPbI_3 приводит к образованию металлического свинца и, вероятно, молекулярного йода (по аналогии с фотолизом). Так называемые «многокатионные» перовскиты $(\text{Cs}_{0.12}\text{FA}_{0.88})\text{PbI}_3$ и $(\text{Cs}_{0.1}\text{MA}_{0.15}\text{FA}_{0.75})\text{PbI}_3$ под действием гамма-лучей претерпевают фазовую сегрегацию с образованием отдельных доменов, обогащенных каждым из входящих в их состав одновалентных катионов. Например,

$(\text{Cs}_{0.1}\text{MA}_{0.15}\text{FA}_{0.75})\text{PbI}_3$ разлагается с образованием фаз, близких по составу к MAPbI_3 , CsPbI_3 и FAPbI_3 .

Важным результатом является обнаружение высокой радиационной стойкости комплексного галогенида свинца FAPbI_3 : он является единственным из исследованных материалов, который не подвергается какому-либо разложению даже после воздействия сверхвысоких доз гамма-излучения, достигающих 10-20 МГр. Есть все основания для успешного практического использования данного полупроводникового материала в составе солнечных панелей в космосе и как компонента детекторов ионизирующего излучения в медицинской технике.

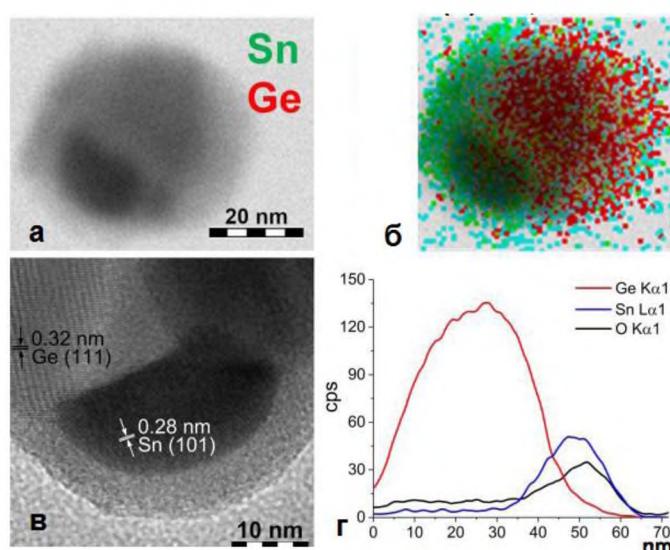
1. Ozerova V.V., Emelianov N.A., Kiryukhin D.P., Kushch P.P., Shilov G.V., Kichigina G.A., Aldoshin S.M., Frolova L.A., Troshin P.A. / Exploring the Limits: Degradation Behavior of Lead Halide Perovskite Films under Exposure to Ultrahigh Doses of γ Rays of Up to 10 MGy. // *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2023, Vol. 14, № 3, P. 743–749, DOI: 10.1021/acs.jpclett.2c03763

МЕТОД ГАЗОФАЗНОГО СИНТЕЗА БИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ ЯНУСА ИЗ ГЕРМАНИЯ-ОЛОВА – ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ФОТОНИКИ БЛИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

В.В. Иванов с сотр.

Институт квантовых технологий МФТИ

Исследователями в Институте квантовых технологий МФТИ предложен метод газофазного синтеза бикристаллических наночастиц из германия-олова, перспективного материала для фотоники ближнего и среднего инфракрасного диапазона, благодаря их регулируемым оптическим свойствам и совместимости с кремниевыми технологиями. Получение таких наночастиц Януса реализовано в процессах импульсного газового разряда между электродами из германия и олова и последующей термической обработки непосредственно в потоке газа при температуре 750 С. Это стало возможным благодаря разработанной модификации импульсного газоразрядного генератора с демпфированием, обеспечивающим один период колебаний.



Элементная карта наночастицы Януса Ge/Sn, красный цвет представляет собой положение Ge и зеленый цвет – Sn (а, б); изображение HRTEM (в) и элементный профиль EDX бикристаллической наночастицы Януса ядро-оболочка, синтезированной при 750°C (г).

Синтезированные новые наночастицы Януса обладают уникальными морфологическими и оптическими свойствами, которые можно использовать для инфракрасных устройств и плазмонных структур. Полученные наночастицы Януса состояли из кристаллов германия и олова с межфазной областью и соотношение атомной доли олова к германию изменялось от 0,08-0,03 до 0,19-0,07. Соотношение атомных долей для в исходном состоянии Ge/Sn находились в диапазоне от 0,14–0,03 до 0,24–0,07. Оптические свойства полученных наночастиц зависели от морфологии, состава и размера нанокристаллов. Установлено, что спектры поглощения отдельной наночастицы Януса представляют собой нисходящую функцию с изменяющимся наклоном при 700 нм.

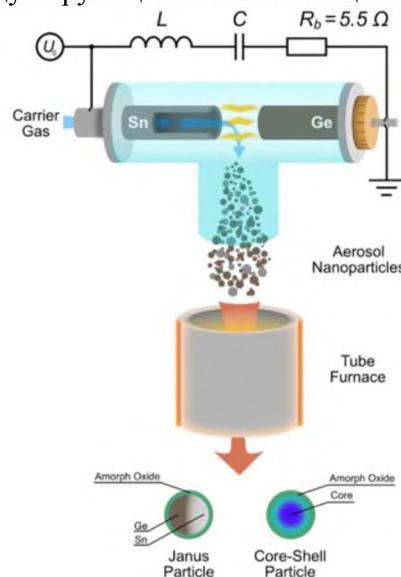


Схема газофазного синтеза наночастиц Ge/Sn в импульсном газовом разряде.

Полученные наночастицы могут быть использованы в качестве источника аэрозольных наночастиц для изготовления пленок и микроструктур с применением технологий сухой аэрозольной печати, а также для изготовления проводящих наночернил для печатной электроники для создания химических и биологических сенсоров, инфракрасных фотодетекторов и диодов.

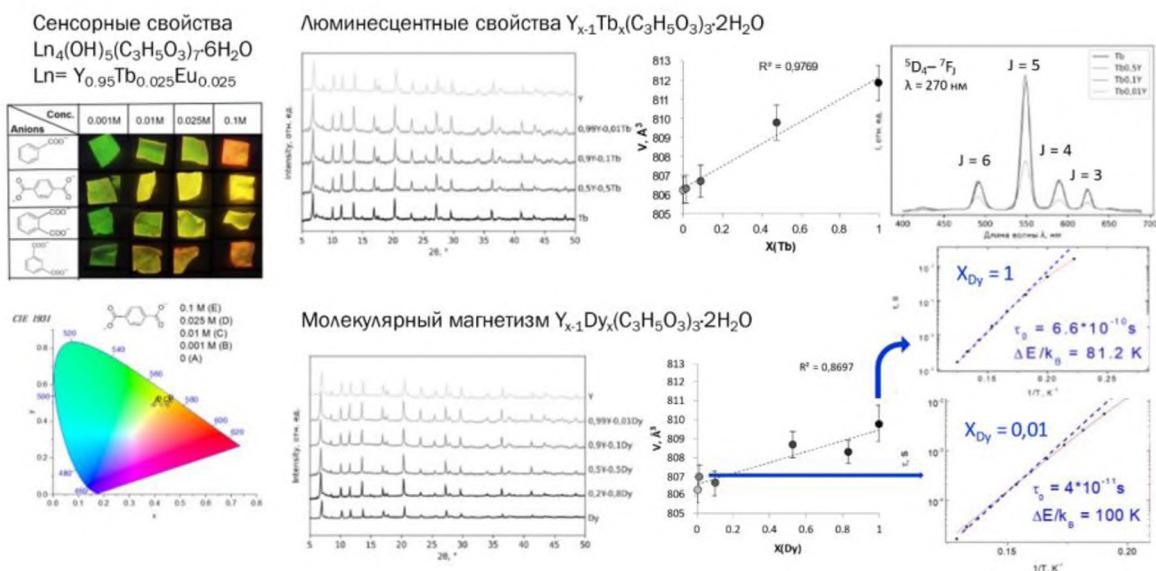
1. Lizunova, A.A.; Borisov, V.I.; Malo, D.; Musaev, A.G.; Kameneva, E.I.; Efimov, A.A.; Volkov, I.A.; Buchnev, A.I.; Shuklov, I.A.; Ivanov, V.V. Spark Discharge Synthesis and Characterization of Ge/Sn Janus Nanoparticles. *Nanomaterials* 2023, 13, 1701.
2. Ivanov, V.; Lizunova, A.; Rodionova, O.; Kostrov, A.; Korniyushin, D.; Aybush, A.; Golodyayeva, A.; Efimov, A.; Nadtochenko, V. Aerosol dry printing for SERS and photoluminescence-active gold nanostructures preparation for detection of traces in dye mixtures. *Nanomaterials* 2022, 12, 448.
3. Efimov, A.A.; Arsenov, P.V.; Borisov, V.I.; Buchnev, A.I.; Lizunova, A.A.; Korniyushin, D.V.; Tikhonov, S.S.; Musaev, A.G.; Urazov, M.N.; Shcherbakov, M.I.; et al. Synthesis of Nanoparticles by Spark Discharge as a Facile and Versatile Technique of Preparing Highly Conductive Pt Nano-Ink for Printed Electronics. *Nanomaterials* 2021, 11, 234.

ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ ЛАКТАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Б.К. Иванов с сотр.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Получены новые материалы на основе твердых растворов молекулярных комплексов – лактатов редкоземельных элементов ($\text{Ln}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ln} = \text{Y}, \text{Tb-Lu}$), а

также нанокристаллических гидроксолактатов РЗЭ ($\text{Ln}_4(\text{OH})_5(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ln} = \text{Y, Eu-Lu}$), обладающие перспективными люминесцентными и магнитными свойствами. Анализ статической и динамической магнитной восприимчивости показал возможность получения на основе лактатов РЗЭ новых молекулярных магнетиков с барьером перемагничивания 81,2 К. На основе новых полученных соединений получены люминесцентные датчики для определения органических кислот, в т.ч. в форме сверхлегких аэрогелей.



Голикова М.В., Япрынцев А.Д., Цзя Ч., Фатюшина Е.В., Баранчиков А.Е., Иванов В.К. Синтез и физико-химические свойства лактатов РЗЭ иттриевой подгруппы $\text{Ln}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Ln} = \text{Y, Tb - Lu}$) // Журнал неорганической химии. – 2023. – Т. 68, № 10. – С. 1422-1432. DOI: 10.31857/S0044457X23601050

НОВЫЙ СЛОИСТЫЙ МАТЕРИАЛ С ФОТОУПРАВЛЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ В.К. Иванов с сотр.

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН

Исследователи из Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН создали слоистый материал, структурой которого можно управлять с помощью света.



Вверху: изомеризация циннамат-аниона;
внизу: схема изменения межслоевого расстояния в слоистом гидроксиде иттрия, содержащем циннамат-анионы, при УФ-облучении

Новый материал состоит из ультратонких положительно заряженных слоев гидроксида иттрия и встроенных между ними анионов – кислотных остатков коричной кислоты (циннамат-анионов). При облучении ультрафиолетовым светом форма и размер анионов изменяются, что приводит к сжатию структуры гибридного соединения.

Разработка новых способов управления структурой кристаллических соединений с использованием внешних воздействий, например, света, будет способствовать созданию новых материалов с управляемыми свойствами, например, контейнеров для направленной доставки и высвобождения биологически активных соединений.

Teplonogova M.A., Yaptynsev A.D., Baranchikov A.E., Ivanov V.K. Cinnamate Intercalated Layered Yttrium Hydroxide: UV Light-Responsive Switchable Material. *Micromachines*. – 2023. – V.14, №9. – a.n. 1791. DOI: 10.3390/mi14091791

ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Буланов А.Д. с сотр.

Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девятых

Аддитивные технологии являются сравнительно новым и быстро развивающимся направлением в изготовлении функциональных элементов фотоники, работающих в ближнем и среднем ИК-диапазонах. Однако выбор материалов, которые могут быть использованы в качестве филаментов для 3D-печати и обладают требуемыми оптическими характеристиками, ограничен. Халькогенидные стекла, один из самых перспективных ИК-материалов для изготовления металлиз, сенсорных элементов, фотонных кристаллов с возможностью использования для этих целей аддитивных технологий. Методами 3D-печати из халькогенидных стекол, уже получают заготовки для микроструктурированных оптических волокон, объемные оптические компоненты, сенсорные элементы для эманесцентной спектроскопии и др.

Экструзионная обработка является ключевым элементом технологии 3D-печати. Глубокое понимание технологических аспектов экструзионного процесса с учетом взаимодействия конструкционных материалов с халькогенидными стеклами при температурах экструзии позволит заложить теоретические основы для создания оборудования и методик изготовления функциональных элементов фотоники с применением аддитивных технологий.

В рамках выполнения государственного задания «Особо чистые халькогенидные стекла и световоды на их основе для новых функциональных устройств волоконной и нелинейной оптики среднего ИК-диапазона» исследованы смачивание и работа адгезии расплавов стекол системы Ge-Sb-Se к нержавеющей стали различных марок с обычной и азотированной поверхностью, титану и сплавам на основе карбида вольфрама. На основе полученных данных о взаимодействии конструкционных материалов с расплавом халькогенидного стекла спроектирован и собран экспериментальный стенд по экструзии волокон из халькогенидных стекол. Проведено гидродинамическое моделирование процесса экструзии волокна из расплава халькогенидных стекол системы Ge-Sb-Se с использованием геометрии экспериментального стенда и температурного режима получения волокон (Рис.1).

Сформулированы рекомендации по оптимизации конструкции фильтры и температурного профиля нагревательного элемента экструзионной установки.

Разработана методика экструзии оптических волокон из халькогенидных стекол систем Ge-Sb-Se, Ge-Te с добавлением йодида серебра. Световоды на основе стекол этих систем используются в изготовлении сенсорных элементов для эманесцентной

спектроскопии среднего ИК-диапазона, в том числе с использованием технологий 3D-печати.

По результатам проведенной работы опубликованы и направлены в печать три статьи в международные рецензируемые журналы первого и второго квартилей. Получен один патент на изобретение.

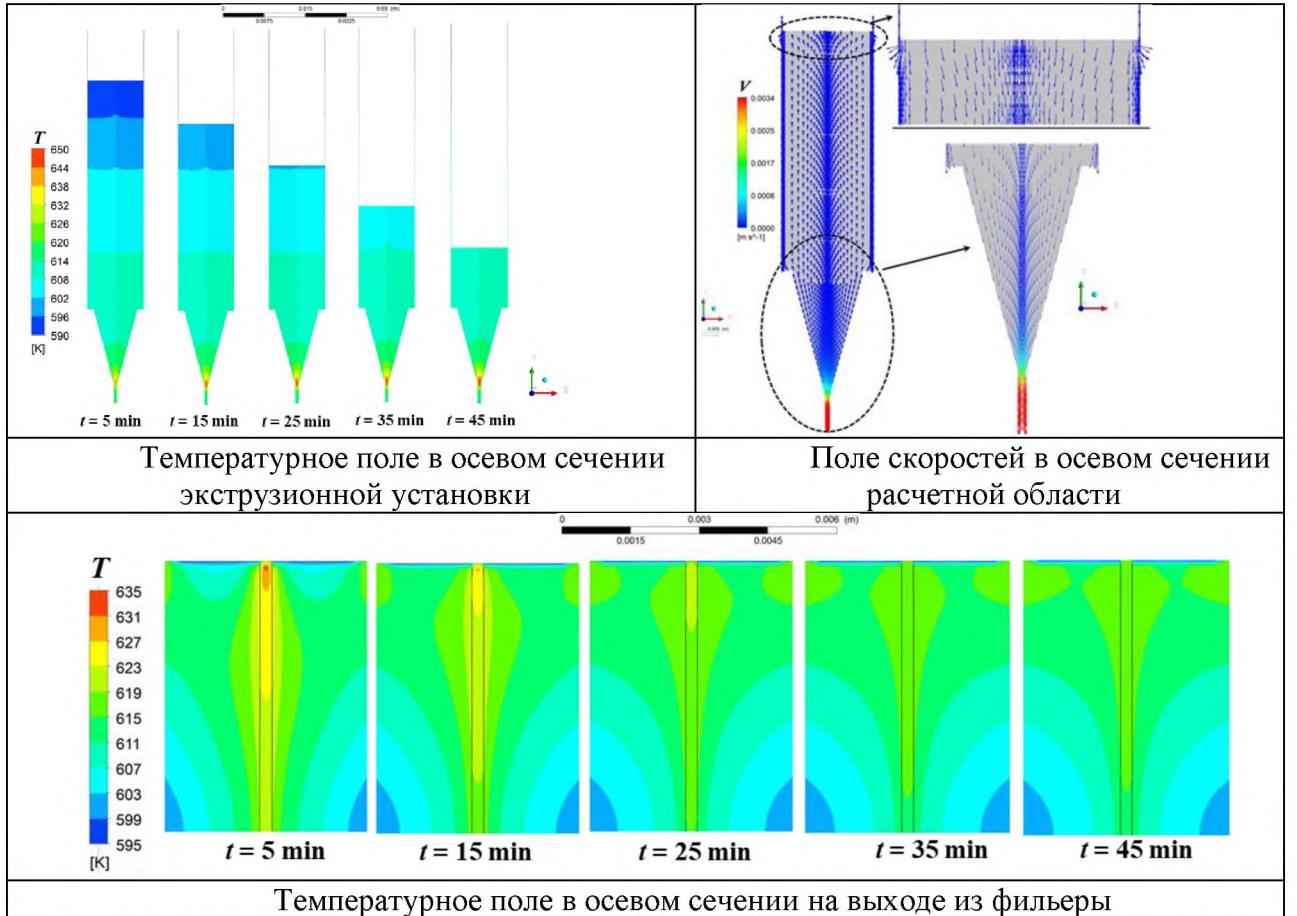


Рисунок 1. Гидродинамическое моделирование процесса экструзии волокна из сплава халькогенидных стекол системы Ge-Sb-Se

1. L.A. Ketkova, M.V. Sukhanov, A.P. Velmuzhov, Investigation of phase separation as a source of optical losses in IR glasses for fiber optics, Journal of Non-Crystalline Solids, 607 (2023) 122218, doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2023.122218

2. Патент РФ № 2807334, Способ получения особо чистых теллуридных стекол, Вельмужов А. П., Тюрина Е. А., Суханов М. В., приоритет от 13.07.2023

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ NI-AL-CR-W-MO-TA МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ НАПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ МЕТАЛЛ

В.И. Лысак, И.В. Зорин, С.А. Фастов

Волгоградский государственный технический университет

Исследована эволюция структуры сплавов, полученных при наплавке с поперечным перемещением дуги с частотой f по поверхности расплава сварочной ванны. Установлено, что наиболее структурно чувствительной фазой являются участки сосредоточения никель-алюминиевой эвтектики, скопления частиц которой в зависимости от условий теплоотвода вблизи фронта кристаллизации формируются в участки слоистой текстуры. Наибольшая стойкость

наплавленного металла к образованию трещин термической усталости обеспечивается при формировании в его структуре (при $f \geq 2,8$ Гц) близкого к оптимальному соотношения относительно вязкого легированного железом и другими элементами γ -твердого раствора и никель-алюминиевого мартенсита, состав которого соответствует Ni_2Al -фазе.

Экспериментально доказано, что приданье дуге поперечных перемещений по поверхности сварочной ванны позволяет изменять термические условия формирования структуры сплава на основе легированного алюминида никеля. Малая частота колебаний электрода ($f = 1,3$ Гц) обуславливает формирование структуры, в которой скопление частиц γ' - Ni_3Al -фазы пластинчатой и остроугольной формы (рис. 1 *a*, *г*) трансформируются в участки слоистой структуры (рис. 1 *б*, *д*), что способствует повышению стойкости сплава к образованию трещин термической усталости по сравнению со сплавом, наплавленным без колебаний электрода.

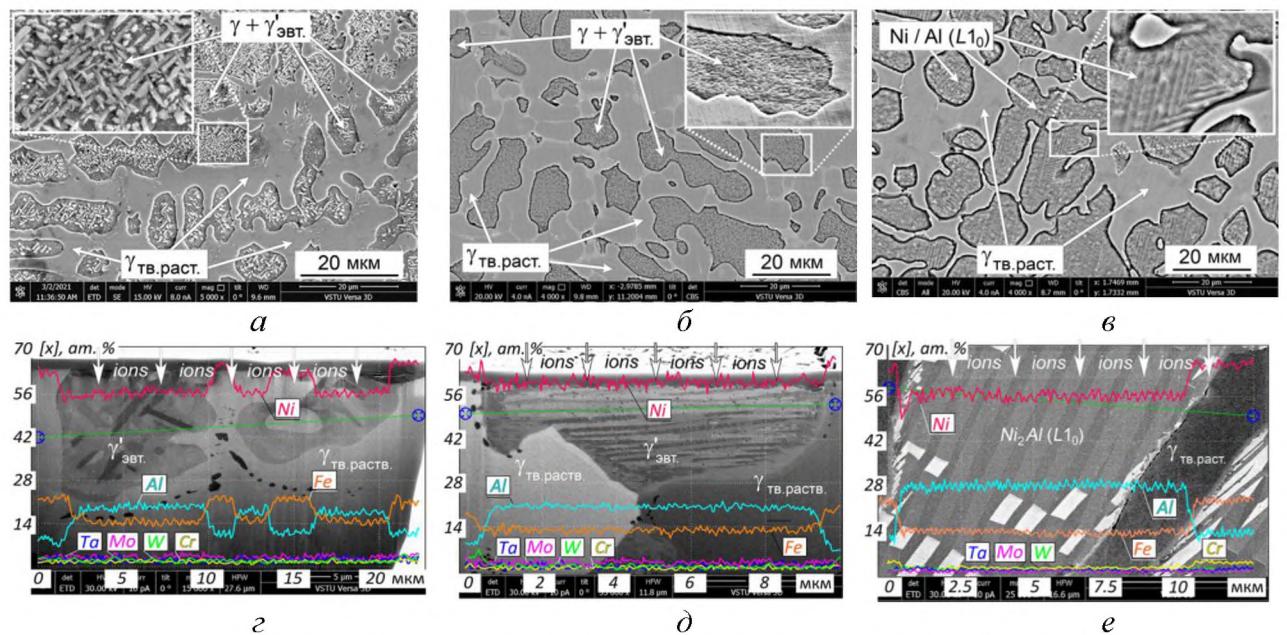


Рис. 1. Структуры сплавов, наплавленных без колебаний электрода (*а*, *г*) и с перемещениями дуги по поверхности сварочной ванны с частотой $f = 1,3$ Гц и $2,8$ Гц (*б*, *в*, *д*, *г*); *г*, *д*, *е* – строение и элементный анализ участков сосредоточения эвтектики после ионного «травления»

Показано (рис. 1 *в*, *е*), что достижение наилучшей стойкости к образованию термоусталостных трещин обусловлено созданием при наплавке (с частотой $2,8$ Гц) термических условий, способствующих замедленному охлаждению никель-алюминиевого

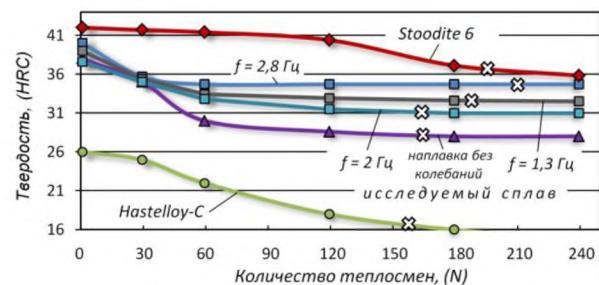


Рис. 2. Зависимость твердости исследуемых сплавов от количества теплосмен

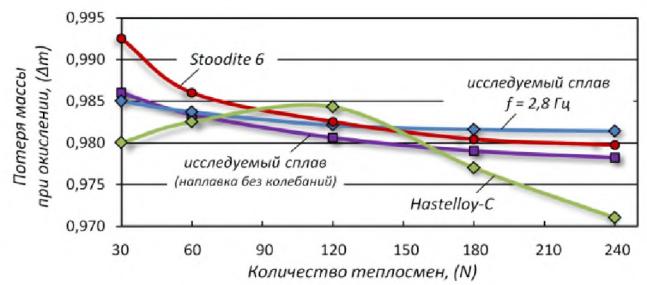


Рис. 3. Зависимость стойкости наплавленного металла к окислительному износу от количества теплосмен

сплава и формированию сбалансированной структуры, состоящей из высоколегированного (до 18 масс.%) железом и другими элементами γ -твердого раствора и никель-алюминиевого мартенсита. Состав такого мартенсита соответствует метастабильной Ni_2Al -фазе, а его повторные нагревы не приводят к охрупчиванию структуры.

Изменение структуры исследуемого металла под влиянием поперечных перемещений дуги оказало влияние на его твердость, которая в зависимости от частоты колебаний варьируется в диапазоне 27–35 HRC. Показательно, что после ~ 50 теплосмен (рис. 2) твердость сплава, наплавленного с $f = 2,8$ Гц, перестает зависеть от последующего термического циклирования и сохраняется неизменной, что может быть связано с общей высокой термической стабильностью структуры рассматриваемого сплава. Проанализировано изменение сопутствующего термоусталостным испытаниям окислительного изнашивания (оцениваемого потерей массы) при температуре нагрева металла 1100 °C, которое показало (рис. 3) преимущества исследуемого сплава над промышленными сплавами на основе никеля и кобальта.

И.В. Зорин, В.И. Лысак, В.О. Харламов, С.А. Фастов. Трансформация структуры сплава на основе алюминида никеля в процессе наплавки колеблющимся электродом термостойкого покрытия // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2023. - Т. 17, № 4. - С. 59-70.

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Ti-FE С ПОВЫШЕННОЙ ВОДОРОДНОЙ ЕМКОСТЬЮ ПУТЕМ ВЗРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ И РЕАКЦИОННОГО СПЕКАНИЯ В МЕЖКРИТИЧЕСКОМ ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

В.И. Лысак, С.В. Кузьмин, А.В. Крохалев, В.О. Харламов, Д.Р. Черников

Волгоградский государственный технический университет

Разработан процесс получения материалов системы Ti-Fe с повышенным содержанием титана путем взрывного прессования смесей порошков Ti и Fe с последующим реакционным спеканием при 1000°C. Показана возможность повышения их водородной емкости за счет увеличения доли метастабильной фазы Ti_2Fe в структуре материалов. Показано, что обратимость процесса гидрирования при этом сохраняется до содержаний Ti, равных 66,9 ат.%, что соответствует 58,7 ат.% Ti_2Fe .

Проведен статистический анализ имеющихся в мировой литературе данных по водородной емкости материалов системы Ti-Fe (в том числе легированных), в структуре которых присутствуют $TiFe$, β - Ti и Ti_2Fe . Подтверждено действие закона аддитивности в отношении водородной емкости многофазных материалов и определена растворимость водорода при первичном гидрировании в каждой из фаз: $TiFe$ – 101,6 кг/м³, Ti_2Fe – 183,0 кг/м³, β - Ti – 199,5 кг/м³. Показано, что насыщение водородом β - Ti является необратимым, а обратимость наводораживания Ti_2Fe реализуется при отсутствии в ее составе таких легирующих элементов, как Zr, который в настоящее время как раз и применяется для повышения доли этой фазы в структуре материалов системы Ti-Fe.

Для получения материалов, содержащих повышенное количество нелигированного интерметаллида Ti_2Fe использовали порошковые смеси Fe и Ti с содержанием последнего, превышающим стехиометрическое для интерметаллида $TiFe$ (50 ат.%). Синтез осуществляли путем взрывного прессования и последующего спекания при 1100°C (т.е. при температуре выше температуры начала контактного плавления, которая в соответствии с диаграммой состояния Ti-Fe равна 1085 °C). В результате спекания исходные компоненты прессовок прореагировали друг с другом и спеченные материалы имели структуру, состоящую из интерметаллидов $TiFe$ и Ti_2Fe с незначительным

количеством β -Ti. При этом сопутствующие примеси внедрения (O, N и C) оказались связанными в оксикарбонитриды (рис. 1).

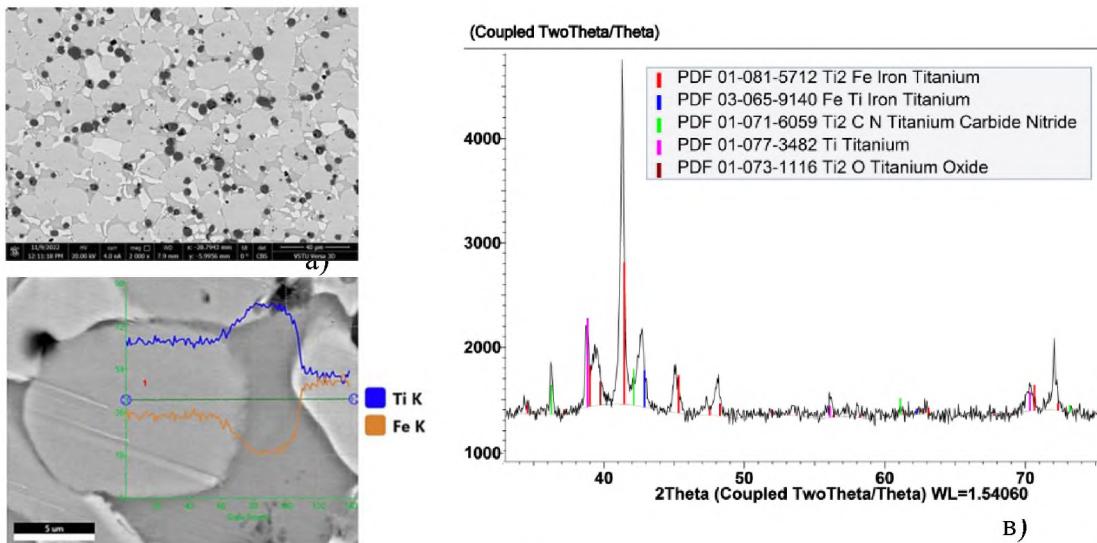


Рис.1. Структура (а), фазовый состав (б) и распределение элементов между фазами (в) в материалах системы Ti-Fe, полученных при помощи взрывного прессования и реакционного спекания.

Увеличение содержания Ti с 57,3 до 67,95 ат.% позволило увеличить содержание Ti_2Fe с 17,4 до 73,3 об.% при содержании β -Ti, не превышающем 13,5 об.%, что в соответствии с данными по растворимости водорода в фазах означает возможность повышения водородной емкости материала с 108,0 до 171,2 кг/м³ (рис. 2, а).

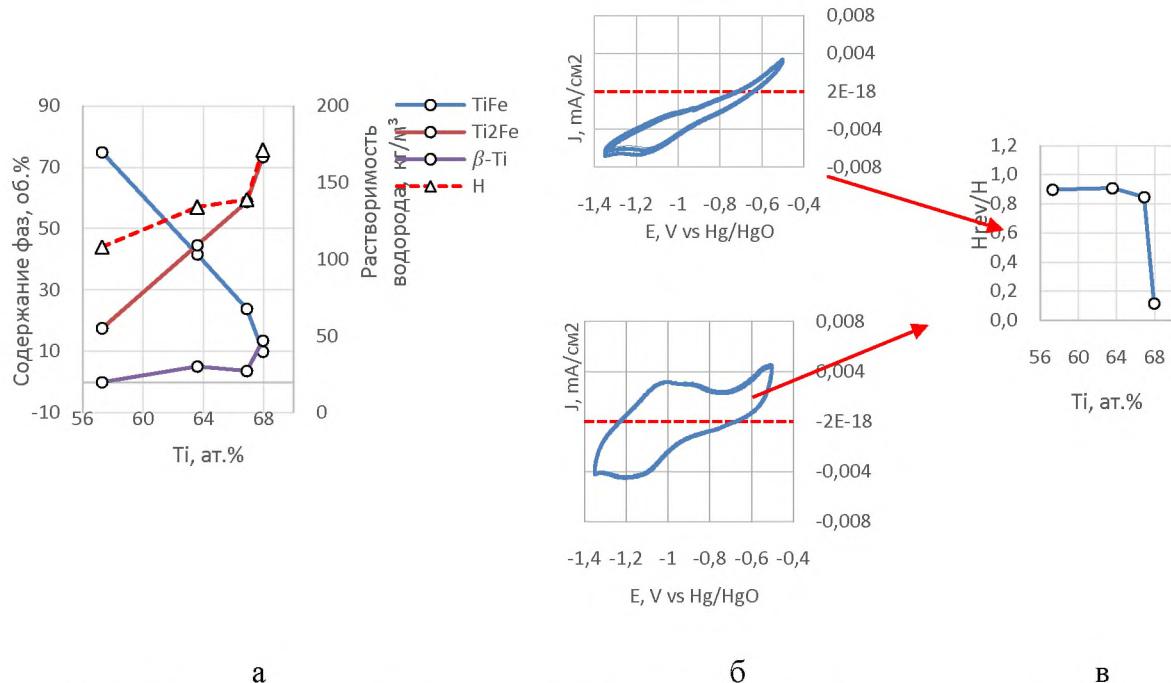


Рис. 2. Содержание фаз и растворимость водорода при первичном гидрировании (а); вид вольтамперограмм (б) и отношение обратимой водородной емкости к емкости первичного гидрирования (в) материалов системы Ti-Fe, полученных при помощи взрывного прессования и реакционного спекания.

Обратимость процесса наводораживания проверялась в условиях электрохимического гидрирования в 9М водном растворе KOH при температуре 20°C и

атмосферном давлении путем снятия вольтамперограмм при циклическом изменении потенциала (рис. 2, б). Было установлено, что до содержаний Ti, равных 66,9 ат.%, полученные материалы сохраняют способность к обратимому гидрированию (рис. 2, в). Водородная емкость при 66,9 ат.% Ti составляет $138,9 \text{ кг}/\text{м}^3$, что заметно выше емкости TiFe и LaNi₅, не превышающей $120 \text{ кг}/\text{м}^3$.

1. Д.Р. Черников, А.В. Крохалев, В.О. Харламов, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак и др. Способ получения материала для абсорбции и десорбции водорода. Патент 2793680 Российской Федерации, МПК B22F 3/08; ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - 2023.
2. А.В. Крохалев, Д.Р. Черников, В.О. Харламов, Д.В. Россеин, Ю.А. Мукменев, С.В. Кузьмин, В.И. Лысак. Влияние фазового состава материалов системы титан-железо на водородную емкость. // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. - Волгоград, 2023. - № 11 (282). - С. 58-66. - DOI: 10.35211/1990-5297-2023-11-282-58-66.

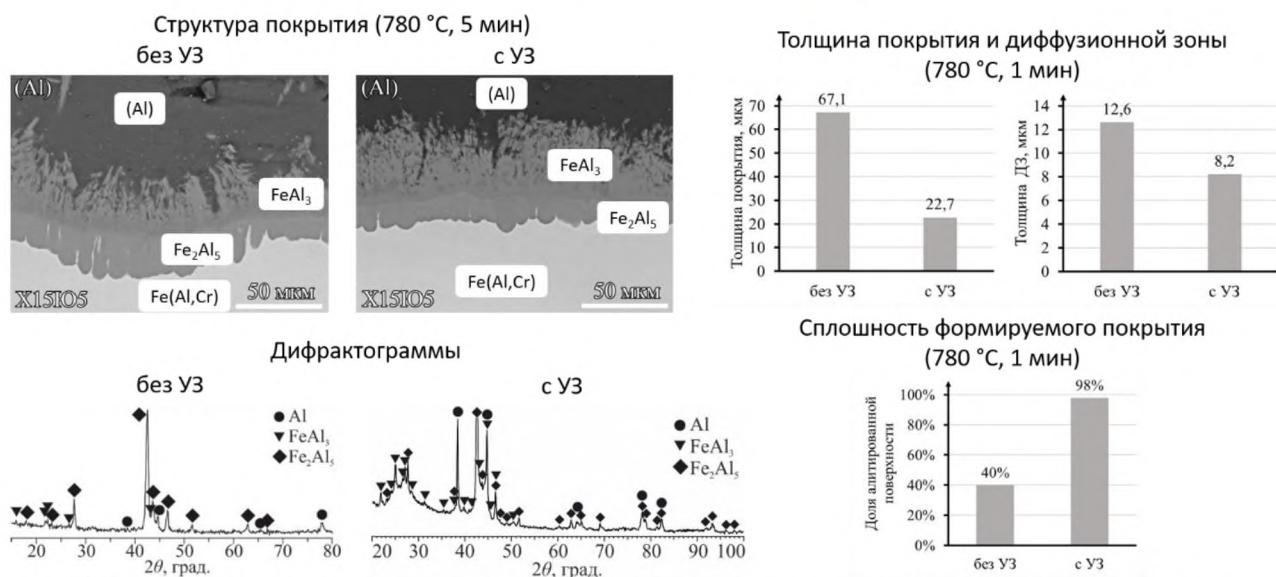
ПОЛУЧЕНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ FE-CR-AL МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОГО АЛИТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В.Г. Шморгун, А.И. Богданов, В.П. Кулевич, (В.И. Лысак)
Волгоградский государственный технический университет

Предложен метод алитирования сплавов системы Fe-Cr-Al погружением в расплав с воздействием ультразвука. Исследованы структура, фазовый и химический состав покрытий. Показано, что воздействие ультразвука, не оказывая влияния на фазовый состав диффузационной зоны, приводит к снижению доли интерметаллида Fe_2Al_5 и способствует получению сплошных покрытий при минимальном времени воздействия расплава на подложку.

Впервые исследованы закономерности формирования структуры диффузационных покрытий на сплаве системы Fe-Cr-Al в процессе жидкостного алитирования с воздействием на расплав ультразвука.

Влияние ультразвукового воздействия на формирование покрытия при жидкостном алитировании



Экспериментально доказано, что при алитировании погружением воздействие ультразвука частотой 20 кГц и амплитудой 5-7 мкм на расплав, не оказывая влияния на фазовый состав диффузационной зоны, формирующейся в результате протекания

гетерогенных реакций на границе алюминия со сплавами системы Fe-Cr-Al, приводит к уменьшению ее толщины на 30-50 %.

Показано, что ультразвуковое воздействие за счет удаления оксидных пленок и загрязнений поверхности, а также повышения смачиваемости алитируемого материала расплавом алюминия, приводит к увеличению сплошности получаемых покрытий на режимах, при которых формирование сплошного покрытия без воздействия ультразвука затруднено. Последнее, при прочих равных условиях, позволяет минимизировать время воздействия высоких температур расплава на подложку и содержание интерметаллида Fe_2Al_5 в составе диффузионной зоны.

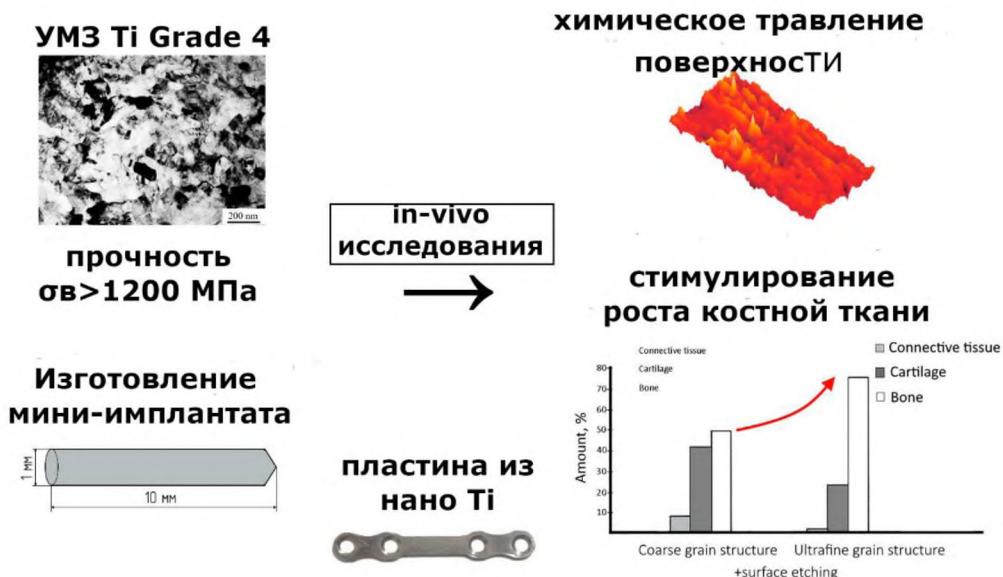
1. В.Г. Шморгун, А.И. Богданов, В.П. Кулевич. Формирование структуры диффузионных покрытий на поверхности Fe-Cr-Al сплава при жидкостном алитировании с ультразвуковым воздействием // Металлург. - 2023. - № 8. - С. 57-62.
2. В.Г. Шморгун, В.П. Кулевич, А.И. Богданов, О.В. Слаутин, Э.Р. Камалов, М.А. Разуваев, Н.В. Терпугов. Формирование границы раздела между сплавами на основе железа и алюминием при металлургическом методе получения металломатричных композитов с ультразвуковым воздействием // Известия ВолгГТУ. Сер. Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. - Волгоград, 2023. - № 6 (277). - С. 16-19. - DOI: 10.35211/1990-5297-2023-6-277-16-19.

НАНОСТРУКТУРНЫЙ ТИТАН С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ИМПЛАНТАТОВ В РЕКОНСТРУКТИВНОЙ ХИРУРГИИ И СТОМАТОЛОГИИ

Р.З. Валиев с соавт.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Выполнены исследования и разработан наноструктурный титан (натитан) с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой для имплантатов в реконструктивной хирургии и стоматологии. Данный материал обладает уникальной прочностью $\sigma_b > 1300$ МПа и усталостной долговечностью, прошел международную апробацию для изготовления имплантатов улучшенной конструкции. Развитие данного производства для изготовления полуфабрикатов в виде прутков и лент различных типоразмеров из наноструктурных металлических биоматериалов (титана и его сплавов, Mg и Zn сплавов) направлено на обеспечение рынка медицинских имплантатов в стране и внесет значительный вклад в импортозамещение.



Разработка новых материалов и создание перспективных имплантатов для стоматологии, ортопедии и челюстно-лицевой хирургии, имеющих повышенную биоактивность, биорасторимость и антибактериальные свойства, направлена на решение целого ряда экономических и социальных задач. Так, малоинвазивность операций по установке миниатюризованных имплантатов с повышенными прочностными свойствами и улучшенной биосовместимостью позволяет сократить срок пребывания в медицинском учреждении, а также уменьшить срок реабилитации, что снижает стоимость лечения и экономическую нагрузку на оплату временной нетрудоспособности пациента. С социальной точки зрения, реализация разработки позволит расширить круг лиц, получающих высокотехнологичную медицинскую помощь в сфере стоматологии и ортопедии за счет снижения стоимости лечения, а улучшенные эксплуатационные характеристики устройств позволяют увеличить среднюю продолжительность жизни населения.

В настоящее время освоено в г. Уфа опытное производство таких полуфабрикатов-прутков на базе малого инновационного предприятия ООО «Наномет». Также готовится соглашение о создании совместного российско-китайского производства с Пекинским университетом в этом направлении.

1. A.A. Matchin, E.V. Nosov, A.A. Stadnikov, G.V. Klevtsov, L.R. Rezyapova, N.A. Sayapina, E.V. Blinova, R.Z. Valiev, In vivo studies of medical implants for maxillofacial surgery produced from nanostructured titanium, ACS Biomaterials Science & Engineering (2023) 9(11):6138-6145
2. E.I. Usmanov, L.R. Rezyapova, R.Z. Valiev, High-strength state and strengthening mechanisms of ultrafine-grained titanium, Physical Mesomechanics Vol. 26 (2023) pp. 483-494
3. R.Z. Valiev, Nanostructural design of superstrong metallic materials by severe plastic deformation processing. Microstructures 2023;3:2023004
4. S. Dangwal, K. Edalati, R.Z. Valiev, T.G. Langdon, Breaks in the Hall-Petch relationship after severe plastic deformation of Magnesium, Aluminum, Copper, and Iron. Crystals Vol. 13 (2023), 413
5. A.K. Hoffman, Y. Zhang, M. Arivu, L. He, K. Sridharan, Y. Wu, R.K. Islamgaliev, R.Z. Valiev, H. Wen, Novel effects of grain size and ion implantation on grain boundary segregation in ion irradiated austenitic steel, Acta Materialia 246 (2023) 118714, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2023.118714>.
6. A.M. Jorge, Jr., V. Roche, D.A.G. Pérez, R.Z. Valiev, Nanostructuring Ti-Alloys by HPT: Phase Transformation, Mechanical and Corrosion Properties, and Bioactivation, Mater. Trans. 64 (2023) pp. 1306-1316

УЛЬТРАВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ КАРБИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ IV И V ГРУППЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.А. Щербаков, М.И. Альмов, А.Н. Грядунов, А.Е. Сычев, И.Е. Семенчук

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

Мержанова РАН

Получены ультравысокотемпературные керамики на основе карбидов переходных металлов IV и V группы периодической системы $TixZr_{1-x}C$ ($x = 0.15; 0.24; 0.49; 0.88; 0.92$) с субмикронной структурой методами механической активации, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и электротеплового взрыва (ЭТВ) под давлением с последующей баротермической обработкой в газостатической камере (рис.1).

Исследовано влияние механической активации на свойства реакционных смесей, содержащих порошки титана, циркония и технического углерода, формирование фазового состава и микроструктуры, а также физико-механические свойства сплавов.

Полученные смешанные сплавы $Ti_xZr_{1-x}C$ характеризуются размером зерен 0,1 мкм, относительной плотностью 99,2%, микротвердостью (HV) 20,9 ГПа и вязкостью разрушения (K1c) 12,53 МПа \times м^{1/2}.

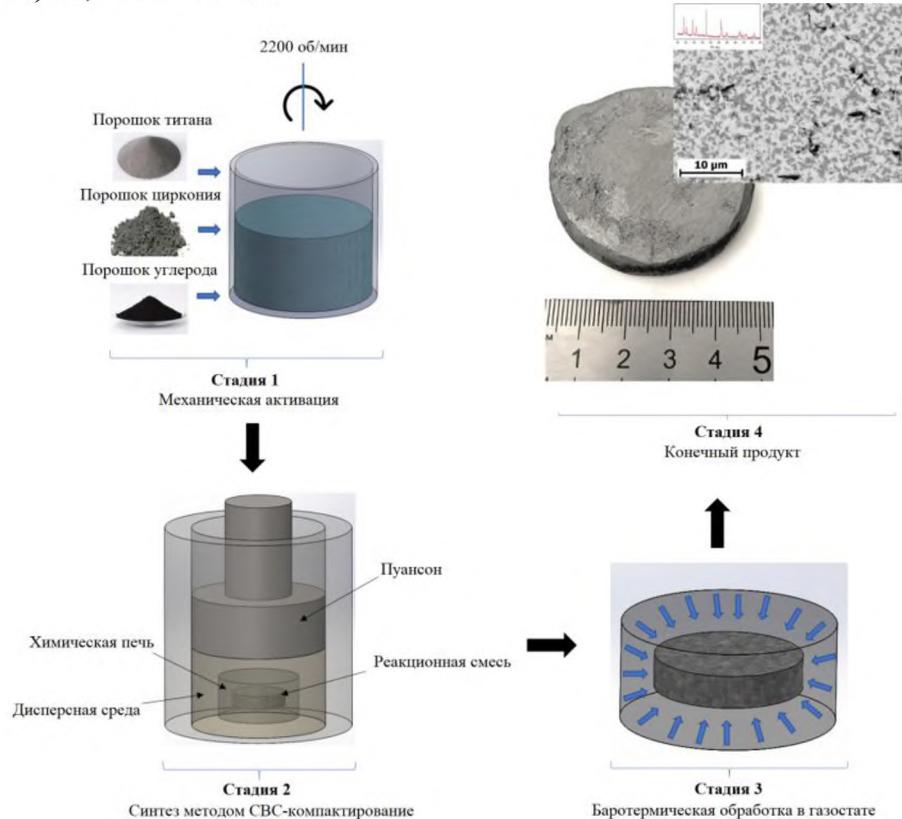


Рис. 1. Процесс получения материала $Ti_xZr_{1-x}C$.

Shcherbakov V.A., Semenchuk I.E., Gryadunov A.N., Nigmatullina G.R., Sytschev A.E., Alymov M.I., Padalko A.G. Barothermic treatment of $Ti_xZr_{1-x}C$ mixed carbides produced by MA-SHS consolidation. *Materialia*. 2023. Vol. 32. No. 101924. P. 1-9. DOI: 10.1016/j.mtla.2023.101924.

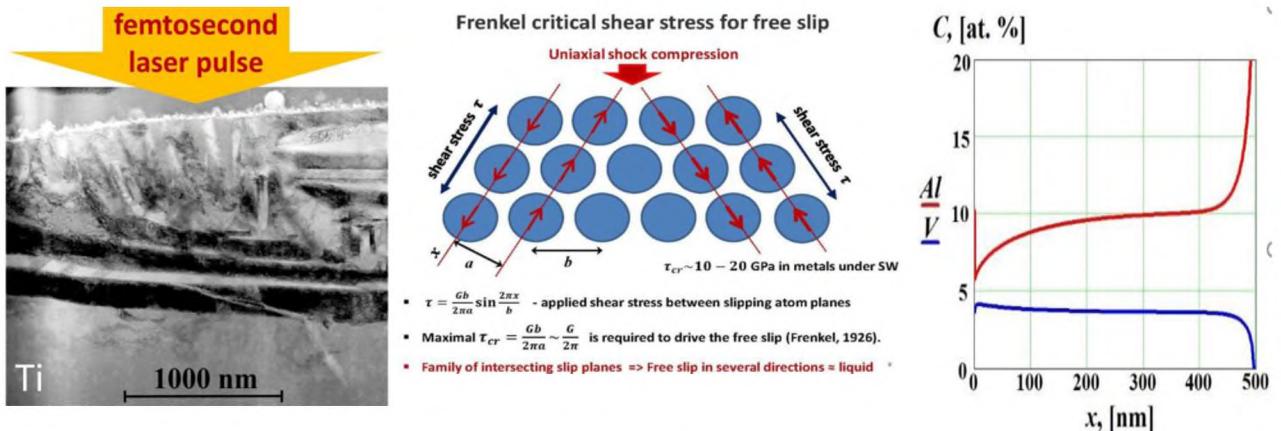
ИНДУЦИРОВАННЫЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ УЛЬТРАКОРОТКОЙ (ФЕМТОСЕКУНДНОЙ) ДЛИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЗМ УДАРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ В СПЛАВАХ Колобов Ю.Р.

ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

На примере титана установлен физический механизм и обоснована модель обнаруженного ранее авторами эффекта «холодного» ударного плавления металлической матрицы, проявляющегося при воздействии лазерными импульсами фемтосекундной длительности с плотностью мощности до 14 Дж/см². В рамках модели получил объяснение факта того, что обычное термическое плавление в рассматриваемых условиях затрагивает только верхний тонкий (толщиной менее 100 нм) слой материала, в то время как инициируемая активацией сдвиговой деформации потеря устойчивости решётки на фронте ударной волны вызывает «холодное» ударное плавление на глубину до 600 нм. Для многокомпонентных расплавов построена

математическая модель перераспределения компонентов при кристаллизации. Модель учитывает локальные неравновесные и перекрестные диффузионные процессы в жидкой фазе, позволяет определить распределение компонентов процессе и после затвердевания.

Экспериментально исследованы и проанализированы в рамках гидродинамического и атомистического компьютерного моделирования закономерности и физико-химические механизмы фазовых и структурных превращений в титане в процессе распространения плавящей ударной волны, генерируемой лазерным импульсом фемтосекундной длительности.



Показано, что обычное термическое плавление в этих условиях затрагивает только верхний тонкий (толщиной менее 100 нм) слой материала. В более глубоких слоях (до 600нм) проявляется эффект «холодного» ударного плавления, связанный с инициируемой сдвиговой деформацией потерей устойчивости кристаллической решетки. Результаты исследования могут быть использованы при обосновании оптимальных режимов лазерного ударно-волнового воздействия с целью модификации структуры, физико-химических и механических свойств приповерхностных слоев материалов и изделий, а также при разработке новых методов аддитивных технологий с применением прямого лазерного синтеза и селективного лазерного спекания.

Разработана математическая модель быстро протекающего сильно неравновесного процесса затвердевания приповерхностного слоя многокомпонентного расплава, возникающего при рассматриваемом лазерном воздействии. В этом случае диффузия растворенного вещества в объеме жидкой фазы описывается диффузионными уравнениями гиперболического типа, в отличии от диффузии в обычных условиях, которая описывается известными уравнениями Фика. Разработанная модель учитывает диффузионное взаимодействие между атомами растворенных компонентов и предсказывает характер их перераспределения в твердой и жидкой фазах, в том числе вблизи поверхностей раздела.

1. Vasily Zhakhovsky, Yury Kolobov, Sergey Ashitkov, Nail Inogamov, Ivan Nelasov, Sergey Manokhin, Victor Khokhlov, Denis Ilnitsky, Yury Petrov, Andrey Ovchinnikov, Oleg Chefonov, Dmitriy Sitnikov Shock-induced melting and crystallization in titanium irradiated by ultrashort laser pulse // Physics of Fluids. – 2023 – Vol.35 – №9 – p. 096104, Q1
2. Poletaev D. O., Lipnitskii A. G., Maksimenko V. N., Kolobov Y. R., Beresnev A. G., Gusakov M. S. The N-body interatomic potentials for molecular dynamics simulations of diffusion in C15 Cr₂Ta Laves phase // Computational Materials Science. – 2023. – T. 216. – p. 111841. Q1,
3. Egorova, X.A., Rozanov, K.A., Sidorova, A.D., S. S. Manokhin, Y. R. Kolobov, I. V. Nelasov, D. A. Sinev. Hardness enhancement by laser modification of titanium under an auxiliary graphite layer// Applied Physics A . – 2023 – Vol.129 – №855, Q2,

4. A.I. Kartamyshev, A.G. Lipnitskii, V.N. Maksimenko, A.V. Vyazmin, I.V. Nelason, D.O. Poletaev N-body potential for simulating lattice defects and diffusion in copper //Computational Materials Science – 2023 – Vol. 228 – 112284, Q1,
5. Sobolev S. L., Tokmachev M. G., Kolobov Y. R. Rapid Multicomponent Alloy Solidification with Allowance for the Local Nonequilibrium and Cross-Diffusion Effects //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 4. – С. 1622.

БЕЗУСАДОЧНЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ
А.В. Дуб с сотр.
Госкорпорация «Росатом»

В рамках приоритетного направления «Материалы и Технологии» Госкорпорации «Росатом» разработан безусадочный керамический материал на основе SiC, дисперсно-армированный нитевидными кристаллами, непрерывные волокна SiC с низким содержанием кислорода (до 1%) из различных прекурсоров. АО «ВНИИНМ» (входит в топливную компанию ТВЭЛ) по проекту: «Развитие применения методики ускоренных испытаний для обоснования новых кандидатных материалов перспективных ядерных установок» в 2023 году разработал КМ SiC-SiC и изготовил совместно с ООО «Вириал» макет хвостовика ТВС для реакторной установки (РУ), а также непрерывные волокна SiC длиной не менее 5 м.

Разработана технология получения изделий безусадочного композиционного материала на основе SiC, дисперсно армированного нитевидными кристаллами SiC. Научная новизна проекта заключается в обеспечении получения керамических изделий большого размера и сечений сложной формы методами аддитивной печати. На изготовленной ранее установке 3D печати впервые создан макет детали сложной формы (макет хвостовика ТВС) из безусадочной керамики из карбида кремния, дисперсно-армированной нитевидными кристаллами SiC для ядерного реактора. Отработан способ равномерного введения нитевидных кристаллов в исходный материал для печати заготовки изделия. Изготовлены образцы с разным содержанием нитевидных кристаллов (5-25% масс.) и выбран их оптимальный состав (15 % масс.).



Установка 3D-печати



Созданный макет хвостовика ТВС

Получены карбидокремниевые волокна с низким содержанием кислорода (менее 1%). Получено непрерывное волокно из карбида кремния длиной не менее 5 м из двух типов поликарбосилана (ПКС) и модифицированных поликарбосилан металлполикарбосилана (МПКС). Научная новизна состоит в достижении прочностных характеристик непрерывного волокна, позволяющих проводить операции перемотки волокон без их повреждения и обрывов.

Исследованы физико-механические характеристики и микроструктура полученных образцов непрерывных волокон SiC. На основании проведенных исследований и испытаний разработана технологическая инструкция изготовления непрерывных волокон SiC длиной не менее 5 м.



Непрерывные волокна SiC

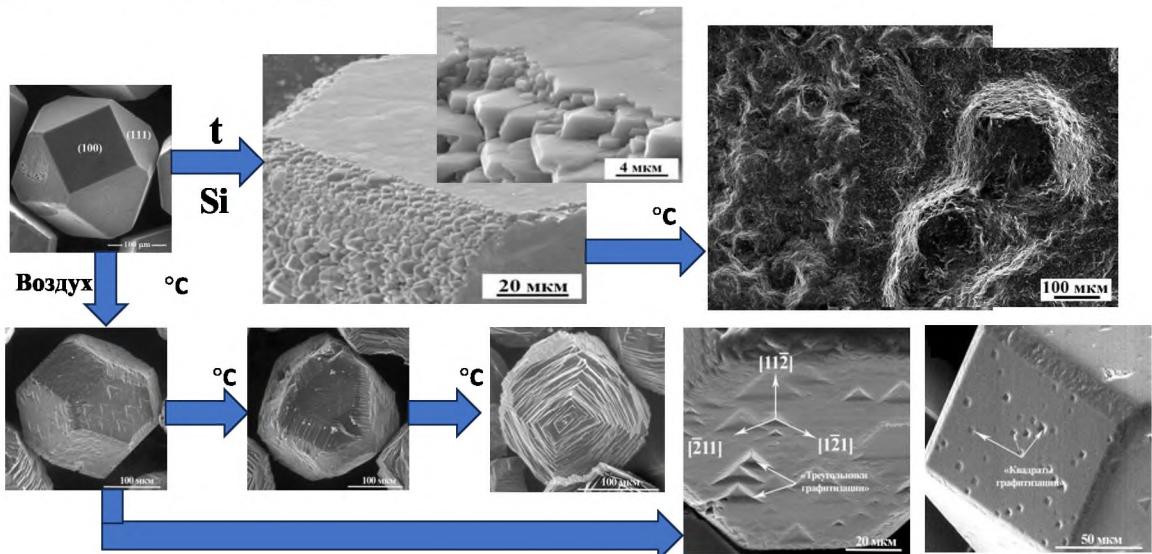
Экструзионная машина формования

НОВАЯ КОМПОЗИЦИОННАЯ КЕРАМИКА – АЛМАЗ-КАРБИД КРЕМНИЯ

В.Я. Шевченко, С.Н. Перевислов, М.М. Сычев
НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ «КМ «Прометей»

Реакционно диффузионный синтез материалов с регулярной периодической микроструктурой

Показано, что в неорганических системах взаимодействия гетерогенетических химических компонентов (например, углерод (алмаз) и карбид кремния) могут идти, при определенных условиях, в соответствии с реакционно диффузионным механизмом Тьюринга, что позволяет получать материалы с регулярной трижды периодической структурой. Разработан уникальный материал – новая композиционная керамика алмаз-карбид кремния, названная «Идеал», ненамного уступающая монокристаллическому алмазу и значительно превышающая по механическим характеристикам стандартные броневые материалы на основе корунда, карбида кремния и карбида бора. Керамика «Идеал» не имеет аналогов в мире. Изучена графитизация алмазных частиц на воздухе и в вакууме до высоких температур, что позволяет регулировать реакционно-диффузионный процесс при пропитке жидким кремнием заготовки из алмазных частиц.

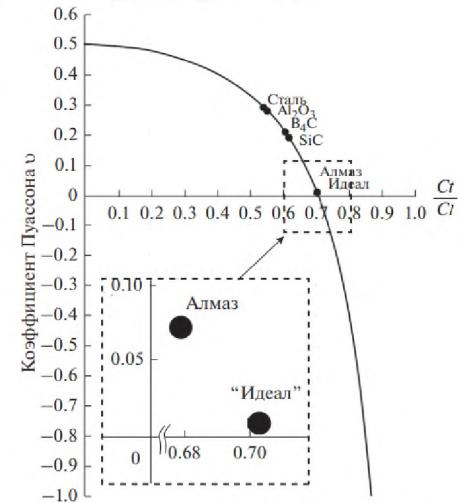


2) Свойства керамики «Идеал» (композита алмаз карбид кремния)

Впервые комплексно изучены механические свойства (коэффициент Пуассона, модуль сдвига, модуль объемного сжатия и поперечная скорость звука) керамики «Идеал» (композит алмаз-карбид кремния). Получен коэффициент Пуассона керамики «Идеал» ($\nu = 0,008-0,01$) значительно меньше, чем у монокристаллического алмаза, что характеризует керамику «Идеал» как весьма хрупкий материал. Построена зависимость коэффициента Пуассона от отношения волновых скоростей (C_t – поперечная, C_l – продольная скорость звука) в керамике «Идеал».

Проведена оценка качества материала для возможности поглощать (рассеивать) энергию динамического нагружения. Новая керамика «Идеал» характеризуется лучшими свойствами и является наилучшим защитным броневым материалом.

Механические и теплофизические свойства керамики «Идеал» в 2,0-2,5 раза превышают свойства стандартных керамических материалов на основе карбida бора и карбида кремния.



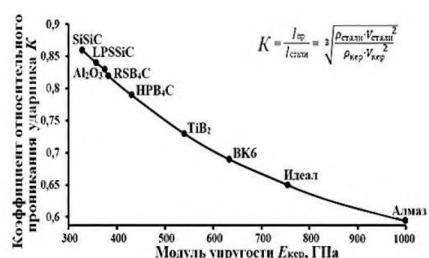
Другие свойства керамики «Идеал»:

- Безусадочное спекание;
- Теплопроводность – 550-600 Вт/(м·К);
- ТКЛР – $3,2 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹;
- Износостойкость – отличная;
- Химическая стойкость – хорошая;
- Рабочая температура 1400 °С.

Материал	ρ , г/см ³	E , ГПа	V , км/с	бизг, МПа	KIC , МПа·м ^{1/2}	HV , ГПа
«Идеал»	3,35-3,40	720-780	15,0	420	4,7	63-68

3) Новый материал для защиты от механических, динамических нагрузений

Предложен и обоснован критерий выбора материалов для защиты от механических , динамических нагрузок. Впервые в мировой практике создан материал «Идеал» (композит алмаз-карбид кремния) для бронезащиты . Разработана технология броневых панелей . Проведены положительные пулеметные испытания . Керамический материал «Идеал» обеспечивает лучшую защиту и является более легким, чем стандартная броня на основе корунда.



Моделирование



Подготовка

Испытания



Каверна разрушения

Для калибра 12,7 мм

Прошлое Настоящее Будущее

Выводы

1. Rumyantsev B.V., Guk I.V., Kozachuk A.I., Mikhailin A.I., Shevchenko V.Y., Silnikov N.M., Perevislov S.N. Metal and Nonmetal Protective Screens for Hypervelocity Debris Shielding //Adv. Mater. Technol. 2023. V. 5. No 1. P. 1–9.
2. Шевченко В., Козачук А., Михайлин А., Перевислов С., Румянцев Б. Структурная перестройка керамического материала, инициируемая высокоскоростным ударом // Письма в журнал технической физики. 2023. Т. 49. № 5. С. 22-25.
3. Шевченко В.Я., Орыщенко А.С., Беляков А.Н., Перевислов С.Н. Определение механических характеристик керамики «Идеал» (композита алмаз–карбид кремния) // Физика и химия стекла. 2023. Т. 49. № 6. С. 573-579.
4. Ковальчук М.В., Лепин В.Н., Рязанцев О.Н., Орыщенко А.С., Шевченко В.Я. Бронепа- нель // Патент на полезную модель RU 219559 U1, 24.07.2023. Заявка от 17.08.2022.
5. Лепин В.Н., Рязанцев О.Н., Орыщенко А.С., Шевченко В.Я., Перевислов С.Н. Бронепанель // Патент на полезную модель RU 221845 U1, 27.11.2023. Заявка от 27.01.2023.

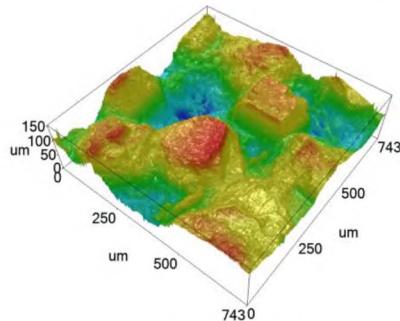
ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНО-ВОЛНОВЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИКИ «ИДЕАЛ»
**Шевченко В.Я.¹, Орыщенко А.С.¹, Лепин В.Н.², Лушников А.В¹, Перевислов С.Н.¹,
 Ломоносов И.В.³, Савиных А.С.³, Гаркушин Г.В.³, Разоренов С.В.³, Мочалова В.М.³,
 Уткин А.В.³, Николаев Д.Н.³, Минцев В.Б.³**

¹**НИЦ «Курчатовский институт»–ЦНИИ КМ «Прометей»,²АО «Концерн
 Калашников»,³ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН**

Впервые исследована новая керамика «Идеал», композит алмаз – карбид кремния, полученная в реакционно-диффузионном процессе Тьюринга, и обладающая оптимальным набором физико-механических свойств. Найден динамический предел упругости, определяемый свойствами карбида кремния, равный 13,4 ГПа. Проведены измерения откольной прочности в области упругого деформирования. Определена ударная сжимаемость керамики до давления 625 ГПа.

Разработана новая химическая технология на основе реакционно-диффузионного механизма Тьюринга позволившая получить керамику «Идеал» со свойствами, близкими к свойствам природного алмаза.

Образцы керамики «Идеал» изготавливали методом пропитки жидким кремнием заготовок из разнофракционных алмазных порошков. В качестве исходных компонентов использовали алмазные порошки размерами 20-28 мкм (40 масс. %) и 215-250 мкм (60 масс. %).

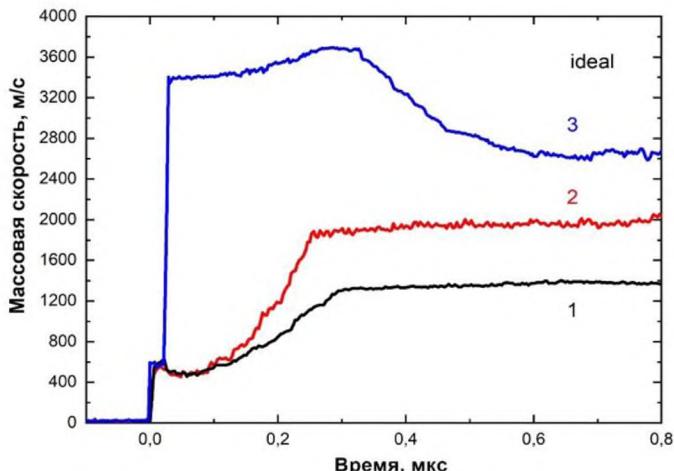


3-Д визуализация поверхности керамики «Идеал»

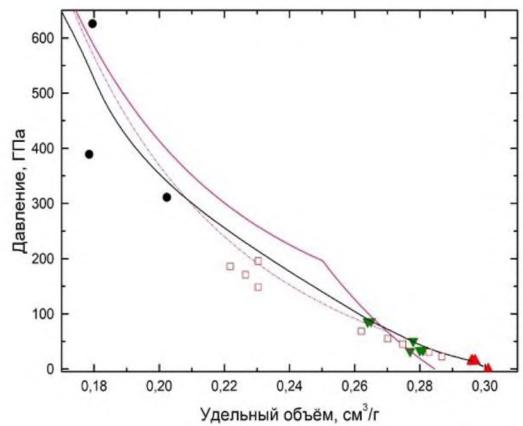
Порошки перемешивали в барабанном смесителе, затем пластифицировали 35% спиртовым раствором фенолоформальдегидной смолы, гранулировали и сушили при 80 °C в течение 1 ч. Затем из них формировали образцы размерами Ø40×8, Ø40×6, Ø25×4 и Ø12×2 мм при давлении 100 МПа для изучения механических и динамических свойств.

Образцы укладывали в графитовые контейнеры на подложки из BN_{гекс}, сверху засыпали порошком кремния. Процесс пропитки образцов проводили в печи сопротивления ЭСКВГ-16/22 ГМ 7 при 1500 °C в вакууме в течение 1 ч. Образцы керамики «Идеал» представляли собой плоскокапаралельные шлифованные пластины.

Ударные волны в керамике «Идеала» создавались при нагружении ударниками, разогнанными взрывными метательными устройствами либо легкогазовой пушкой. Регистрация волновых профилей осуществлялась многоточечным лазерным интерферометром VISAR. Максимальное давление в исследуемых образцах составляло 625 ГПа. Найден динамический предел упругости, определяемый свойствами карбида кремния и равный 13,4 ГПа.



Профили массовой скорости на границе «Идеал»/вода при различных амплитудах ударных волн (1 - 34 ГПа, 2 - 50 ГПа, 3 - 85 ГПа)



Ударные адиабаты «Идеала» (чёрные, красные и зелёные точки) и алмаза при различном размере частиц (розовые линии)

Проведены измерения откольной прочности в области упругого деформирования, значения которой изменяются в интервале 1.1 - 1.4 ГПа. В результате обработки полученных профилей скорости получена ударная адиабата «Идеала». Показано, что до давления 135 ГПа алмазная фаза в керамике «Идеал» остаётся в упругом состоянии.

Шевченко В.Я., Орыщенко А.С., Лепин В.Н., Лушников А.В., Алдошин С.М., Перевислов С.Н., Ломоносов И.В., Савиных А.С., Гаркушин Г.В., Разоренов С.В., Мочалова В.М., Уткин А.В., Николаев Д.Н., Минцев В.Б. Измерение упругого предела Гюгонио в керамике «Идеал» // Физика и химия стекла. Статья принята в печать.

ИСТОЧНИК ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

В.А. Давыдов^{1*}, Л.Ф. Куликова¹, D. Komisar², S. Kumar², Y. Kan², C. Meng²,
V.N. Agafonov³, S.I. Bozhevolny² (В.В. Бражкин)

¹ Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН

² University of Southern Denmark, Denmark

³ Université de Tours, France

В ИФВД РАН синтезированы наноалмазы с одиночными примесно-вакансационными GeV (германий-вакансия) оптическими центрами. С использованием голограмических метаповерхностей, формируемых вокруг данных наноалмазов, впервые

продемонстрирована возможность создания на наноподложках эффективных источников одиночных фотонов с контролируемыми направлениями излучения и поляризацией. Такие источники являются чрезвычайно перспективными для использования в различных квантовых информационных технологиях.

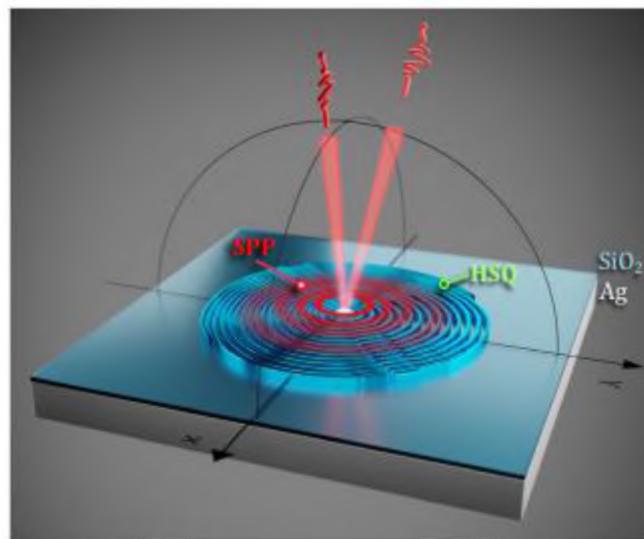


Рис. Схематическое изображение источника одиночных фотонов с контролируемыми направлениями излучения и поляризацией

V.A. Davydov, L.F. Kulikova, D. Komisar, S. Kumar, Y. Kan, C. Meng, V.N. Agafonov, S.I. Bozhevolny. Multiple channelling single-photon emission with scattering holography designed metasurfaces. *Nature Communications* (2023) 14:6253. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42046-3>

АЛМАЗНЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ-КОМПАКТЫ С РЕКОРДНОЙ ЭЛЕКТРОАКТИВНОСТЬЮ И СТАБИЛЬНОСТЬЮ

Е.А. Екимов¹, Ю.В. Плесков², М.Д. Кротова² (В.В. Бражкин)

¹Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина РАН

²Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Изготовлены алмазные электроды-компакты с предельно высоким уровнем легирования бором. Они синтезированы при давлении 8–9 ГПа и температурах до 2500 К в ростовых системах B–C, Pt–C и Pt–C–B и обладают рекордно высокой электроактивностью в реакциях анодного окисления.

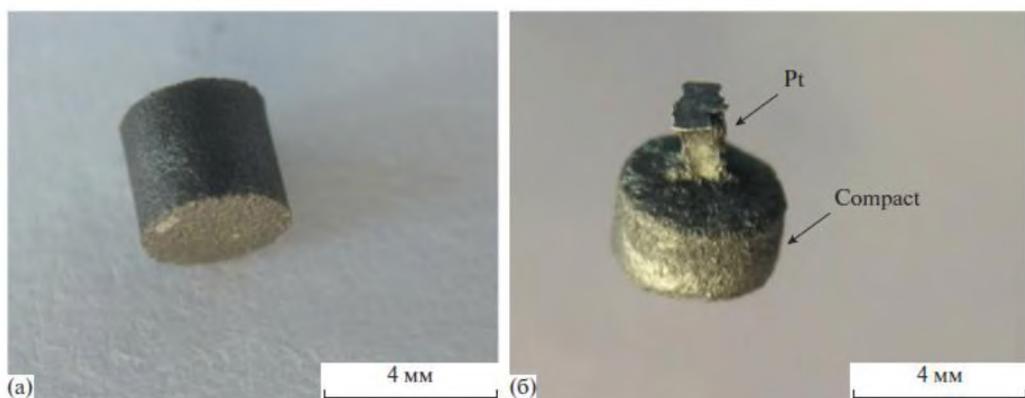


Рис. 1. Алмазные компакты, выращенные при высоких давлениях и температуре из смесей графита и B₄C (а) и с использованием Pt или сплава Pt–B (б).

Высокие параметры анодного окисления продемонстрированы на примере этилендиаминтетрауксусной кислоты. Компактные алмазные аноды в отличие от CVD покрытий могут обеспечить долговечность и высокую надежность в агрессивных условиях применения.

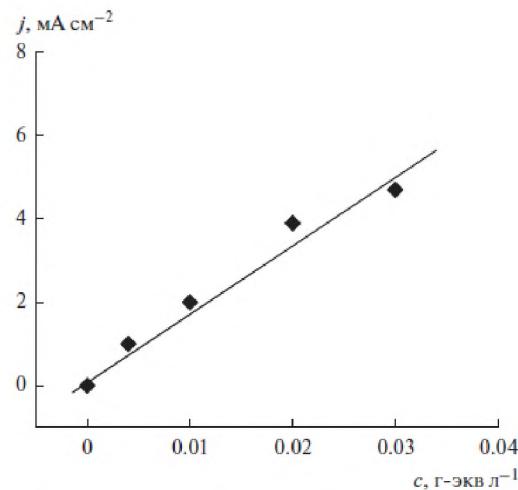


Рис. 2. Калибровочная кривая для компакта, содержащего Pt (~15%) и В (1%), в широкой области концентраций этилендиаминтетрауксусной кислоты в 1 М растворе KCl.

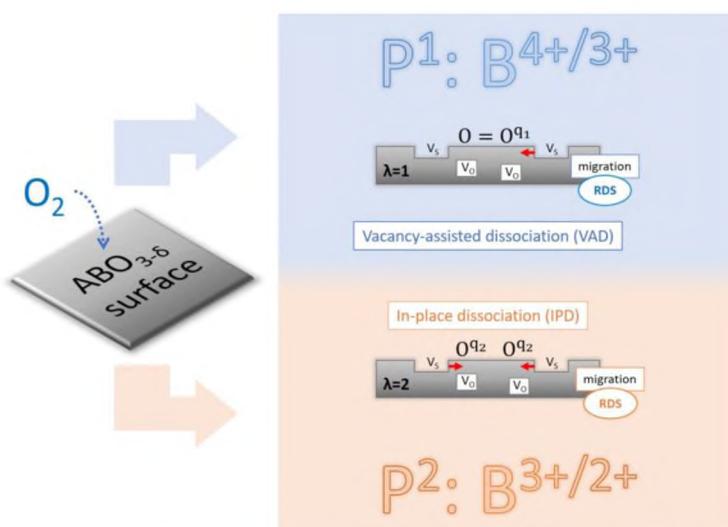
Е.А. Екимов, Ю.В. Плесков, М.Д. Кротова. Электрохимия. 2023, том 59, № 9, с. 530-535.

МЕХАНИЗМ КИСЛОРОДНОГО ОБМЕНА В КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.П. Попов, М.И. Гонгола, И.В. Ковалев, Р.Д. Гуськов, С.А. Чижик, А.П. Немудрый (Н.З. Ляхов)

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Установлен механизм кислородного обмена в оксидах со смешанной кислород-электронной проводимостью, которые являются перспективными катодными материалами для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) и определяют их эффективность.



Схематическое представление механизма кислородного обмена в фазах P^1 и P^2 .

Для нестехиометрического перовскита $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Co_{0.75}Fe_{0.2}Mo_{0.05}O_{3-\delta}$ показано, что при изменении стехиометрии (δ) наблюдается полиморфный переход $P^1 \rightarrow P^2$ с

сохранением кубической симметрии. При исследовании кинетики кислородного обмена методом релаксации парциального давления кислорода обнаружено, что в точке фазового перехода происходит изменение механизма лимитирующей стадии. В обеих фазах стадия, определяющая кислородный обмен, связана с миграцией поверхностных вакансий, однако в то время как в фазе Р1 диссоциация хемосорбированных молекул кислорода происходит с участием вакансий, в фазе Р2 диссоциация протекает без участия вакансий. При этом в объеме оксида реализуется вакансационный механизм кислородного транспорта независимо от фазового перехода.

Popov M.P., Gongola M.I., Kovalev I.V., Guskov R.D., Chizhik S.A., Nemudry A.P. Effect of isosymmetric phase transition in MIEC perovskite on the kinetic parameters of its interaction with oxygen. *Chemical Engineering Journal*, 2023, vol. 475, 146082. DOI: 10.1016/j.cej.2023.146082.

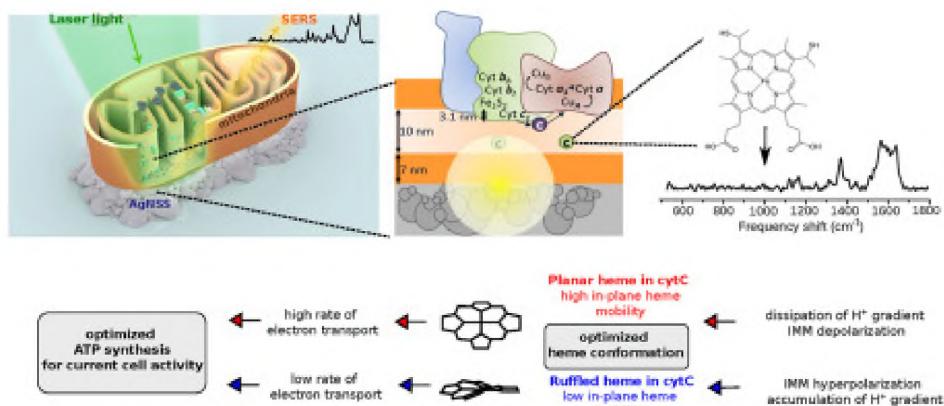
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИКИ И МЕДИЦИНЫ

Е.А. Гудилин

МГУ имени М.В.Ломоносова, ИОНХ РАН имени Н.С.Куликова

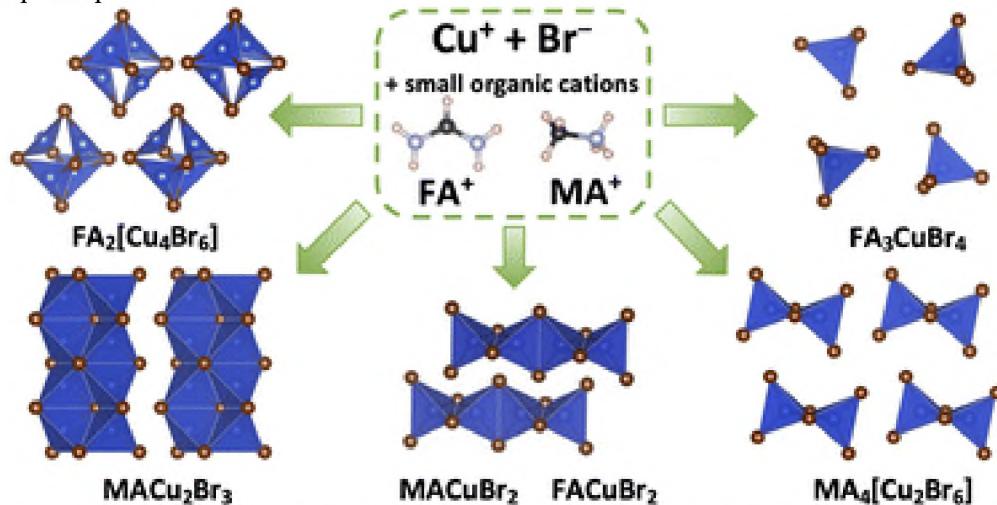
В области современных материалов для солнечной энергетики на основе гибридных органо – неорганических перовскитов разработаны новые методики получения светопоглощающих слоев, проведено исследование фазовых соотношений и уточнение кристаллической структуры ряда новых фаз, разработаны методики создания устройств солнечной энергетики. В областиnanoструктурированных материалов и индикаторные системы для плазмоники разработаны новые nanoструктурированные материалы на основе серебра и золота для их использования в неинвазивной диагностике маркеров нефтепродуктов в природной среде, а также биологических маркеров методом спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния. Разработан набор оригинальных методик получения nanoструктурированных материалов для определения широкого диапазона анализаторов с помощью метода ГКР.

Рассмотрены процессы получения аэрогелей на основе оксида графена и нанокомпозита оксида графена с магнитными наночастицами смешанных оксидов железа, как сорбентов доксорубицина. Показано, что обе системы достаточно эффективно сорбируют доксорубицин, однако наличие магнитных частиц оставляет возможность магнитной сепарации сорбента.



В рамках совместных работ по спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния с использованием оригинальных методик получения плазмонных наноматериалов получены новые результаты по взаимосвязи потенциала мембран функционирующих митохондрий и конформации важнейших медиаторов дыхательной цепи митохондрий – цитохрома с.

Оптимизированы процессы получения высокоплотных керамических ион – проводящих мембран состава $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ со структурой NASICON за счет использования фракций наночастиц – предшественников или аморфизированной фазы при проведении спекания. Показано, что полученные материалы могут служить прототипом перспективных полностью твердофазных вторичных источников тока, обладающих большей безопасностью при эксплуатации и стабильностью по отношению к внешним факторам.



Исследованы системы MABr/CuBr и FABr/CuBr (MA^+ = метиламмоний, FA^+ = формамидиний) и обнаружено 5 новых фаз (MACu_2Br_3 , $\text{FA}_2[\text{Cu}_4\text{Br}_6]$, MACuBr_2 , FACuBr_2 , FA_3CuBr_4), принадлежащих четырем различным структурным типам. С помощью низкотемпературной люминесцентной спектроскопии определены оптические свойства новых фаз и проанализированы взаимосвязи структуры и функциональных характеристик перспективных материалов солнечной энергетики.

В результате анализа возможных кандидатов веществ, повышающих стабильность светопоглощающих слоев на основе гибридных перовскитов в составе солнечных панелей нового поколения установлено, что хлоридные соли L - цистеина повышают стабильность солнечных элементов за счет химической модификации поверхности и взаимодействия с поверхностными дефектами структуры.

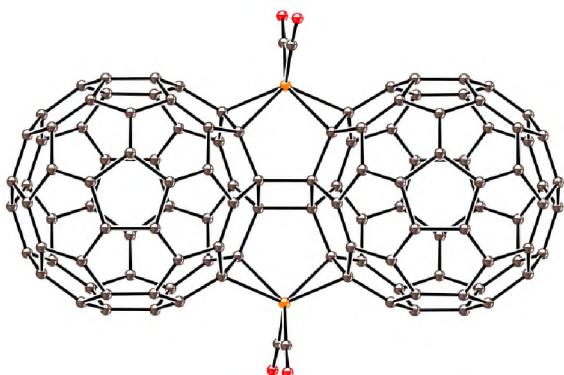
1. Eremina E.A., Kaplin A.V., Rubleva A.A., Goodilin E.A., Eremin V.V. Graphite Oxide-Based Magnetic Aerogels as Sorbents of Doxorubicin. 2023. Inorganic Materials, том 59, № 3, с. 273-280 DOI
2. Udalova Natalia N., Chertorizhskiy Nikita N., Nemygina Elizaveta N., Trubnikov Artem V., Kurkin Alexander V., Goodilin Eugene A., Tarasov Alexey B. Enhancing perovskite solar cells efficiency via bulk passivation of light absorbing material with l-cysteine hydrochloride. Mendeleev Communications, 2023, том 33, № 5, с. 679-681
3. Xu Xieyu, Kirianova Alina V., Evdokimov Pavel V., Liu Yangyang, Jiao Xingxing, Volkov Valentin S., Goodilin Evgeny A., Veselova Irina A., Putlayev Valery I., Kapitanova Olesya O. $\text{Li}_{1.3}\text{Al}_{0.3}\text{Ti}_{1.7}(\text{PO}_4)_3$ ceramic electrolyte fabricated from bimodal powder precursor. Journal of the European Ceramic Society, 2023, том 43, № 14, с. 6170-6179
4. Grishko Aleksei Yu, Komkova Maria A., Marchenko Ekaterina I., Chumakova Alexandra V., Tarasov Alexey B., Goodilin Eugene A., Eliseev Andrei A. Evidence for polarization-induced phase transformations and degradation in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, Nano Research, 2023
5. Belikova Daria E., Fateev Sergey A., Khrustalev Victor N., Marchenko Ekaterina I., Goodilin Eugene A., Wang Shenghao, Tarasov Alexey B. Exceptional structural diversity of hybrid halocuprates(I) with methylammonium and formamidinium cations. Dalton Transactions, 2023

6. Brazhe Nadezda A., Nikelshparg Evelina I., Baizhumanov Adil A., Grivennikova Vera G., Semenova Anna A., Novikov Sergey M., Volkov Valentyn S., Arsenin Aleksey V., Yakubovsky Dmitry I., Evlyukhin Andrey B., Bochkova Zhanna V., Goodilin Eugene A., Maksimov Georgy V., Sosnovtseva Olga, Rubin Andrey B. SERS uncovers the link between conformation of cytochrome c heme and mitochondrial membrane potential, Free Radical Biology and Medicine, 2023, том 196, с. 133-144

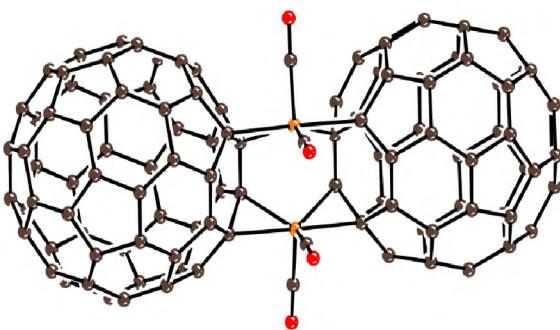
ПЕРВЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ АНИОННЫЙ КООРДИНАЦИОННО-СВЯЗАННЫЙ ДИМЕР FE₂C₁₂₀, СВЯЗАННЫЙ МОСТИКОВЫМИ АТОМАМИ ЖЕЛЕЗА И С-С СВЯЗЯМИ
Д.В. Конарев, П.А. Собов, А.Ф. Шестаков
ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

Впервые получен анионный координационно-связанный димер Fe₂C₁₂₀ в соли {Криптанд(K⁺)₂{[Fe(CO)₂]₂·μ₂-η²:η²-η²:η²-(C₁₂₀)}}²⁻·4C₆H₄Cl₂, в котором фуллерены связаны не только двумя парамагнитными мостиковыми атомами железа, но и двумя С-С связями. Отрицательная электронная плотность разделена между C₆₀ и атомами железа, тогда как спиновая плотность локализована исключительно на атомах железа. Димер показывает синглет–триплетный переход с заселением триплетного уровня уже выше 30 К.

Впервые получен анионный димер Fe₂C₁₂₀ в соединении {Криптанд(K⁺)₂{[Fe(CO)₂]₂·μ₂-η²:η²-η²:η²-(C₁₂₀)}}²⁻·4C₆H₄Cl₂ (**1**). В этом соединение две Fe(CO)₂ группы координируются на два фуллерена, образуя координационно-связанный фуллереновый димер. Координация двух мостиковых фрагментов сильно сближает фуллерены и они димеризуются с раскрытием двух 6-6 связей и образованием двух новых С-С между фуллеренами.

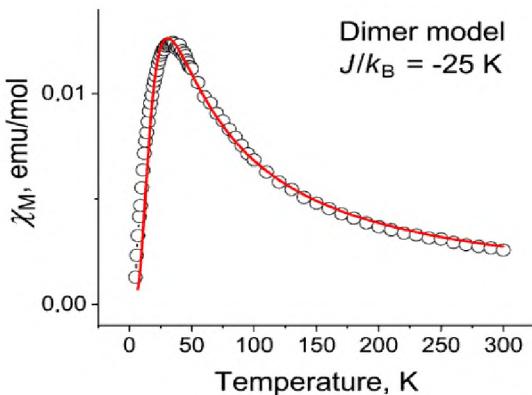


Строение анионного парамагнитного димера: {[Fe(CO)₂]₂·μ₂-η²:η²-η²:η²-(C₁₂₀)}²⁻,



Строение изомерного диамагнитного димера: {[Fe(CO)₂·μ₂-η²,η²-C₆₀]₂}²⁻

Наблюдается димеризация, индуцированная координацией двух мостиковых атомов металла. Оказалось, что мостиковые фрагменты Fe(CO)₂ расположены далеко друг от друга (расстояние Fe...Fe составляют 6.43 Å), что приводит к парамагнетизму этого димера. Димер имеет синглетное основное состояние, из-за сильного антиферромагнитного взаимодействия между спинами, но триплетное состояние заселяется уже при температуре выше 30 К. То, что соединение парамагнитно подтверждает интенсивный ЭПР сигнал, который наблюдается в широком температурном интервале и при комнатной температуре может быть описан двумя линиями с $g_1 = 2.0681$ и шириной линии (ΔH) 6.91 мТ и $g_2 = 2.0316$ и $\Delta H = 4.42$ мТ.



Синглет-триплетный переход с $J/k_B = -25$ К.

Видно, что спиновая плотность локализована, в основном на железе, так как g -факторы ЭПР сигналов сдвинуты к большим значениям по сравнению с $g=1.996\text{--}1.999$, который характерен для $C_{60}^{\bullet-}$. В тоже время, согласно расчетам, отрицательная электронная плотность локализована на фуллерене (30%) и железе (70%). Димер образуется через переходное соединение $\{[Fe(CO)_3](C_{60}^{\bullet-})\}$, медленная димеризация которого приводит к образованию этого димера. Соединение получено по реакция $\{Криптанд(K^+)\}(C_{60}^{\bullet-})$ с карбонилом железа, $Fe(CO)_5$. Интересно, что использование другого карбонила $Fe_3(CO)_{12}$ приводит к получению соединения близкого состава $\{Криптанд(K^+)\}_2\{[Fe(CO)_2]_2\mu_2\cdot\eta^2\cdot(C_{60})_2\}^{2-}\cdot4C_6H_4Cl_2$, но совершенно другими свойствами, так как из-за близкого расстояния $Fe\ldots Fe$ (2.9 Å) образуется слабая связь Fe-Fe и димер имеет диамагнитное состояние.

P.A. Sobov, A.V. Kuzmin, S.S. Khasanov, A.F. Shestakov, A.Otsuka, H. Yamochi, H. Kitagawa, D.V. Konarev. Paramagnetic $\{[Fe(CO)_2]_2[\mu_2\cdot\eta^2\cdot\eta^2\cdot\eta^2\cdot(C_{60})_2\}^{2-}$ dimer bridged by iron atoms and C-C bonds. Effect of starting iron carbonyl on structure and properties of negatively charged iron-bridged fullerene dimers. Inorg. Chem. 2023, 62, 17736–17744. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.3c02432>

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Н. Краснянский, А.Г. Ткачев с сотр.
Тамбовский государственный технический университет

Разработаны полимерные композиты, содержащие гибридные наноуглеродные наполнители, полученные посредством совмещения углеродных нанотрубок (УНТ) и графеновых материалов. Введение 0,15 масс. % смеси «цилиндрические УНТ – оксид графена» в эпоксидную смолу «ЭД-22» позволило увеличить модуля Юнга на 37%, предел прочности при растяжении – на 86% по сравнению с исходным материалом. Однако механические характеристики композита при изгибе практически не изменились.

Для получения материала, демонстрирующего прирост прочности при различных типах механической нагрузке, были использованы функционализированные формы углеродныхnanoструктур (УНТ, графеновые нанопластины (ГНП)). Установлено, что введение в композит 0,2 масс.% наполнителя состава УНТ-СООН (со степенью функционализации 0,2 ммоль/г) – ГНП (в массовом соотношении 1:1) способствует повышению модуля Юнга на 25%, предела прочности при растяжении – на 78%. При этом одновременно модуль упругости и предел прочности при изгибе увеличивается соответственно на 34 и 41% при сохранении показателей деформации материала [1].

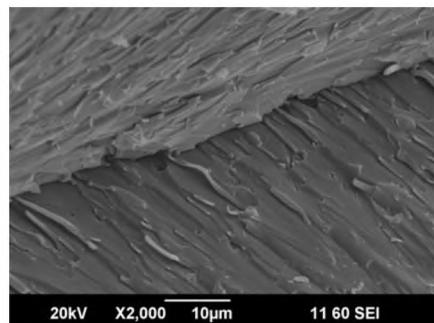


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности разрушения эпоксидного композита, содержащего 0,2 масс.% гибридного наполнителя «УНТ-СООН – ГНП»

В настоящее время созданы образцы высокоэффективных гибридных наноструктурированных углеродных сорбентов, в том числе, из вторичного сельскохозяйственного сырья и растительных отходов регионального АПК, с улучшенными функциональными характеристиками. Реализация разработанной методики возможна опционально в присутствии оксида графена и/или углеродных нанотрубок в качестве структурообразующих компонентов [2]. По результатам предлагаемых научных решений синтезированы образцы сорбционных материалов с аномально высокой удельной поверхностью - до 3600 м²/г, объемом пор – до 2 м³/г, являющиеся эффективными сорбентами для очистки водных сред, а также перспективными носителями катализаторов и т.п.

Разработаны составы и методы формования электродов из новых высокопористых материалов для применения в установках емкостной мембранный деионизации воды (обессоливания до состояния питьевой чистой воды). Проведено тестирование изготовленных образцов электродов на разработанной и лабораторной установке емкостной деионизации; дана оценка эффективности использования данных электродов в процессах емкостной деионизации засоленных вод. Сорбционная ёмкость разработанных составов электродов достигает 50-60 мг/г, что выше многих мировых аналогов [3].

Разработаны методы синтеза углеродных квантовых точек (УКТ) путем окислительно-щелочной обработки оксида графена или игольчатого кокса. Показано, что добавка УКТ увеличивает прочность на разрыв отверженной эпоксидной смолы.

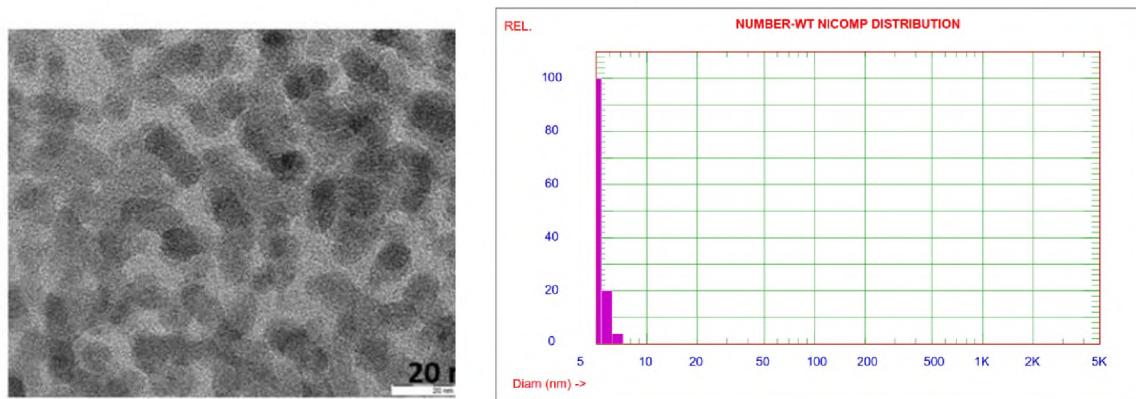


Рис. 2. СЭМ-изображение УКТ (а) и распределение размеров частиц УКТ (б)

УКТ проявляют свойства поверхностно-активного вещества, являются диспергаторами для углеродных наночастиц (нанотрубок и графена). УКТ проявляют высокие адсорбционные свойства по отношению к ионам тяжелых металлов.

1. Dyachkova, T.P. Characteristics of Epoxy Composites Containing Carbon Nanotubes/Graphene Mixtures / T.P. Dyachkova, Y.A. Khan, E.A. Burakova, E.V.

Galunin, G.N. Shigabaeva, D.N. Stolbov, G.A. Titov, N.A. Chapaksov, A.G. Tkachev // Polymers. – 2023. – 15 (6). – P. 1476. DOI:10.3390/polym15061476

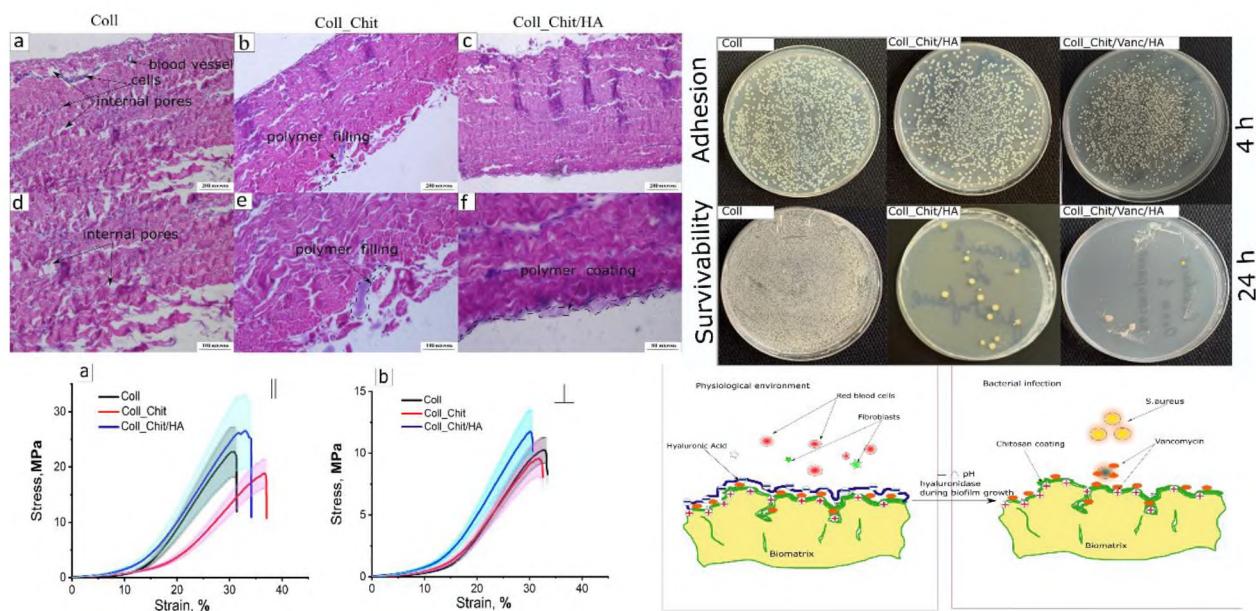
2. Бураков А.Е., Кузнецова Т.С., Буракова И.В., Ананьев О.А., Мкртчян Э.С., Дьячкова Т.П., Ткачев А.Г. Гидротермальный синтез высокоеффективного углеродного сорбента на основе возобновляемых ресурсов / А.Е. Бураков, Т.С. Кузнецова, И.В. Буракова [и др.] // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 54-65. – DOI:10.18083/LCAppl.2023.3.54. – EDN HLWYEE.
3. Bakhia T., Khamizov R.K., Bavizhev Z.R., Bavizhev M.D., Konov M.A., Kozlov D.A., Tikhonova S.A., Maslakov K.I., Ashurov M.S., Melezik A.V., Kurnosov D.A., Burakov A.E., Tkachev A.G. Composite graphene-containing porous materials from carbon for capacitive deionization of water // Molecules. – 2020. – Т.25, №11. – 2620. DOI: 10.3390/molecules25112620

УЛЬТРАТОНКОЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ХИТОЗАН/ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ АНТИМИКРОБНЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОТЕЗОВ КЛАПАНОВ СЕРДЦА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

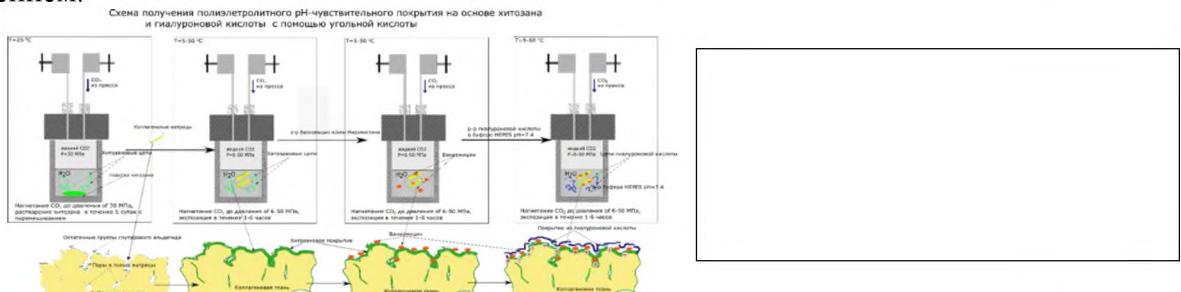
Н.П. Бакулева, И.С. Чашин

ФГБУ «НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева» Минздрава России

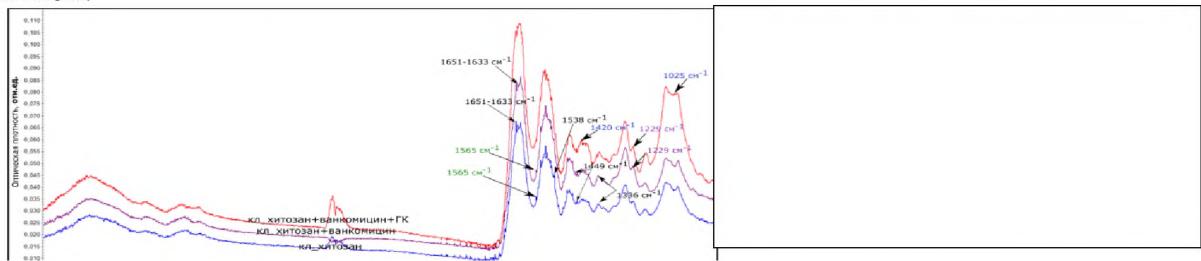
Впервые было получено полиэлектролитное покрытие на глутаральдегид-стабилизированном перикарде теленка (ГА-перикарде) путем последовательного нанесения хитозана и гиалуроновой кислоты (ГК) из растворов в углекислоте под давлением. Такой подход позволяет получить гибридную биоматрицу с прочно связанным полимерным экраном за счет электростатического связывания полиионов. Высокоточный анализ с применением метода радиоактивных индикаторов показывает увеличение количества ГК в 3 раза в случае нанесения под давлением по сравнению с традиционным методом нанесения из раствора. Наличие слоя хитозана увеличивает адсорбцию ГК на 15-20% вследствие электростатического взаимодействия полимеров с различным зарядом. Результаты антимикробных тестов показывают возможность реализации индуцированного антимикробного ответа за счет лизиса верхнего слоя покрытия (ГК) и высвобождения антимикробных агентов в случае роста патогенных микроорганизмов на биопротезе.



Прочно связанное защитное покрытие на биоматриксе значительно повышает функциональность медицинских изделий, в частности, биопротезов. В настоящей работе получено полиэлектролитное покрытие (ПЭК) на биоматрице путем последовательного осаждения хитозана и гиалуроновой кислоты (ГК) из растворов в угольной кислоте под давлением.

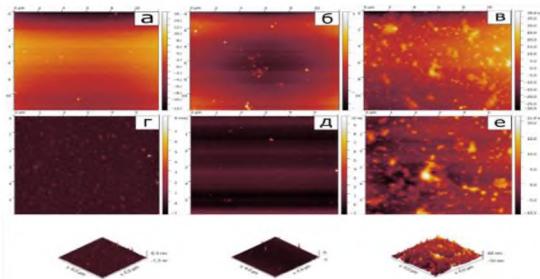
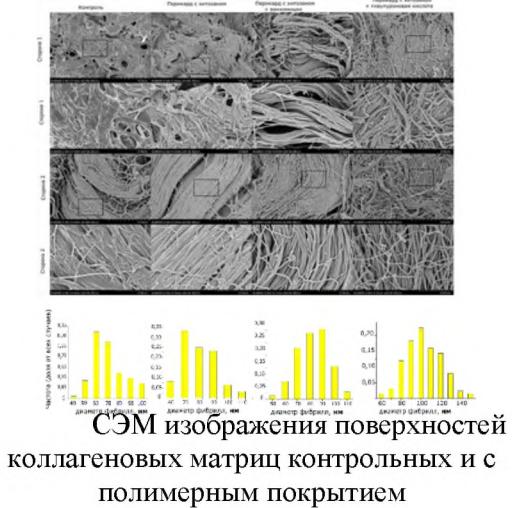


Такой подход позволяет получить гибридную биоматрицу с прочно связанным полимерным экраном за счет электростатического связывания полионов друг с другом, а также слоя хитозана, прочно связанного с матрицей, состоящей из коллагена, ковалентными связями, что было подтверждено ИК НПВО спектроскопией матриков с покрытием.



Электростатическое взаимодействие последовательно осажденных полиэлектролитов из растворов в углекислоте определяет однородность такого двухслойного покрытия, что было показано ACM-исследованиями на модельной атомарно гладкой слюдяной подложке. Используя высокоточный количественный анализ метода радиоактивных индикаторов, было установлено, что способ нанесения из водного раствора, насыщенного диоксидом углерода под давлением, позволяет увеличить адсорбцию ГК в *три раза*. В то же время было выявлено оптимальное значение давления для нанесения полианиона – 30 МПа при температуре $22,0 \pm 3,0^\circ\text{C}$. Несмотря на относительно большое количество включенного в ПЭК полианиона ГК ($6,0 \pm 1,0$ мас.%), было обнаружено, что поверхность сшитой глутаровым альдегидом матрицы имеет ультратонкое покрытие. Этот факт обусловлен, во-первых, равномерным заполнением внутренних пор и каналов по всей толщине пористой биоматрицы, а во-вторых, электростатической стабилизацией слоев покрытия и стремлением слоев распределяться по возможно большей поверхности матрицы, что соответствует результатам модельного исследования с помощью атомно-силовой микроскопии (ACM).

Прочность биоматрицы с покрытием хитозан/ГК значительно возрастает (на $\Delta\sigma_{\parallel} \sim 15\%$, $\delta\sigma_{\perp} \sim 30\%$) по сравнению с исходным ГА-стабилизированным перикардом с хитозаном за счет относительно более плотного заполнения ГК внутренних пор и каналов биоматрицы (см. графический абстракт). Метод последовательного нанесения полимеров и антибиотического агента из растворов в угольной кислоте позволяет создать биоматрицу с двухслойным полиэлектролитным покрытием и со встроенным антибиотиком ванкомицином, которое обладает высокой антибиотической устойчивостью и способностью к индуцированному «интеллектуальному» отклику, а именно, антибиотик из ПЭК начинает усиленно выделяться в кровоток только во время роста патогенной биопленки, что было показано с помощью модельных экспериментов по высвобождению меченого тритием ванкомицина из покрытия (см. графический абстракт).



АСМ-изображения полимерных покрытий, нанесенных на модельную подложку из свежесколотой слюды из водных растворов, насыщенных диоксидом углерода: а) г) макромолекулы хитозана, нанесенные из раствора углекислоты ; б), д) адсорбированные структуры ГК из раствора в НЕПЕС буфере ($P_{CO_2}=30$ МПа), в) г) покрытие хитозан\ванкомицин\ГК.

Показано, что двухслойное полиэлектролитное покрытие, маскирующее альдегидные группы, образующиеся в избытке при стабилизации биоматрицы глутаровым альдегидом, приводит к чрезвычайно сильному снижению кальцификации - уменьшение образования петрификатов из солей кальция (гидроксиаппатитов) происходит на два порядка при подкожной имплантации образцов биоматриц крысам (стандартная тест-система для изучения кальцификации имплантов).

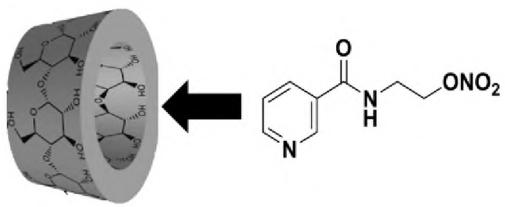
- Ivan S. Chaschin Maria A. Sinolits., Gennadii A. Badun, Maria G. Chernysheva, Nelya M. Anuchina, Sergey V. Krasheninnikov, Georgiy A. Khugaev, Antonina A. Petlenko, Dmitry V. Britikov, Alexander V. Zubko, Alexey D. Kurilov, Elizabet I. Dreger, Natalia P. Bakuleva. Chitosan/hyaluronic acid polyanion bilayer applied from carbon acid as an advanced coating with intelligent antimicrobial properties for improved biological prosthetic heart valves. // International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 222, p.2761-2774. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.056>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИТРАТОВ ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ

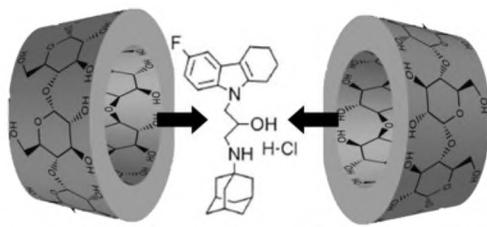
Ю.М. Михайлов, А.В. Даровских, И.И. Файнгольд, Е.Н. Климанова, С.О. Бачурин, Е.Ф. Шевцова, А.В. Мальцев, Э.Р. Бадамшина, А.Е. Тарасов
Отдел ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН

Показана возможность использования нитратов циклодекстринов как веществ двойного назначения: в качестве потенциальных носителей лекарственных препаратов в виде комплексов включения с физиологически активными веществами и в качестве основы для создания новых энергетических звездообразных полимеров.

На примере нитрата γ -циклодекстрина, в котором 2 из 24 гидроксильных групп замещены на нитратные, 2-[3-(пиридинилкарбонил)-амино]этилнитрата (лекарственного препарата никорандил) и гидрохлорида конъюгата тетрагидрокарбазола и аминоадамантана (ТГ-2112x - перспективный препарат для лечения нейродегенеративных заболеваний, разработка ИФАВ) методами РФА, ДСК и ЯМР показана возможность реализации нанотехнологий для получения комплексов включения по типу «хозяин-гость», оценена возможность использования нитратов циклодекстринов как носителей лекарственных препаратов. Показано, что нитраты γ -циклодекстринов, в случае замещения до 8% гидроксильных групп на нитратные, характеризуются приемлемой растворимостью в воде и относятся по ГОСТ 12.1.007-76 к умеренно токсичным веществам



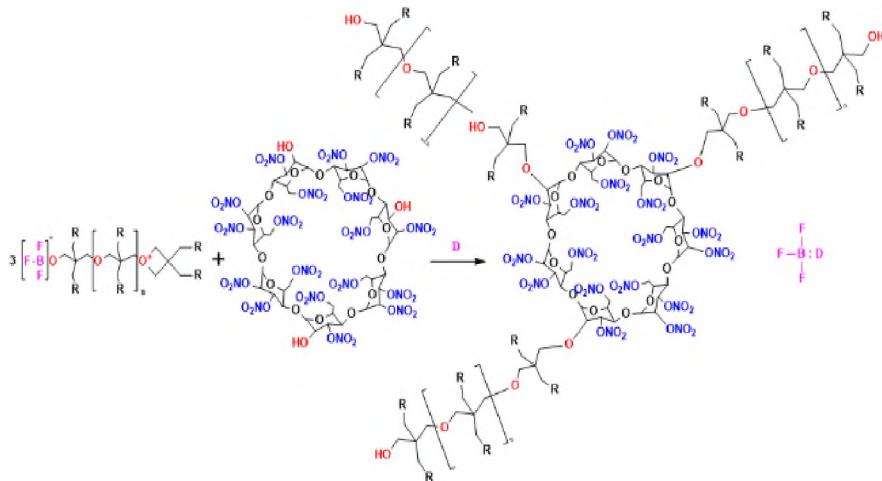
Комплекс включения на основе нитрата γ -циклоцестирина и 2-[3-пиридилкарбонил]-аминоэтилнитрата (лекарственного препарата никорандил)



Комплекс включения на основе нитрата γ -циклоцестирина и гидрохлорида конъюгата тетрагидрокарбазола и аминоадаманта (ТГ-2112x - перспективный препарат для лечения нейродегенеративных заболеваний)

Найдено, что комплексы включения с никорандилом, полученные на указанном продукте проявляют синергию антиоксидантной активности, которая у них выше, чем у исходных веществ и их механических смесей, а также выше, чем у комплекса включения никорандила с γ -циклоцестирином. Для комплекса включения с ТГ-2112x определена клеточная токсичность, которая не превышает таковой для ТГ-2112x, также показана синергия антиоксидантной активности и сохранение свойств препарата (митопротекторная, микротубулло-стабилизирующая активность).

Также на примере нитратов β -циклоцестирина, содержащих 3, 5 и 8 гидроксильных групп из 21 возможной, синтезированы новые звездообразные энергетические полимеры на основе 3,3-бис(азидометил)оксетана, 3,3-бис(нитратометил)оксетана:



Для полученных соединений доказано образование звездообразной структуры, определены энталпии образования, нижние пределы чувствительности к удару и трению и температуры плавления. Установлены зависимости изменения свойств звездообразных полимеров от количества «лучей». Для полученных соединений наблюдается изменение температуры плавления и снижение степени кристалличности по сравнению с соответствующими гомополимерами. Установлено, что варьирование количества линейных фрагментов (лучей) звездообразных полимеров является инструментом регулирования их энергетических характеристик – энталпии образования, а также чувствительности к механическим воздействиям, что делает полученные продукты весьма перспективными с точки зрения их использования.

Полученные результаты позволяют рассматривать нитраты циклоцестирина с точки зрения веществ двойного назначения, а возможность направленного синтеза продуктов с заданной степенью замещения гидроксильных групп на нитратные открывает широкие возможности использования получаемых соединений.

1. Михайлов Ю.М., Бадамшина Э.Р., Романова Л.Б., Даровских А.В., Тарасов А.Е., Перепелицина Е.О., Баринова Л.С., Черняев Д.А. Звездообразные полимеры на основе нитратов бета-циклодекстрина // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы. 2023. Вып.2. стр. 11 – 22
2. Михайлов Ю.М., Даровских А.В., Романова Л.Б., Рахимова Л.А., Климанова Е.Н., Файнгольд И.И. Комплексы включения нитратов циклодекстринов как потенциальные носители лекарственных препаратов, Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах, *в печати*
3. Михайлов Ю.М., Бачурин С.О., Даровских А.В., Веселов И.М., Шевцов П.Н., Мальцев А.В., Шевцова Е.Ф. О комплексе включения нитрата γ -циклодекстрина с конъюгатом тетрагидрокарбазола и аминоадамантана, Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах, *в печати*

НАЛИВНЫЕ ПЛЕНКИ И ЭЛАСТИЧНЫЕ НАНОМЕМБРАНЫ, НАГРУЖЕННЫЕ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ С РАЗЛИЧНЫМ МЕХАНИЗМОМ ДЕЙСТВИЯ

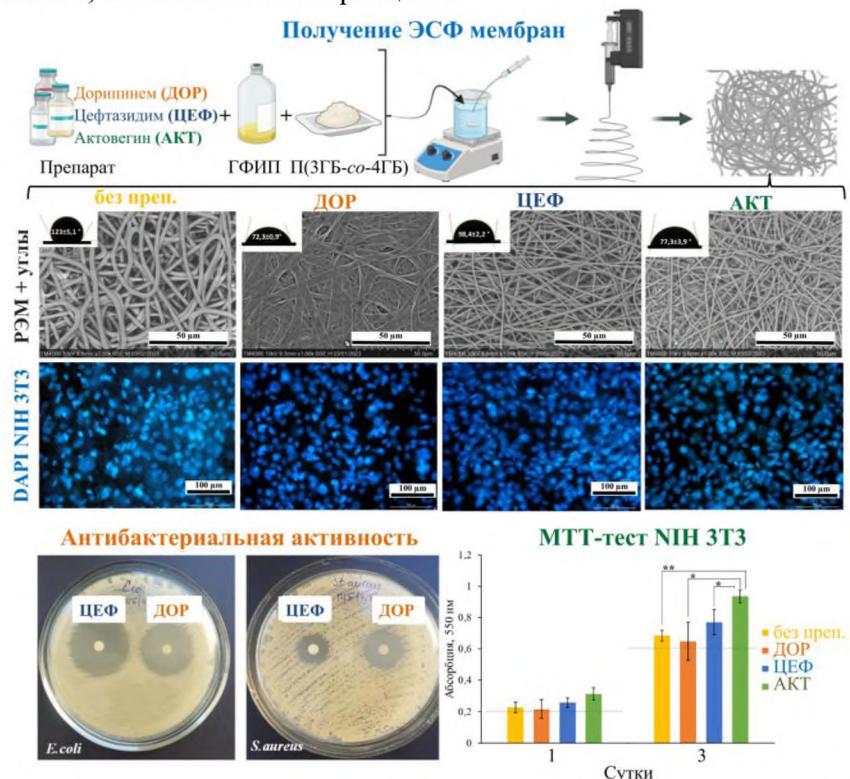
А.В. Муруева, А.В. Демиденко, А.Е. Дудаев, Т.Г. Волова.

Институт биофизики СО РАН

С использованием низкокристаллических разрушаемых полимеров микробного происхождения (сополимеров, образованных мономерами 3- и 4-гидроксибутиратом), поливом полимерных растворов и электростатическим формированием получены наливные пленки и эластичные наномембранные, нагруженные лекарственными препаратами с различным механизмом действия: антибиотиками (цефтализидом и дорипенем) и препаратом, стимулирующим обмен веществ и трофику тканей (актовегин). Полученные изделия обладают выраженной антибактериальной активностью и подавляют развитие патогенов *S. aureus* и *E.coli*, не оказывая негативного влияния на адгезию и пролиферацию клеток фибробластического ряда. Наличие в пленках и наномембранных актовегина стимулирует пролиферацию фибробластов, повышая их количество. Сконструированные резорбируемые пленки и наномембранные пригодны для задач клеточной и тканевой инженерии и перспективны для реконструкции тканей, осложненных инфекцией.

Объекты исследования – разрушаемые биополимеры полигидроксилканоаты (ПГА). Цель – конструирование полимерных пленочных изделий из образцов ПГА, обладающих свойствам эластомеров с пониженной степенью кристалличности, нагруженных биологически активными и лекарственными соединениями. С использованием низкокристаллических сополимеров, образованных мономерами 3- и 4-гидроксибутиратом, поливом полимерных растворов и электростатическим формированием получены наливные пленки и эластичные наномембранные, нагруженные лекарственными препаратами с различным механизмом действия: антибиотиками (цефтализидом и дорипенем) и препаратом, стимулирующим обмен веществ и трофику тканей (актовегин). Выявлено влияние типа препарата на микроструктуру и свойства поверхности пленок и наномембранных. Показано, что нагружение исследованных изделий лекарственными препаратами снижает величину краевого угла, повышая гидрофильность и адгезионные свойства поверхности. Обе формы сконструированных носителей (наливные пленки и наномембранные) являются долговременной формой для депонирования и доставки лекарственных препаратов, выход которых *in vitro* реализуется длительно, без резких выбросов, соответствует модели Хигучи и Корсмейер-Пеппас, имеет диффузионный характер и подчиняется законам Фика. Сконструированые изделия обладают выраженной антибактериальной активностью и подавляют развитие патогенов *S. aureus* и *E.coli*, не оказывая негативного влияния на адгезию и пролиферацию клеток фибробластического ряда, несмотря на присутствие антибиотиков в заданной концентрации. Наличие в пленках и наномембранных актовегина стимулирует

пролиферацию фибробластов, повышая их количество. Резорбируемые пленки и наномембранны пригодны для задач клеточной и тканевой инженерии и перспективны для реконструкции тканей, осложненных инфекцией.



Конструирование и свойства эластичных резорбируемых наномембран с антибактериальной активностью, нагруженные актовегином, стимулирующих развитие фибробластов

1. T.G. Volova, A.V. Demidenko, A. V. Murueva, A.E. Dudaev, I. Nemtsev, E.I. Shishatskaya. Biodegradable polyhydroxyalkanoates formed by 3- and 4-hydroxybutyrate monomers to produce nanomembranes suitable for drug delivery and cell culture // Technologies -2023 – Vol.11(4) – 106-129. <https://doi.org/10.3390/technologies11040106>
2. E.I. Shishatskaya, N.O. Zhila, A.E. Dudaev, I.V. Nemtsev, A.V. Lukyanenko, T.G. Volova. Modification of Polyhydroxyalkanoates Polymer Films Surface of Various Compositions by Laser Processing// Polymers – 2023 – Vol. 15(3) – P. 531-545. <https://doi.org/10.3390/polym15030531>
3. G.A. Ryltseva, A.E. Dudaev, N.G. Menzyanova, T.G. Volova, N.A. Aleksandrushkina, A.Yu. Efimenko, E.I. Shishatskaya. Influence of PHA substrate surface characteristics on the functional state of endothelial cells // Journal of Functional Biomaterials – 2023 – Vol,14 (2) – P.85-102. <https://doi.org/10.3390/jfb14020085>
4. N. Zhila, K.Sapozhnikova, A.Berezovskaya, E. Kiselev, E.Shishatskaya, A.Vasiliev, Sabu Thomas, T.Volova. Biosynthesis and properties of sulfur-containing polyhydroxyalkanoates (PHAs) produced by wild-type strain *Cupriavidus necator* B-1064// Polymers – 2023 – Vol. 15(4) – P. 1005-1029. <https://doi.org/10.3390/polym15041005>
5. N. O. Zhila, K.Yu. Sapozhnikova, E.G.Kiselev, E.I. Shishatskaya, T.G. Volova. Biosynthesis of poly(3-hydroxybutyrate-*co*-4-hydroxybutyrate) from different 4-hydroxybutyrate precursors by wild-type strain *Cupriavidus necator* IBP/SFU-1 // Processes – 2023 – 11(5), 1423. <https://doi.org/10.3390/pr11051423>
6. E. I. Shishatskaya, A.V. Demidenko, A.G. Sukovaty, A.E. Дудаев, A.V. Mylnikov, K. Кистерский, T.G. Volova. 3D printing of poly(3-hydroxybutyrate-*co*-3-hydroxyvalerate) [P(3HB-*co*-3HV)] biodegradable scaffolds: properties, *in vitro* and *in vivo* evaluation //

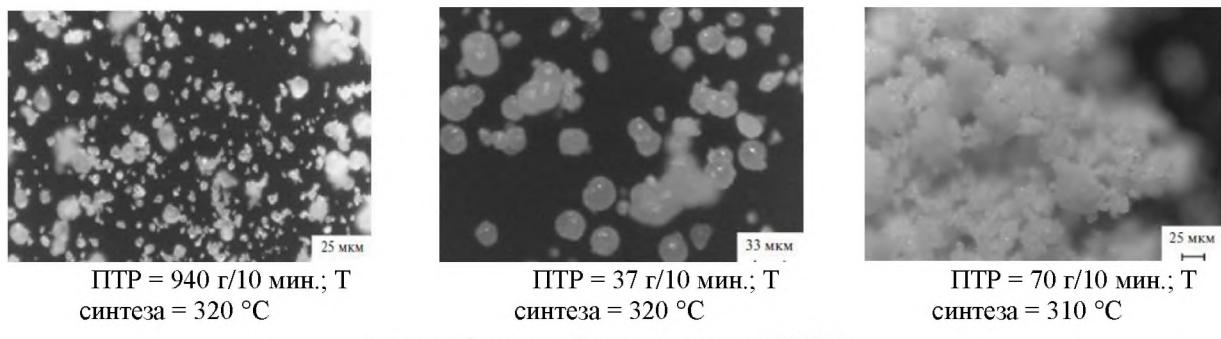
7. A.V. Murueva, A.M. Shershneva, E.I. Shishatskaya and T.G. Volova. Characteristics of microparticles based on resorbable polyhydroxyalkanoates loaded with antibacterial and cytostatic drugs // Int. J. Mol. Sci. 2023-Vol.24 (19) – 14983.
<https://doi.org/10.3390/ijms241914983>

НОВОЕ В РАЗРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С.Ю. Хаширова с сотр.

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова

Выявлено влияние условий синтеза и молекулярной массы (ММ) на свойства порошка полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) для 3D печати методом селективного лазерного спекания (SLS) [1]. Показано, что повышение ММ приводит к увеличению размеров частиц ПЭЭК до 40 мкм, при этом образуются сферические частицы с гладкой поверхностью. Снижение температуры синтеза сопровождается получением порошков с низкой насыпной плотностью, состоящих из агрегированными частицами малых размеров (5-10 мкм).

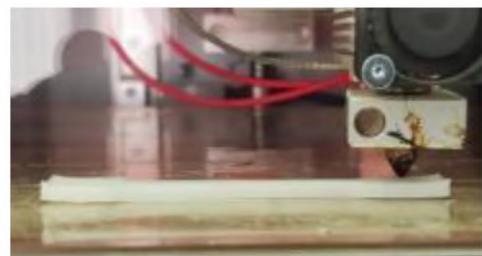


Микрофотографии порошка ПЭЭК

Методом пиролитической газовой хроматографии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии исследована стабильность мостиковых групп ПЭЭК при температурах 400–650 °C и бомбардировке ионами аргона различной энергии и интенсивности [2]. Установлено, что как термическое, так и ионное воздействие приводят к разрушению мостиковых групп C=O и эфирной C—O—C связи между ароматическими кольцами ПЭЭК.



а



б

3D печать образцов из композитов на основе ПЭ и ЭВА с соотношением 70/30 (а) и 30/70 (б), соответственно

Разработаны новые полимер-полимерные композиты на основе сополимера этилена и винилацетата (ЭВА) и полиэтилена высокой плотности (ПЭ) для применения в 3D

печати методом FDM [3]. Обнаружено, что ЭВА приводит к усилению эффекта псевдопластичности ПЭ и частичной аморфизации. Установлено, что регулированием содержания ЭВА можно управлять скоростью кристаллизации ПЭ, что позволяет уменьшить усадку при получении филаментов и 3D печати. Показано, что оптимальным соотношением ПЭ и ЭВА для 3D печати, позволяющим получать образцы с наименьшей усадкой и короблением, является 30/70. Предложен новый аппретирующий состав для получения высокотермостойких термопластичных композитов с улучшенными физико-механическими свойствами, в том числе применимых в 3D печати. Выявлено, что аппретирование стеклянных волокон (СВ), предварительно прошедших химическую активацию, сополигидроксиэфиром, синтезированным на основе ди(4-гидроксифенил)сульфона, 4,4'-диоксидифенилпропана и 3-хлор-1,2-эпоксипропана приводит к повышению адгезии полиэфиримида к СВ, что сопровождается значительном повышением ударной вязкости с надрезом, прочности и модуля упругости, как при изгибе так и при растяжении [4].

1. Khashirova S.Y., Zhansitov A.A., Shakhmurzova K.T., Kurdanova Zh.I., Slonov A.L., Baikaziev A.E., Musov I.V. Synthesis and properties of polyetheretherketone for applications in additive technologies. Russian Chemical Bulletin, 2023, 72 (2), p. 546–552.
2. Shabaev A.S., Kalazhokov Z.Kh., Khashirova S.Yu., Kalazhokov Kh.Kh. and Dolbin I.V. Stability of bridging groups of polyether ether ketone during thermal destruction and exposure to ion beams. Russian Chemical Bulletin, Vol. 72, No. 6, pp. 1422–1429.
3. Slonov, A.; Musov, I.; Zhansitov, A.; Khashirov, A.; Tlupov, A.; Musov, K.; Rzhevskaya, E.; Fomicheva, I.; Potapov, A.; Khashirova, S. Investigation of the Properties of Polyethylene and Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer Blends for 3D Printing Applications. Polymers 2023, 15, 4129.
4. Beev A.A., Khashirova S.Yu., Slonov A.L., Musov I.V., Beeva D.A., Zhansitov A.A. and Grineva L.G. Polyetherimide composite materials filled with dressed glass fibers. Russian Chemical Bulletin, Vol. 72, No. 6, pp. 1343–1348.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ (ЭПОКСИДНЫХ) И НЕОРГАНИЧЕСКИХ (АЛЮМОБОРФОСФАТНЫХ) МАТРИЦ

В.А. Нелюб с сотр

Разработан эффективный метод управления свойствами композиционных материалов путем нанесения на поверхность углеродных тканей и лент металлических покрытий заданной химической природы и толщины и созданы эффективные технологии изготовления многофункциональных изделий на основе органических (эпоксидных) и неорганических (алюмоборфосфатных) матриц, с комплексом ранее недостижимых характеристик: высокими физико-механическими свойствами, теплопроводностью, электропроводностью, эффектами экранирования электромагнитных излучений и стойкостью к высокоэнергетическим разрядам (молниестойкость), что существенно расширяет области их применения.

Научно обоснованы и оптимизированы технологические параметры процесса активации поверхности волокнистых углеродных наполнителей перед нанесением металлических покрытий в низкотемпературной плазме и установлено, что при увеличении продолжительности обработки в плазме атмосферного воздуха, имеет место снижение прочности элементарного углеродного волокна и повышение адгезионной прочности металлического покрытия с углеродной лентой.



Разработана технология нанесения на поверхность углеродной ленты металлических покрытий, установлен механизм образования пленки металлического покрытия на элементарном углеродном волокне, с учетом строения углеродного волокна, размеров зерна металлического покрытия и технологии активации и установлена связь параметров структуры металлических покрытий различной природы с комплексом деформационно-прочностных свойств элементарных углеродных волокон. Проведена количественная оценка параметров шероховатости металлических покрытий на различной базовой длине элементарных углеродных волокон и выполнена качественная оценка их однородности. Установлено, что покрытия из нержавеющей стали, титана, меди и серебра имеют более высокое качество, чем покрытия из цинка и алюминия.

Установлено влияние природы металлического покрытия на углеродных волокнистых наполнителях на кинетику процессов смачивания и растекания органических и неорганических связующих и определены значения коэффициентов проницаемости волокнистых структур с учетом толщины металлического покрытия.

Установлены закономерности изменения значений адгезионной прочности системы элементарное углеродное волокно с металлическим покрытием – полимерная матрица, линейной плотности, относительного удлинения и себестоимости углеродных волокнистых наполнителей в зависимости от толщины и химической природы металлических покрытий, что позволило оптимизировать их толщину.

Разработаны математические модели, позволяющие рассчитывать значения тепловых нагрузок, возникающих в процессе сварки и пайки металлизированных углеродных лент, установлены предельно допустимые значения температур на поверхности одно- и двухслойных металлических покрытий на углеродных волокнах, определены оптимальные технологические режимы получения многослойных армирующих систем и композитов на основе неорганических полимерных матриц с высокой сдвиговой прочностью.

Установлено влияние агрегатного состояния связующего и теплофизических свойств углеродных армирующих материалов с металлическим покрытием на кинетику

процесса отверждения, в рамках теории теплообмена в анизотропных средах, определены зависимости распределения градиентов температур по толщине углепластика в процессе его отверждения, что позволило получить температурные поля наиболее близкие к равновесным условиям нагрева.

1. Нелюб В.А. Оптимизация технологических режимов изготовления деталей из углепластиков // Химическая промышленность сегодня. – 2018. – №6. – С. 3-8.
2. Нелюб, В.А., Берлин А.А. Свойства углепластиков, изготовленных из металлизированных углеродных лент // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – №1(81). – С. 303-309.
3. Нелюб В.А. Исследование влияния покрытий из меди и цинка на свойства углеродных волокон и композитов на их основе // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. №10. С.26-31.
4. V. A. Nelyub. The Effect of Copper and Zinc Coatings on the Properties of Carbon Fibers and Composites Based on Them // Polymer Science, Series D, 2021, Vol. 14, No. 2, pp. 260–26.
5. Технология производства и диагностика качества композитных конструкций ракетно-космической техники. Обеспечение качества производства композитных конструкций: Учебник / М. А. Комков, С. В. Бочкирев, А. Л. Галиновский, В.А. Нелюб, В.А. Тараков, В.А. Романенков, В.Д. Баскаков; Под редакцией М. А. Комкова, А. Л. Галиновского. – Старый Оскол: ООО «Тонкие научноемкие технологии», 2021. – 420 с.
6. Технологии обработки композиционных материалов изделий аэрокосмической техники: Учебник / А. Л. Галиновский, И. Н. Кравченко, С. А. Величко, В.В. Пирогов, В.А. Нелюб, Ч. Цзя, М.И. Абашин – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2022. – 198 с.

ТВЕРДЫЕ АТМОСФЕРО- И АБРАЗИВНОСТОЙКИЕ СУПЕРГИДРОФОБНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ВОЛЬФРАМЕ

**Кузина Е.А., Емельяненко К.А., Теплоногова М.А., Емельяненко А. М.,
Бойнович Л.Б.**

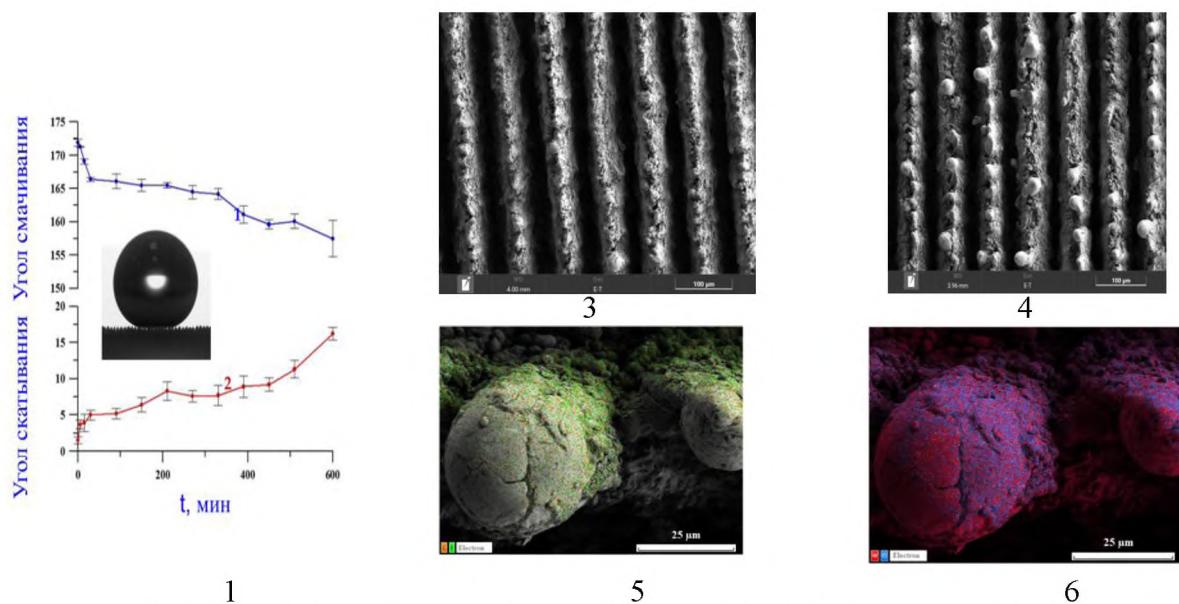
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Разработан метод получения твердых атмосферо- и абразивностойких супергидрофобных покрытий на вольфраме. Метод основан на применении лазерного модифицирования поверхности, приводящего к созданию специфической морфологии, и повышению твердости поверхностного слоя материала за счет лазерной закалки и снижения размера зерен в элементах текстуры. Последующая хемосорбция веществ с низкой поверхностной энергией завершает получение супергидрофобного покрытия с экстремально высоким водоотталкиванием. Полученные материалы имеют угол смачивания $172.1 \pm 0.5^\circ$ при угле скатывания $1.5 \pm 0.4^\circ$ и сохраняют высокие супергидрофобные свойства при длительных воздействиях негативных эксплуатационных факторов, таких, как интенсивный и длительный абразивный износ, нахождение в насыщенных парах воды или при непрерывном контакте с водой.

При комнатной температуре высокий атомный номер и высокая плотность вольфрама позволяют рассматривать его как лучший нетоксичный защитный материал для ядерной медицины, где требуется небольшая толщина вольфрама для защиты от энергии гамма-излучения. Будучи одним из самых тугоплавких материалов, вольфрам одновременно склонен к окислению при контакте с водой и водяными парами, с образованием оксидов, имеющих худшие механические свойства, чем основной металл. Поэтому разработка эффективных промышленно привлекательных методов

формирования защитных покрытий на поверхности вольфрама является весьма востребованной в ядерной медицине

Разработан метод получения твердых атмосферо- и абразивностойких супергидрофобных покрытий на вольфраме. Метод основан на лазерном модифицировании поверхности, с последующим хемосорбцией из паров веществ с низкой поверхностной энергией. Полученное покрытие имеет угол смачивания $172.1 \pm 0.5^\circ$ при угле скатывания $1.5 \pm 0.4^\circ$ и сохраняет высокие супергидрофобные свойства при длительных воздействиях негативных эксплуатационных факторов, таких, как интенсивный абразивный износ, нахождение в насыщенных парах воды или при непрерывном контакте с водой. Уникальная износостойкость полученного покрытия имеет рекордные характеристики и связана с особенностями получаемой морфологии поверхности, лазерной закалкой и снижением размера зерен в элементах текстуры.



Изменение углов смачивания (1) и скатывания (2) в функции времени воздействия слоя вибрирующего песка и РЭМ изображения поверхности до (3) и после (4) 10 ч воздействия, состав и распределение компонентов в элементе текстуры после абразивного воздействия (5) и (6)

1. Kuzina, E.A.; Emelyanenko, K.A.; Teplonogova, M.A.; Emelyanenko, A.M.; Boinovich, L.B. Durable Superhydrophobic Coatings on Tungsten Surface by Nanosecond Laser Ablation and Fluorooxysilane Modification. *Materials* **2023**, *16*, 196. <https://doi.org/10.3390/ma16010196>

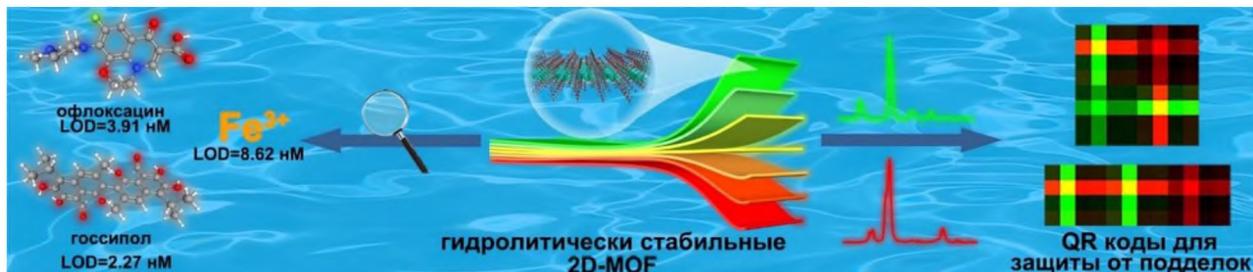
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ ПОЛИМЕР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В НАНОМОЛЯРНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ И МЕТОК ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ПОДДЕЛКИ В.П. Федин

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

В работе описан синтез новых слоистых металл-органических координационных полимеров на основе ионов европия(III) и тербия(III) с одним из самых высоких квантовых выходов фотолюминесценции – 93 % (для Tb^{3+}). Эффективное тушение люминесценции суспензии соединения тербия(III) в воде позволяет обнаруживать присутствие таких вредных веществ как соли железа(III), широко применяемый в животноводстве антибиотик офлоксацин и

фитотоксикант госсипол, входящий в состав хлопкового масла. Пределы обнаружения находятся в области наномолярных концентраций, по этому параметру новый координационный полимер превосходит все описанные в литературе примеры. Комбинация люминесценции ионов европия(III) и тербия(III) позволяет создавать люминесцентные красители с уникальным спектром эмиссии для нанесения меток (QR кодов) для защиты товаров от подделок.

Были синтезированы изоструктурные 2D-координационные полимеры с ионами европия(III) или тербия(III), NIIC-1-Eu и NIIC-1-Tb, слои которых состоят из восьмикоординированных лантанидов(III) ионы, связанные между собой трижды депротонированными лигандами HL^{3-} ($5,5'$ -(пиридин-2,6-диилбис(окси))дизофталевой кислоты, H_4L). В кристаллической структуре слои упаковываются без каких-либо специфических межмолекулярных взаимодействий между ними, что позволяет легко получать стабильные водные суспензии, в которых NIIC-1-Tb проявляет сенсорные свойства с эффектом тушения люминесценции с исключительно низкими пределами обнаружения по отношению к ионам Fe^{3+} (LOD 8,6 нМ), антибиотику офлоксацину (LOD 3,9 нМ) и фитотоксиканту хлопка госсиполу (LOD 2,4 нМ). Помимо низкого предела обнаружения и высокой селективности, NIIC-1-Tb отличается быстрым откликом (60-90 секунд), что делает его превосходящим другие сенсоры на основе МОКП на катионы металлов и органические токсиканты. Квантовый выход фотолюминесценции NIIC-1-Tb составляет 93 %, что является одним из самых высоких показателей среди МОКП на основе лантаноидов. Смешанно-металлические координационные полимеры **NIIC-1-Eu_xTb_{1-x}** демонстрируют эффективную фотолюминесценцию, цвет которой можно модулировать длиной волны возбуждения и временной задержкой мониторинга излучения (в пределах 1 миллисекунды). Кроме того, была разработана оригинальная схема 2D QR-кодирования для защиты объектов от подделки путем маркировки красителями **NIIC-1-Eu_xTb_{1-x}** с уникальным и настраиваемым спектром излучения.



Yu X., Ryadun A.A., Pavlov D.I., Guselnikova T.Y., Potapov A.S., Fedin V.P. Highly Luminescent Lanthanide Metal–Organic Frameworks with Tunable Color for Nanomolar Detection of Iron(III), Ofloxacin and Gossypol and Anti-counterfeiting Applications // *Angew. Chemie Int. Ed.* **2023**, 62, e202306680. <https://doi.org/10.1002/anie.202306680>.

Приложения

**Аналитическая записка
«Некоторые аспекты современного состояния вопроса по разработке и получению
отечественных материалов для медицины»
по итогам совместных заседаний Научного совета РАН по материалам и
наноматериалам и Отделения медицинских наук РАН, проведенных в 2022 и 2023 гг.**

История развития науки и техники убедительно свидетельствует о том, что прогресс в наиболее важных для развития цивилизации отраслях промышленности, к которым, прежде всего, относится медицинская промышленность, определяется успехами в разработке новых материалов, технологий их получения и обработки. Известно, что крупные зарубежные фирмы в развитых странах широким фронтом проводят фундаментальные и прикладные научные исследования в рассматриваемой области. Результаты таких исследований в кратчайшие сроки осваиваются на практике и служат основой для становления новых медицинских технологий и практических методов лечения.

Наиболее материалоемкими и постоянно нуждающимися в новых материалах, требования к комплексу служебных характеристик которых постоянно возрастают, в медицинской практике являются такие направления как стоматология, травматология и ортопедия, хирургия и другие области медицины. Наиболее широко в настоящее время в качестве медицинских имплантатов (прежде всего костных имплантатов), деталей конструкций эндо- и экзопротезов и др. используются металлы и сплавы, среди которых лидерами является титан и его сплавы, нержавеющие стали и магниевые сплавы. В последние годы расширяется область применения в качестве костных имплантатов и заместителей костной ткани полимерных материалов. Кроме этого, последние широко используются также в качестве материалов для имплантатов кровеносных сосудов, конduitов для регенерации периферических нервов, хирургических шовных нитей, гемостатиков и других.

Ниже в тексте Аналитической записи представлена краткая информация о современном состоянии и *проблемах в области материалов и изделий, в основном, для хирургии органов головы и шеи, для трансплантиологии*. В Приложении к Аналитической записи приведен перечень конкретных отечественных перспективных материалов и технологий, которые могут быть освоены в ближайшие годы в медицинской практике (Приложение).

Следует отметить, что одними из важнейших частей человеческого тела, нуждающихся в значительном количестве реконструктивных материалов, являются голова и шея, и требуется системный подход к их патологии, в большинстве своем представленной травмами, воспалениями, опухолями, часто имеющими единый патогенез развития.

Статистика свидетельствует о неуклонном росте в последние десятилетия в мире стихийных бедствий, техногенных катастроф, транспортных аварий, военных конфликтов, которые сопровождаются массовыми травматическими повреждениями, особенно повреждениями головного мозга. Тяжелая черепно-мозговая травма (ЧМТ), краинофациальная травма остается чрезвычайно актуальной медико-социальной проблемой, что связано с высокой летальностью и инвалидизацией. Так, например, повреждения черепа и головного мозга составляют более трети от числа всех травм, которые, по данным ВОЗ, ежегодно возрастают не менее, чем на 2%. За последние 10–15 лет эпидемиологическая ситуация по черепно-мозговому травматизму ухудшилась, и распространенность ЧМТ в России составила, по разным оценкам, от 310 до 680 случаев на 100 тыс. населения в год. ЧМТ, полученные в результате несчастных случаев,

происходят каждые 15 секунд. Исходы нейротравм в Российской Федерации приводят к стойкой утрате трудоспособности более 100 тыс. человек ежегодно, что создает серьезные экономические проблемы, связанные с социальными выплатами, которые достигают 2,6% ВВП, а суммарный ущерб, наносимый только нейротравмой, составляет 495 млрд рублей в год.

Достижения медицины и нейронауки за последние десятилетия позволили снизить число летальных исходов; вместе с тем значительно увеличилось число тяжелых инвалидов (от 50 до 90%), где значимый удельный вес составляют пациенты, нуждающиеся в реконструктивной восстановительной хирургии. Восстановление анатомической целостности при травматических повреждениях лицевого скелета и черепа, включающих в себя декомпрессивную краниэктомию, огнестрельные ранения, а также другие патологические процессы является первоочередной задачей восстановительного лечения, которое предполагает в каждом случае индивидуальный подход. Отдельную проблему представляют пациенты детского возраста, когда реконструктивная хирургия должна осуществляться в условиях растущего черепа.

В связи с большой частотой травматических повреждений, распространенностью заболеваний опорно-двигательного аппарата, в том числе и опухолевой патологии, неизменно растет интерес к костной пластике и замещению дефектов костной ткани. При замещении костного дефекта аутопластика остается «золотым стандартом» лечения, поскольку только такие трансплантаты обладают оптимальными остеогенностью, остеоиндуктивностью и остеокондуктивностью, обеспечивая наиболее эффективную остеоинтеграцию. При всех достоинствах костная аутопластика имеет и свои ограничения, прежде всего, связанные с травматичностью взятия аутотрансплантатов и невозможностью обеспечить достаточное количество материала для замещения больших костных дефектов. Аллотрансплантаты и ксенотрансплантаты очень сильно уступают аутологичной кости по способности к остеоинтеграции, так как они фактически представляют собой только матрицу, соответствующую по структуре костной ткани, которая не содержит ни факторов роста, ни живых клеток. Кроме того, существенные риски применения аллогенного и ксеногенного костного материала в связи иммунологической несовместимостью и вероятностью трансмиссии вирусных и прионовых инфекций.

Интенсивный рост потребления металлических, костно-пластиических и других материалов в России и в мире наблюдается и в стоматологии, что связывают с устойчивой тенденцией ежегодного роста количества выполненных костно-пластиических операций, расширяющих показания к дентальной имплантации. Судя по данным ретроспективного анализа, в России более половины всех дентальных имплантаций сопровождаются костной пластикой. При этом встречаемость дефектов на верхней и нижней челюстях примерно равна и составляет 49,3% и 50,7% соответственно. В ряде случаев используют дополнительные армирующие и фиксирующие конструкции типа титановых сеток, костных блоков, пинов и винтов, применяют аутогенную костную ткань, что сопровождается осложнениями в 2,6–13,5% случаев. Отметим, что успешно применяемый в последние годы метод дентальной имплантации, практически, не доступен для средне- и малообеспеченных слоев населения, среди которых много пациентов, остро нуждающихся в этом методе лечения. В первую очередь к ним относятся лица пожилого и престарелого возраста. Известно, что в этой возрастной группе только 4% имеют нормативное количество зубов, у 50 % - отсутствуют более половины зубов, а у 10 % - нет ни одного зуба или сохранились лишь 2-3 зуба. Потребность пожилых и престарелых людей в зубных протезах, поддерживаемых имплантатами, может быть определена по двум показателям: общей потребности и облигатной (по острой необходимости). Общая потребность составляет 10% от числа пожилых и престарелых людей, а облигатная - 25% от общей потребности. Это в масштабах России примерно 3- 3,5 млн. человек по общей потребности и 800- 900 тыс. чел. по острой нуждаемости.

Подавляющее большинство производимых в России дентальных титановых имплантатов изготавливаются из полуфабрикатов зарубежного производства. До последнего времени в цепочку по производству титанового проката для предприятий медицинской промышленности были включены зарубежные предприятия, локализованные за пределами России. В частности, выпускаемый отечественной корпорацией ВСМПО-АВИСМА (г. Верхняя Салда), являющейся самым крупным мировым производителем титана, титановый прокат отправлялся на финишный передел прокатной продукции в прутки малого диаметра с жесткими допусками для нужд медицинской отрасли на фирму «Universal Stainless & Alloy Products (США)» и европейские фирмы. Указанные фирмы, в свою очередь, поставляли калиброванные титановые прутки на российский рынок. Из этих прутков на закупленном рядом отечественных фирм зарубежном оборудовании производились изделия, в том числе медицинские имплантаты и детали эндопротезов.

Более десяти лет тому назад в Центре наноструктурных материалов и нанотехнологий НИУ БелГУ (Центр НСМН НИУ БелГУ, г. Белгород) во взаимодействии с академическими институтами г. Черноголовки (ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ИСМАН), ИФПМ РАН (г. Томск) и научными подразделениями НИТУ МИСИС (г. Москва) были разработаны и запатентованы технологии производства калиброванных прутков из высокопрочного субмикрокристаллического титана, не содержащего вредных для живого организма легирующих элементов, и нанесения микродуговых биоактивных покрытий на готовые медицинские изделия из этого материала. В Центре НСМН НИУ БелГУ был создан опытно-промышленный участок, на котором были реализованы данные технологии. Костные имплантаты, произведённые из изготовленного в Центре НСМН НИУ БелГУ субмикрокристаллического титана на промышленной базе Всероссийского научно-исследовательского и проектного института медицинских инструментов (г. Казань) в 2009 году прошли клинические испытания с последующим оформлением государственной регистрации для их применения в медицинской практике. Изготовленные из них имплантаты были доступны на рынке медицинских изделий РФ. Однако в существовавших тогда условиях данные перспективные отечественные разработки не выдержали конкуренции с зарубежными аналогами, несмотря на то, что обладали более выгодным соотношением цена-качество. По-видимому, имеющийся в указанных организациях опыт может быть использован для трансфера рассматриваемых технологий на масштаб промышленного производства в объеме потребностей предприятий медицинской промышленности РФ с обеспечением полного импортозамещения в РФ.

Возможным решением этой проблемы может быть также предложение разработчиков из Уфимского университета науки и технологий (г. Уфа) по организации производства прецизионных заготовок – полуфабрикатов в виде прутков, проволоки и лент из наноструктурного титана марки Grade 4, как материала для изготовления стоматологических имплантатов улучшенной конструкции и повышенной функциональности.

Следует специально отметить, что в настоящее время имеет место существенное различие между ёмкостью и реальным объемом рынка, например, стоматологических имплантатов и абатментов к ним: ёмкость рынка составляет 5,4 млн. изделий, а объём рынка - 2,2 млн. изделий. Это объясняется недоступностью данных изделий для значительной части населения, так как высокая стоимость стоматологических услуг и имплантатов западного производства не покрывается страховкой медициной.

Согласно оценкам ВСМПО «АВИСМА» объем мирового рынка медицинского титана, включая полуфабрикаты для изготовления костных имплантатов и медицинского инструмента, составляет более 2,5 тыс. тонн в год. При этом примерно половина (40-50%) титана медицинского назначения используется для изготовления имплантатов, а другая половина – для изготовления медицинского инструмента (чаще качественный

хирургический инструмент для микрокардиохирургии и офтальмологии). Оценка количества потребляемого медицинского титана в РФ, сделанная на основании данных по общемировому потреблению титана и доли численности населения РФ от общемировой, составляет более 50 тонн в год. При этом порядка 20 тонн титана в РФ используется для производства костных и дентальных имплантатов.

В соответствии с результатами маркетинговых исследований ежегодные потребности в медицинских костных имплантатах (включая дентальные) составляют: винты и пластины для остеосинтеза 552 и 69 тыс. шт., соответственно; канюлированные винты для остеосинтеза ~ 150 тыс. шт.; бедренные и мышцелковые динамические системы ~ 25 тыс. шт.; интрамедуллярные штифты (гвозди) ~ 23 тыс. шт.; стоматологические имплантаты ~ 270 тыс. шт. В пересчете на вес это составляет около 19 тонн готовых изделий, причем данная оценка сделана по минимальной величине веса изделий. В количественном выражении более 90%, имплантатов подвергается поверхностной обработке с целью улучшения остеоинтеграции. Несмотря на то, что объем рынка медицинского титана в России, по нашим оценкам, составляет около 120 млн руб., потребности в новых материалах для имплантологии в РФ составляют не менее 220-280 млн. руб. год. Это связано с хроническим недофинансированием здравоохранения и медицинской промышленности в России в последние десятилетия.

В настоящее время в реконструктивной хирургии предложено большое количество материалов синтетического происхождения. Наиболее широко применяют, гидроксиапатит, полиметилметакрилат (ПММА), сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМП), полилактид, а также отечественный «Репирен» на основе полипропилена, реже используется синтетическое тканое волокно и малоизвестный в РФ, относительно недавно появившийся полиэфиркетонкетон (ПЭКК). При этом практически все представленные на отечественном рынке полимерные материалы медицинского назначения являются импортными, недоступными или малодоступными в условиях санкционных ограничений. Это же относится и к имплантатам, которые к тому же характеризуются высокой стоимостью (один имплантат на основе ПЭК весом 70 г стоит около 1 млн. рублей).

Гидроксиапатит (ГА) является основным компонентом минеральной составляющей костной и зубной тканей человека. Считается, что искусственно полученный ГА по химическому составу и кристаллографическим показателям практически идентичен ГА нативной кости. Важными свойствами ГА являются полная неиммуногенность и способность к медленной резорбции при взаимодействии с живыми тканями, кроме того ГА индуцирует остеогенез и обладает остеокондуктивными свойствами, что ускоряет процесс регенерации кости. Подобными свойствами обладает другой минерал – трикальцийфосфат (ТКФ), имеющий чуть большую скорость резорбции, чем у ГА, в связи с чем очень часто ТКФ используют в комбинации с ГА. Технология микродугового оксидирования поверхности элементов протезов крупных суставов (адаптированная к промышленным условиям в рамках работ консорциума НИУ «БелГУ» ФИЦ ПХФ И МХ РАН, ИСМАН) и имеющая патентную защиту в России, странах СНГ и Израиле была внедрена в производство на ОАО «Красногорский завод им. С.А. Зверева» (г. Красногорск Моск. обл. (2015 г.). Данное защитное покрытие частично решает проблемы водородного охрупчивания малолегированных титановых сплавов, не содержащих вредных для живого организма компонентов, а морфология его поверхности ускоряет процесс остеоинтеграции.

Синтетический ГА и ТКФ активно используются в медицинской практике мирового уровня в качестве остеопластического материала для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модифицирования поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства. Кроме того, порошок ГА и ТКФ может использоваться для 3D-печати индивидуальных резорбируемых имплантатов, что весьма важно для хирургии. Такой имплантат в организме с течением времени медленно разлагается, выделяя ионы кальция и фосфата,

необходимые для формирования новой родной костной ткани на месте дефекта, а также выполняет роль пассивного каркаса (матрикса) для наращивания новой ткани. Благодаря пористой структуре изделия при необходимости можно проводить предварительную пропитку имплантата теми или иными антибактериальными препаратами или биоорганическим добавками (коллаген, хитозан, гиалуроновая кислота).

На сегодняшний день в России гранулы из ГА и ТКФ применяются в стоматологии, травматологии и реконструктивно-восстановительной хирургии как остеопластический материал для заполнения небольших полостей в костных тканях. В России также разработаны остеопластические материалы на основе биоразлагаемых пористых микросфер и матриксов из полигидроксиалканоатов (ПГА) и их композитов с ГА, микросфер и матриксов из минерализованного фиброна щелка. Было показано, что материалы на основе ПГА обладают собственной остеоиндуктивной активностью. Получены материалы на основе ПГА с усиленной остеоиндуктивной активностью за счет пролонгированного высвобождения загруженных в полимерную матрицу имплантатов лекарственных веществ. Имеются варианты использования дорогостоящего синтетического материала импортного производства (>50 тыс. руб. за 5 см³) и относительно недорогих российских аналогов (>2000 руб. за 5 см³).

В случае наличия безкраевого дефекта кости, где использование гранул невозможно, возникают трудности. Возможен вариант применения аутогенной (эндогенной) кости или гомологичной кости (из банка костных трансплантатов), однако оба варианта практически не используются. Использование аутогенной кости ограничено ввиду ее трудной доступности и травматизации пациента при дополнительной операции, а гомологичная кость несет с собой высокие иммунологические риски и риск инфицирования (СПИД, гепатит и др.). Применение пористых изделий, полученных из губчатых костей крупного рогатого скота путем химической и термической обработки (ксеноматериал), также не желателен, т.к. имеется вероятность заражения прионовыми инфекциями, в связи с чем они запрещены в США и странах Евросоюза.

В случае необходимости замещения больших костных дефектов или отсутствия части кости применяют методику индуцированной костной мембраны, в которой восстановление кости проходит в 2 этапа. На первом стимулируется создание естественного барьера (мембранны), для чего используется небиорезорбируемый полимерный материал, на втором – производится его удаление и заполнение образовавшейся полости биоразлагаемыми гранулами (ГА/ТКФ).

В некоторых случаях (травмы костей, несущих физическую нагрузку) применяют титановые имплантаты, в том числе изготавливаемые персонально, с помощью 3D печати. В данном варианте имплантации возникают ограничения на проведение дальнейшего контроля состояния пациента с применением МРТ технологий, а также имеются случаи отторжения или плохой фиксации металлического имплантата.

Активная научная деятельность в данном направлении, проводимая учеными всего мира, в том числе учеными из РФ, показала высокий потенциал для применения в хирургии таких фосфатов кальция, как ГА и ТКФ. Данные вещества позволяют проводить их модификацию различными ионами, придавая материалам дополнительные полезные свойства. Например, можно ввести антибактериальные ионы, которые в процессе резорбции имплантата будут медленно высвобождаться и выполнять свою важную функцию. Можно модифицировать ионами, обладающими противораковыми свойствами или ионами, позволяющими проводить локальную гипертермию. Показано, что покрытие титановых имплантатов слоем ГА позволяет значительно улучшить фиксацию имплантата за счет ускорения процесса остеогенеза в зазоре между нативной костью и металлом, а введение дополнительных ионов цинка и кремния ускоряет процесс минерализации, что должно уменьшить процесс реабилитации пациента. Кроме того, имеется перспектива разработки технологии 3D печати индивидуальных биоразлагаемых керамических имплантатов из ГА и/или ТКФ с применением технологии селективной

лазерной печати, получившей широкое распространение для изготовления металлических имплантатов. Изделия заданной формы на основе полигидроксиалканоатов (ПГА), полилактидов, фибропластика, альгината и других полимеров можно изготавливать также методом непрямой 3D печати, когда сначала с помощью 3D-печати изготавливается форма из другого небиоразлагаемого термопластика, которую затем заполняют раствором биоразлагаемых полимеров и их композитов, в результате чего можно получать имплантаты с заданной формой и микроструктурой.

Отметим, что к материалам биомедицинского назначения предъявляются особые требования. Они должны обладать комплексом характеристик, определяемых в зависимости от их назначения. Особенno важны их безопасность, биомеханическая прочность и пластичность, биологическая совместимость и контролируемая биодеградируемость; кроме того, приветствуются его остеогенные (остеоиндуктивные и остеокондуктивные) свойства, а также рентгенопрозрачность, химическая стабильность, устойчивость к стерилизации при высоких температурах и возможность адаптации индивидуально к каждому пациенту в сочетании с возможностью перерабатываться аддитивным производственным процессом. Кроме того, в настоящее время требуются материалы с факторами роста, обеспечивающими полную гистотипическую регенерацию тканей за счёт регенерации путём индукции. В том числе это касается и костно-пластических материалов.

Клинической проблемой, с которой сталкиваются производители костно-замещающих материалов (преимущественно, порошков и гранул фосфатов кальция) является их слабо контролируемая биологическая деградация и механическая прочность. В результате, при замещении объемных дефектов костей (например, после резекции опухолей) происходит смачивание костно-пластического материала, его усадка (с различной скоростью у различных пациентов), образование повторных полостей, которые могут заселять злокачественные клетки при остаточной опухолевой болезни, но в которые не могут прорастать здоровые остеобlastы. Поэтому важными свойствами разрабатываемого материала является сохранение его формы в течение длительного послеоперационного времени (несколько лет) и выраженный скаффолдоподобный рельеф (объемная пористость, шероховатость поверхности), который бы способствовал врастанию стволовых клеток и кровеносных сосудов с последующим образованием новой костной ткани по механизму остеокондукции.

Например, можно сформулировать следующие требования к имплантату: индивидуализация геометрии (форма и объем), масса – не больше заменяемого костного дефекта, гипоаллергенный, ареактивный, биосовместимый, механический свойства: предел прочности для силовых элементов ≥ 100 Мпа, предел текучести ≥ 100 Мпа, предел прочности для остеоинтегрируемых элементов ≥ 20 Мпа, модуль упругости для суставных поверхностей и поверхностей силовых элементов – 15-30 Гпа, модуль упругости для остеоинтегрируемых элементов – 1- 7 ГПа; свойство восстановления функции.

Недостаточно изученной проблемой для внедрения в клиническую практику биоразлагаемых имплантатов является проблема изменения их физико-химических свойств в процессе биодеградации, прежде всего, механической прочности и пластичности, кристалличности, гидрофильности и других, что требует введения в программу доклинических исследований текстов по анализу кинетики изменения физико-химических свойств биоматериалов в процессе их биодеградации в различных модельных системах.

Комплекс характеристик, предъявляемых к материалам для медицины, необходимо непрерывно исследовать в тесном сотрудничестве материаловедов, химиков и физиков с биологами и медиками. Очень важно, чтобы эти характеристики были подтверждены соответствующими документами, позволяющими их применение в медицинской практике.

Отмеченные выше проблемы требует разработки отечественных материалов для медицины и изделий из них, как требующихся на данном этапе, так и в ближайшей перспективе.

Перспективным направлением в области создания материалов для медицины становится разработка композитных материалов, которые сочетали бы достоинства и компенсировали недостатки различных компонентов, входящих в композит. К ним относится широкий ассортимент биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов различной морфологии с регулируемыми физико-механическими характеристиками и заранее заданными сроками деградации. Биосовместимые полимерные материалы широко применяются в самых различных областях медицины и фармацевтики. На основе полимеров синтетического и природного происхождения производятся шовные нити, сетки, ожоговые и раневые повязки, стенты, крепежные изделия для фиксации переломов и многие другие важнейшие медицинские изделия. В челюстно-лицевой хирургии на смену металлическим пластинам и винтам постепенно приходят аналоги, произведенные из биодеградируемых полимеров. Применение таких материалов позволяет повысить эффективность лечения пациентов, а также сократить срок терапии за счет отказа от повторной операции для удаления изделия. В последнее время биосовместимые и биодеградируемые полимеры активно применяются в регенеративной медицине для изготовления скаффолдов – конструкций, поддерживающих клетки при выращивании искусственных органов и тканей, в том числе костей. Важно, чтобы полученные полимеры отвечали строгим требованиям, предъявляемым к материалам медицинского назначения. В настоящее время важно решить не только острый вопрос импортозамещения, но и создать научно-технологические основы производства функциональных полимерных материалов нового поколения. Такие материалы должны обладать биоактивными свойствами, содержать различные терапевтические агенты, запрограммированным образом реагировать на внешние стимулы и др. Для развития персонализированной медицины важно создать материалы для аддитивных технологий (3D-печати и биопечати). В связи с этим актуальным в настоящее время является создание собственной отечественной базы по наработке полимеров молочной кислоты, так называемых полилактидов, полигликоловидов и их сополимеров, а также фотоотверждаемых производных фиброина и желатина. Эти биосовместимые биорезорбируемые полимеры широко используются в медицинской практике за рубежом и подтвердили свою значимость при создании хирургических шовных нитей, имплантатов (графтов) кровеносных сосудов, кондуитов для регенерации периферических нервов, в костной пластике и т.д. (перечень всех этих разработок лаборатории «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» и биологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова приведены в Приложении). Отметим, что в настоящее время в РФ используются полилактиды фирмы PURAC (Нидерланды). В России отсутствуют предприятия, выпускающие биоразлагаемые полимерные материалы. При этом потребность отечественного рынка в биоразлагаемых полимерах медицинского назначения оценивается не менее 200 тонн/год, включая потребности в биоразлагаемых хирургических шовных материалах – 90 млн погонных метров/год, костных имплантатах – порядка 300 тыс. в год (27 операций на каждые 10 000 жителей РФ, по данным РНИИТО), остеиндуктивных материалах нового поколения (цементов, коллагенов, белков кости и т.д.) – около 50 тыс. кг в год, полимерных биоразлагаемых перевязочных материалах – десятки тыс. тонн в год (<http://www.bmte.ru/content/analiz-tynka-i-potrebnosti-sustavnyh-implantatov>).

Весьма востребованными при создании гемостатических препаратов в виде волокон, высокопористых губок, раневых покрытий являются хитозаны. Они выпускаются фирмой «Биопрогресс» (Россия), но для эффективного использования необходимо повысить качество выпускаемых хитозанов. К сожалению, в настоящее время

при получении био-волокон приходится использовать хитозан фирмы НЕРРА (Германия), которая уже предупреждает о возможном прекращении поставки своей продукции в РФ.

Среди перспективных «зеленых» пластиков можно назвать ПГА – разрушаемые полимеры микробиологического происхождения. Базовые свойства ПГА – это кристалличность, температурные и молекулярно-массовые характеристики, биоразрушаемость, устойчивость к УФ-лучам, отсутствие гидролиза в жидких средах, термопластичность – позволяют рассматривать их в качестве конкурента известных биоразлагаемых пластиков (полилактид, полиэтилентерефталат, полиамиды и др.) для разработки изделий и устройств медико-биологического назначения, включая возможность получения нетканых и одноразовых изделий, шовных и перевязочных материалов, контролируемых систем доставки лекарственных средств, матриксов для клеточной и тканевой инженерии, эндопротезов и элементов для восстановительной хирургии и трансплантологии.

Серьезные перспективы суперконструкционных полимерных материалов, таких как полиэфирэфиркетон (ПЭЭК), полиэфиркетонкетон (ПЭКК), полифениленсульфон (ПФСн), полифениленсульфид и композиты на их основе в реконструктивной хирургии обусловлены такими их свойствами, как биоинертность, рентгенопрозрачность, химическая стабильность, превосходная устойчивость к стерилизации при высоких температурах, а также возможность адаптации индивидуально к каждому пациенту в сочетании с возможность осуществления аддитивных производственных процессов. Можно предполагать, что эти материалы по прочности (более 65 Мпа) и биосовместимости могут стать в будущем в определенных случаях перспективными альтернативами титана и его сплавам.

Востребованными в настоящее время и перспективными в будущем являются материалы с памятью формы на основе никелида титана, они широко используются в различных отраслях медицины в силу таких физикомеханических свойств, как гистерезисное поведение, отсутствие химических реакций на введение в ткани, изменение формы при изменении напряжения и температуры, демпфирующее соответствие свойств материала биологическим тканям, пористо-проницаемые свойства для клеточных и тканевых структур, соответствие капиллярности и смачиваемости материала характеристикам тканей, способность инкубировать клеточные культуры и создавать условия для их роста в проницаемой структуре имплантата с последующим поддержанием функции органа, надежность функционирования в организме в условиях знакопеременного воздействия нагрузки, отсутствие проблем стерилизации. Благодаря указанным свойствам, после замещения костных и мягкотканых дефектов имплантатами, изготовленными из данных материалов, последние в тканях не отторгаются и эффективно длительно функционируют в организме.

Одной из основных проблем использования биоматериалов и медицинских изделий на их основе в России, является недостаточная их охарактеризованность, контроль качества физико-химических и биологических свойств. Большим преимуществом крупных международных корпораций – производителей подавляющего большинства медицинских изделий, является наличие у них развитого инструментария не столько производства, сколько контроля качества и свойств биоматериалов, а также наличие обширных баз данных, накопленных за многие десятилетия. В связи с этим появляется потребность в централизованном стимулировании создания исследовательских центров и испытательных институтов, обладающих всем комплексом оборудования и технологий для осуществления контроля качества и испытания свойств максимально широкого спектра различных биоматериалов и медицинских изделий. Конечно же, такие центры должны быть тесно связаны с компаниями – производителями изделий, которые самостоятельно часто не могут нести столь большие издержки. Отечественные компании – производители медицинских изделий и материалов не обладают такой величиной и такими громадными возможностями, как их зарубежные конкуренты, что часто приводит

как к сложности экспорта отечественных изделий, так и проигрышу конкуренции внутри страны. Создание системы характеризации различных биоматериалов по широкому спектру параметров позволит производить линейки того или иного биоматериала с разными заданными физико-химическими и биологическими свойствами и, соответственно, строго определенным предназначением для медицинского применения.

Ниже приведен перечень материалов и медицинских изделий, перспективных для разработки российскими специалистами и импортозамещения, в областях

- патологии носа и глотки:

- Материалы для закрытия дефектов свода и основания черепа.
- Трансплантаты для реконструкции позвоночника и позвоночного канала.
- Трансплантаты, используемые для реконструкции лицевого скелета.
- Трансплантаты для травматологии и ортопедии.
- Биопечать хрящевой ткани при дефектах носовой перегородки,
- патологии уха и основания черепа:
- Матрица для закрытия дефектов барабанной перепонки.
- Тимпанальные шунты.
- Протезы для стапедопластики (частичные и тотальные).
- Материалы для закрытия/облитерации дефектов костной ткани,
- патологии верхних дыхательных путей:
- Ларингеальные стенты
- Имплтанты для медиалинизации голосовой складки
- Трахеотомическая трубка с раздувной манжетой
- Трахеопищеводный клапан
- Эндопротезы, используемые при резекции гортани
- Трансплантаты, используемые для реконструкции после обширных онкологических операций,
- детской ЛОР-патологии:
- Вентиляционные трубы (шунты) из металла (титан, позолоченное серебро).
- Баллоны для баллонной дилатации гортани, трахеи, бронхов и индефляторы для них.
- Баллоны для баллонной дилатации слуховой трубы и индефляторы для них.
- Трубы трахеостомические силиконовые.
- Губчатые тампоны (носовые, ушные) из поливинилового спирта и аналогов.
- Трахеальные стенты силиконовые (гладкие, сетчатые),
- пластической хирургии:
- Шовный материал резорбируемый (аналог Vicryl).
- Шовный материал не резорбируемый (аналог Prolen).
- Кожные филлеры (аналоги Sculptra, ArteFill)
- Материал гемостатический рассасывающийся.
- Жидкий фотополимер (пластиическая масса) для 3D принтера,
- челюсто-лицевой хирургии и ортопедии:
- изделия для фиксации костей (скобы, винты, пластины, штифты, шпагаты) из металлических, керамических, полимерных и композитных материалов, в т.ч. биорассасывающиеся
- Костнопластический биоматериал (аналог Bio-Oss).
- Костнопластический биоматериал, способный к пролонгированному высвобождению лекарственных веществ
- Резорбируемая барьерная мембрана (аналог Bio-Gide).
- стоматологии:
- Пломбировочные материалы.
- Ортопедические материалы.
- Материалы для эндодонтии.
- Костнопластические материалы.

- Аnestетики.
- Растворы для дезинфекции.
- Зуботехнические материалы.
- Наноструктурированный особопрочный титан для изготовления имплантатов улучшенной конструкции,
- общей хирургии:
- Шовный материал резорбируемый (аналог Vicryl).
- Шовный материал не резорбируемый (аналог Prolen).
- Скобы для кожных степлеров (аналог Insorb).
- Плаг для колопроктологии (аналог Biodesign).
- Проводник для регенерации периферических нервов (аналог GEM Neurotube)
- сердечно-сосудистой хирургии:
- Кардиоваскулярные стенты
- Кардиоваскулярные стенты с полимерным покрытием, способные к пролонгированному высвобождению лекарственных веществ
- Биоразлагаемые кардиоваскулярные эндопротезы-стенты (из магниевых сплавов, полимерные)
- Венозные кава-фильтры
- Сердечно-сосудистые заплаты
- Протезы сосудов
- офтальмологии:
- Органические материалы для временного замещения стекловидного тела.
- Вискоэластики (растворы для операций на глазном яблоке).
- Красители для эпиретинальной мембранны.
- Силиконовое масло,
- аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации:
- Материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей пациента.
- Импланты костной проводимости, материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей
- нейрохирургии:
- Направляющая для восстановления периферических нервов, проводник для регенерации периферических нервов (аналог GEM Neurotube)
- Полимерные микроносители для направленной доставки биологически активных веществ и клеток через гемато-энцефалический барьер.
- абдоминальной хирургии:
- Биоискусственные эндопротезы для регенерации органов желудочно-кишечного тракта.

Следует отметить, что российские материаловеды работают над созданием материалов для медицины и изделий из них. С перечнем их разработок можно ознакомиться в Приложении 1, ниже, для примера, приведены некоторые из них.

Ведущими отечественными производителями медицинских имплантатов для челюстно-лицевой хирургии, ортопедии и сердечно-сосудистой хирургии на основе аллогенных и ксеногенных материалов являются ООО «Кардиоплант» (подразделение ЗАО НПП «МедИнж», г. Пенза), ЗАО «ОЭЗ «ВладМиВа» (г. Белгород), ООО «Русимплант» (г. Москва), ООО "Лиоселл" (г. Самара). Так, ООО «Кардиоплант» является одним из мировых лидеров в производстве искусственных сердечных клапанов.

Так, в Кабардино-Балкарском государственном университете (КГБУ) созданы материалы, имеющие перспективы применения в нейрохирургии, спинальной хирургии, стоматологии, травматологии, ортопедии.

Полимер КБГУ	Зарубежный аналог
--------------	-------------------

Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) различных марок и угленаполненные композиты на их основе для литья и 3D печати (TRL 6)	Линейка марок PEEK фирмы Victrex (чистые и угленаполненные марки)
Полифениленсульфон (ПФСн) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати (TRL 6)	Линейка марок PPSU компаний Solvay (Radel) и BASF (Ultrason P)
Полисульфон (ПСФ) различных марок для литья и 3D печати (TRL 6)	Линейка марок PSU компаний Solvay (Udel) и BASF (Ultrason S)
Полифениленсульфид (ПФС) и композиты на его основе (TRL 5)	Марки с низкой вязкостью для композитов Fortron 0203 и Fortron 0205 фирмы Celanese
Полиэфириimid (ПЭИ) и композиты на его основе для литья и 3D печати (TRL 5)	PEI Ultem фирмы Sabic
Сополимеры на основе ПЭКК различных марок и композиты на их основе и композиты на его основе для литья и 3D печати (TRL 5)	Зарубежных аналогов нет
Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати (TRL 5)	Линейка марок PEKK компании Arkema

Характеристики ПЭЭК-КБГУ по сравнению с материалами имплантатов

Наименование показателя	СВМПЭ	ПТФЭ	ПММА	ПЭЭК-КБГУ
Плотность, г/см ³	0,93 – 0,95	2,13 – 2,23	1,14 – 1,19	1,3-1,33
Модуль упругости при растяжении, МПа	570 - 1350	400-750	1600 - 3300	3100-4100
Прочность при разрыве, МПа	40-60	20-35	38-76	95-120
Относительное удлинение, %	380-600	350-550	2-45	3-150
Теплостойкость по Вика, °C	70-90	100-120	80-113	345
Максимальная температура длительной эксплуатации, °C	62	260	70	220-260
Коэффициент трения	0,1-0,2	0,05–0,10	0,5-0,7	0,2-0,4

Характеристики ПЭЭК-КБГУ по сравнению с титаном, костью и импортным аналогом

Наименование	Модуль упругости при изгибе, ГПа	Предел прочности при растяжении, МПа
Кортикальная кость	7,0-30,0	50-200
PEEK Optima (Victrex)	4,1	100-108
Титан / низкомодульные Ti сплавы / микропористые низкомодульные Ti сплавы	103-114 / 20.0-35.3 / 3.0-21.0	240-890 / 250-500 /72-480
ПЭЭК (КБГУ)	3,6-4,0	100-118
ПЭЭК+40 % УВ (КБГУ)	23,6	234

Нехватка отечественных полимерных материалов медицинского назначения имеет место не только в области костных черепных и дентальных имплантатов, но и в области имплантатов кровеносных сосудов, кондукторов для регенерации периферических нервов, хирургических шовных нитей, гемостатиков и т.д. Единственная отечественная, и, в достаточной степени, уникальная на сегодняшний день установка для получения волокон коагуляционным способом, используемых, в том числе, для изготовления различных медицинских изделий, разработана в лаборатории «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» (Институт высокомолекулярных соединений РАН и Санкт-Петербургский политехнический институт, г. Санкт-Петербург) имплантатов кровеносных сосудов малого диаметра (менее 5 мм). На базе Первого Санкт-Петербургского медицинского университета им. акад. И.П. Павлова проведены совместные с материаловедами исследования *in vivo* по имплантации трубчатых имплантатов на основе полимерных нановолокон в брюшную аорту крысы. Результаты позволили выбрать оптимальную конструкцию имплантата, его структуру и химический состав. В настоящее время совместно с НИИ медицинской приматологии РАН (Адлер-Сочи) и лабораторией «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» в июне 2022 г. начаты исследования по имплантации искусственных сосудов в кровеносную систему приматов, то есть животных по своим физиологическим особенностям максимально близких к человеку. В инфраrenalный сегмент задней полой вены макаки имплантирована композиционная биодеградируемая матрица на основе полимерных нановолокон. Возраст подопытного животного составлял 2 месяца. Наблюдение за развитием животного и комплексное исследование его организма (УЗДГ, МСКТ), проводимые с июля 2022 г., позволяют заключить, что процесс ремоделирования гrafta проходит без осложнений. Полученные предварительные результаты особенно ценные для дальнейшей трансляции в клиническую практику, прежде всего, в онкохирургию детского возраста.

Созданный в Институте биофизики СО РАН и СФУ научно-практический задел и функционирующее единственное в РФ опытное производство разрушаемых полимеров ПГА, а также получение этих полимеров на биологическом факультете МГУ им. М.В.Ломоносова (совместно с ФИЦ Биотехнологии РАН), способное обеспечить получение опытных партий полимеров и их переработку в изделия, позволяет ставить вопрос о масштабировании технологии и создание в РФ первого опытно-промышленного производства разрушаемых биопластиков (ПГА), а также организации многоцентровых клинических испытаний высокотехнологичных и востребованных полимерных изделий медицинского назначения для ликвидации отставания РФ в этой области и зависимости от импорта.

Одним из перспективных материалов является фибронин шелка из коконов тутового шелкопряда Bombyx mori, формирующий субстрат и поддерживающий адгезию и пролиферацию эукариотических клеток, подвергающийся биодеградации. Фибронин является идеальным материалом для производства прочных и одновременно гибких конструкций. Он имеет регулярную структуру, способен к быстрому фазовому переходу в нерастворимое состояние из водных растворов под воздействием спиртов и других факторов, термостабилен, а также легко поддается модификации для использования в прямой и непрямой фотолитографии. Отечественными учеными показана его эффективность для восстановления ряда твердых и мягких тканей, включая кожу, костную ткань. За счет наличия собственной биологической активности использование конструкций на основе структурных белков шелка в животных моделях приводило к активации регенеративного потенциала, способствуя предотвращению образования рубцов и формированию здоровой функционально активной ткани. Поскольку эффективность фибронина показана для роста нейронов любого происхождения, а также доказано отсутствие на него астроглиальной реакции в моделях *in vivo*, этот полимер представляется как основа для медицинских изделий, направленных на нейрогенерацию

как центральной, так и периферической нервной системы. Особый интерес представляет использование структурных белков шелка для регенерации полых органов, в частности ЖКТ. В рамках проведенных исследований *in vivo* показано, что имплантация трубок на основе фибропина способствовала увеличению количества выживших животных, кроме того, временем эти каркасы полностью замещались тканью соответствующего отдела ЖКТ. Таким образом, удавалось добиться полной регенерации поврежденной ткани. Подобные технологии могут применяться не только для восстановления стенок органов ЖКТ, но и также для восстановления практически всех органов и тканей организма. Наработанные за годы результаты, методики и подходы могут стать хорошей основой для организации опытно-промышленного производства и внедрения настоящих изделий в медицинскую практику.

В настоящее время достаточно доступным материалом, широко используемым в качестве имплантатов, остается титан. Однако нелегированный титан в случае его применения без специальных покрытий имеет такие недостатки, как высвобождение ионов токсичных металлов, остеолиз, аллергические эффекты и низкая рентгеноконтрастность. В частности, титан обладает модулем упругости более 100 ГПа, что часто вызывает резорбцию окружающей кости, а его использование для детской категории пострадавших имеет риск развития посттравматических деформаций, что не всегда отвечает существующим потребностям. В этой связи весьма перспективными являются разработанные в последние годы и находящиеся на стадии предклинических испытаний низкомодульные безникелевые титановые сплавы, модуль упругости которых близок по величине к соответствующему для костной ткани. Такие сплавы в настоящее время разрабатываются и исследуются в лабораториях ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии (г. Черноголовка) совместно с Центром наноструктурных материалов и нанотехнологий НИУ БелГУ и НИТУ МИСИС совместно с ООО «Мелитек» (г. Москва), а также в Институте физики металлов УрО РАН и НИУ «Томский госуниверситет».

Таким образом, имеются отечественные разработки достаточно высокой степени готовности, способные обеспечить импортозамещение высокоэффективных материалов медицинского назначения, но существует ряд факторов, препятствующих их внедрению.

Так, остро не хватает продуктов малотоннажной химии для производства материалов для медицины, таких компонентов, в частности, как катализаторы, ингибиторы, различные добавки, присадки и т.д., которые были в основном импортного производства.

Проблемой является и недостаточное взаимодействие медицинских организаций с производителями на этапе опытно-конструкторских разработок.

Следует отметить и ключевые проблемы, связанные с регистрацией и внедрением материалов и изделий из них в клиническую практику, связанные с законодательством и финансированием, в частности, перманентно растущая стоимость процедур, необходимых для регистрации изделий в Росздравнадзоре. Ряд материалов, например, материалы с факторами роста должны проходить более сложную процедуру регистрации как лекарственное средство, а не как медицинские изделия, т.к. факторы роста оказывают прямое воздействие на метаболизм клеток (№ 323-ФЗ "Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации"). Это требуют существенно больших затрат и преодоления большого количества бюрократических барьеров, чем в случае регистрации обычных медицинских изделий без факторов роста.

Для поддержки наиболее заинтересованных отечественных разработчиков и промышленников не созданы оптимальные условия для внедрения и регистрации существующих разработок, несмотря на имеющиеся усилия в этом направлении. Есть поддержка в научных разработках и клинических испытаниях. Но при этом упущена поддержка промежуточного этапа — доклинических испытаний. Так, объём

финансирования Минпромторга для доклинических испытаний костно-пластикающих материалов не учитывает специфику перспективных разработок с факторами роста, в результате чего финансирования недостаточно для испытания по форме лекарственных средств. Кроме того, заявки на конкурс вывешиваются не заблаговременно, а за несколько месяцев, что недостаточно для поиска индустриального партнёра, составления бизнес-плана и проработки достаточно большой заявки.

Значительными проблемами проведения доклинических испытаний в России является острый недостаток испытательных центров, оснащенных в достаточной мере современным специализированным оборудованием, в т.ч. для проведения не только стандартных для всех медицинских изделий испытаний (цитотоксичность, острая токсичность, тканевая реакция на имплантацию и т.п.), но и специализированных испытаний для биоразлагаемых имплантатов, изделий, способных к контролируемому высвобождению лекарственных веществ, изделий с внешне управляемой функциональностью (например, управляемых магнитным полем, ультразвуком, электромагнитным излучением), тканеинженерных изделий, содержащих в качестве активных агентов бактерий и стволовых клеток и другие, сертификация таких испытательных центров по отечественному аналогу GLP, внедрение в программу испытаний альтернативных моделей заболеваний (моделей опухолей *in vitro* на основе сфераидов и органоидов, моделей регенерации тканей и органов *in vitro* с использованием матриксов и гидрогелей, сокультивирования клеток различных типов, культивирования клеток в биореакторах и микрофлюидных устройствах, изолированных органов и др.), высокотехнологичных моделей заболеваний на мышах и крысах (например, генетических моделей, животных, интегрированных с электронными устройствами), испытания на крупных животных (козах, овцах, минипигах) с использованием сложных хирургических методик.

Существует большая проблема, связанная с внедрением разработок. Квалифицированные научные сотрудники вынуждены сами искать способы для внедрения своих разработок. Приобретение дополнительных компетенций в области бизнеса и регистрации лекарственных средств и изделий, необходимость подачи дополнительных крупных заявок либо существенно отвлекает их от основной работы и делает её менее продуктивной, либо вынуждает отказаться от трудного пути, связанного с внедрением собственных разработок. Ответственность за внедрения сейчас, в большей степени, лежит на учёном-изобретателе, но не на государственном ведомстве или на производственнике.

В связи с изложенным выше для преодоления существующих проблем в области импортозамещения медицинских материалов и изделий, скорейшего внедрения новых технологий и отечественных разработок передовых образцов материалов в здравоохранение нашей страны представляется необходимым рекомендовать Минобрнауки, подразделениям Минпромторга и Минздрава поддержать следующие направления работ:

- I. Формирование всероссийского консорциума, объединяющего ученых разных областей (медиков, химиков, материаловедов, биологов, физиков, менеджеров и др.) под эгидой РАН и разработка программы комплексного научно-технического проекта полного инновационного цикла по разработке и внедрению отечественных материалов медицинского назначения;
- II. Создание в рамках консорциума совместных рабочих групп представителей медицины, ученых-химиков и материаловедов, представителей министерств, промышленности и коммерческих структур с целью разработки программы импортозамещения в области материалов и изделий для медицины. Данная программа должна быть сформирована под эгидой РАН совместно с Минобрнауки

и Минздравом. Представляется целесообразным запуск программы распоряжением Правительства РФ в текущем году.

В рамках программы должно быть осуществлено выделение субсидий научным коллективам, способным в короткие сроки (до 2-3 лет) запустить малотоннажные производства отечественных перспективных материалов медицинского назначения, особенно производства высокотехнологичных продуктов, широко использующихся за рубежом, но не сертифицированных в нашей стране.

В рамках данной программы внимание будет уделено решению также следующих задач:

1. Систематизация научного потенциала в стране и создание банка отечественных разработок в области материалов медицинского назначения на сайтах Министерства здравоохранения и Минпромторга;
2. Создание единой системы формирования запросов от потребителей к разработчикам и производителям материалов и изделий из них медицинского назначения с определением характеристик, номенклатуры и необходимого объема требуемых изделий. Данное требование необходимо для оценки производителями продукции платёжеспособного спроса со стороны потребителей ещё на этапе разработки. В рамках данной системы разработки медицинской продукции будут вестись под конечного заказчика при наличии гарантий (в том числе по офсетным договорам) в системе квот и целевых заказов учреждений-потребителей. Будут также определяться пути финансирования проводимых разработок медицинской продукции, её клинических испытаний и индустриальные партнёры для промышленного производства.
3. Создание единого порядка экспериментальных исследований для внедрения новых материалов в здравоохранение, регламентирующего все этапы продвижения результата научной разработки из сферы науки в сферу ее практического использования;
4. Создание новых испытательных лабораторий и научных центров, оснащенных современным оборудованием, для проведения доклинических испытаний медицинских изделий, в т.ч. высокотехнологичных изделий нового поколения;
5. Создание системы ускоренной государственной регистрации разрабатываемых материалов для медицины;
6. Увеличение финансирования грантов Минпромторга на реализацию доклинических исследований и внедрения в производство материалов и изделий медицинского назначения с их заблаговременным публичным размещением, не менее чем за 1 год, для возможности поиска надежного индустриального партнёра;
7. Привлечение или создание государственных центров и программ для подготовки экспериментального производства материалов для доклинических испытаний;
8. Инициирование запуска отдельных конкурсов научных исследований по актуальным междисциплинарным темам в области внедрения новых полимерных материалов в медицинскую практику, в которых преимущественно будут поддержаны проекты, объединяющие практикующих врачей, научные группы и производителей медицинских изделий.
9. Разработка комплекса мер по подготовке научных и технологических кадров исследователей в области разработки и оценки соответствия материалов медицинского назначения.

Приложение 1.

Приложение к аналитической записке

Информация о разработках медицинских изделий и новых технологий их получения

(по совместному запросу Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Отделения медицинских наук РАН)

№	Продукт разработки (лекарственный препаратор/ медицинское изделие)	Назначение медицинского изделия (показания к применению) Краткое описание медицинского изделия и/или технологии его получения и обработки	Текущая стадия разработки медицинского изделия/или технологии его получения и обработки (разработка, создан прототип, технические испытания, клинические испытания)
---	---	---	---

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

1	Биодеградируемые полимеры на основе лактида для медицинских изделий и фармацевтики	Разработаны методы синтеза биоразлагаемых полимеров на основе лактида, гликогенолида и других циклических сложных эфиров для изготовления широкого спектра биоразлагаемых изделий для хирургии, регенеративной медицины и создания систем адресной доставки и пролонгированного высвобождения лекарств. Используемые катализаторы и условия реакции обеспечивают получение полиефиров, отвечающих международным стандартам для применения в медицине и фармацевтике. Физико-химические свойства и скорость разложения материалов варьируются в широком диапазоне за счет изменения состава, архитектуры и молекулярной массы полимеров. Нетканые материалы и прототипы биоразлагаемых хирургических имплантатов, изготовленные из синтезированных полимеров, успешно прошли доклинические испытания на животных.	Разработан лабораторный регламент синтеза. Совместно с индустриальным партнером планируется организация пилотного производства биоразлагаемых полимеров на основе лактида в 2023 году.
---	--	--	--

Лаборатория «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» СПбПУ Петра Великого (Политех) совместно с ИВС РАН (Санкт-Петербург)

1.	Электропроводящие кондукторы для	Кондукторы могут ускорять регенерацию нервов, направляя рост аксонов от проксимального конца нерва к дистальному, предотвращая инвазию рубцовой	Разработан способ получения
----	----------------------------------	---	-----------------------------

	регенерации периферических нервов	ткани, позволяют локально высвобождать нейротрофические факторы для стимуляции регенерации нервов. Разработаны электропроводящие кондукты- имплантаты в виде направляющих трубчатых каналов из биорезорбируемых полимеров, которые являются хорошей заменой аутотрансплантата.	электропроводящих кондуктов для нервных волокон. Проводятся исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> на подопытных животных (крысах, кроликах)
2	Раневые покрытия на основе алифатического сополиамида и хитозана, содержащие антисептические, анальгетические, ранозаживляющие препараты	Существенно ускоряет процесс регенерации полнослойного раневого дефекта кожи, а также сокращает продолжительность общего периода заживления как механических, так и термических повреждений кожных покровов. Композиционные пористые пленки на основе алифатического сополиамида (СПА) и хитозана, содержащегоnanoфибрillы хитина	Создан прототип, проведены доклинические испытания на животных
3	Протезы кровеносных сосудов малого диаметра (менее 5 мм) на основе нановолокон из биорезорбируемых полимеров.	Для проведения лечебных мероприятий у больных с ишемической болезнью сердца, нарушением кровоснабжения конечностей, в детской сосудистой хирургии и при лечении других патологий, где необходима замена поврежденного сосуда искусственным протезом. Методом электроформования получены нетканые материалы на основе нановолокон из биорезорбируемых полимеров. Созданы прототипы протезов кровеносных сосудов диаметром до 1 мм, образцы имплантированы в позицию аорты экспериментального животного. Показан высокий уровень биосовместимости имплантов, проходимость протезов приближается к 100 %.	Проведены на подопытных животных (крысы, кролики, обезьяны) доклинические испытания прототипов протезов кровеносных сосудов диаметром от 1 до 4 мм.
4	Пористые материалы (губки) для лечения поражений костной ткани	Композиционные пористые материалы на основе хитозана и наночастиц гидроксиапатита кальция, полученные методом лиофилизации, для лечения поражений костной ткани.	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.

5	Полностью резорбируемые волокнистые композиционные материалы для детской краинопластики	<p>Получен композиционный материал путем термической обработки слоистого препрега, состоящего из пленок на основе поли(L-лактид) или поли-ε-капролактона и армирующей ткани на основе хитозана.</p> <p>Показано, что полученный композит обладает необходимыми физико-механическими характеристиками, сопоставимыми с характеристиками костной ткани черепа, а также биосовместимостью и биорезорбцией, что делает его перспективным материалом для применения в краинопластике.</p>	Получен опытный образец. Проведены испытания на биосовместимость и цитотоксичность.
6	Гемостатический материал	<p>Нетканый гемостатический материал на основе хитозановых волокон с добавлением нанофибрил хитина, а также высокопористых хитозановых губок.</p> <p>Биосовместимый, биодеградируемый материал. На модели артериального кровотечения a. femoralis материал показал хорошую скорость остановки кровотечения – $58,1 \pm 8,5$ с, что сопоставимо с широко применяемым коммерческим продуктом Surgicel, скорость остановки кровотечения у которого $53,6 \pm 7,0$ с, и значительно превышает скорость остановки кровотечения с помощью губки Тахокомб – $78,7 \pm 2,8$ с.</p>	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.
7	Биорезорбируемые хирургические нити	<p>Шовный материал для хирургии.</p> <p>Биорезорбируемые нанокомпозитные волокна на основе полимеров молочной кислоты с контролируемой биорезорбцией, антибактериальными свойствами, прочностью на разрыв до 500 МПа и «прочностью в простом узле» до 10 Н по ГОСТ 31620-2012.</p>	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.
8	Электропроводящие биосовместимые материалы	<p>Для интерфейсных конструкций в системе живой организм-электронное устройство.</p> <p>Композиционные электропроводящие материалы на основе биосовместимых полимеров, модифицированных полипирролом.</p>	Создан прототип. Проведены цитологические исследования.
Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), ИСМАН РАН, г. Черноголовка			

<p>1</p>	<p>Биоактивные микродуговые кальций-фосфатные нанокристаллические оксидные покрытия</p>	<p>Биоактивные и биоинертные покрытия на имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Биопокрытия с улучшенными служебными характеристиками: ✓ Высокое содержание в покрытиях биоактивных компонентов; ✓ Благоприятно воздействующая на процессы регенерации костной ткани структура; ✓ Стойкость покрытий к воздействию коррозионных и биологических сред, защита организма от металлической основы имплантата; ✓ Обеспечение надежной фиксации имплантата в кости; ✓ Возможность транзита лекарственных препаратов и фосфатов кальция; ✓ Метод не сопряжен с высокими требованиями к качеству подготовки обрабатываемой поверхности и конфигурации изделия, в отличие от многих гальванических и вакуумных процессов осаждения покрытий. 	<p>Продукт готов к масштабированию в промышленных условиях серийного производства</p> <p>Потенциальные участники консорциума: ИФТТ РАН (г. Черноголовка), ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), НИУ «БелГУ» (г.Белгород), НИУ ТПУ (г. Томск), ИТМО (г. Санкт-Петербург), НИТУ МИСИС (г. Москва), Производственное объединение ООО «Лазерный центр» (г. Санкт-Петербург), ООО «ВладМиВа» (г.Белгород), ЛИКОСТОМ, АО «НПЦАП» ГК Роскосмос, АБ Универсал (г. Москва), НПО АО «ВладМиВа» (г.Белгород); «ЛИКОСТОМ», «НИМЦ нейрохирургии Н.Н.Бурденко», «МНИОИ им. П.А. Герцена» (г. Москва)</p>
<p>2</p>	<p>Низкомодульные безникелевые титановые сплавы нового поколения</p>	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии</p> <p>Низкомодульные безникелевые титановые сплавы, модуль упругости которых близок по величине к соответствующему для костной ткани. Сводит к возможному минимуму резорбцию кости в области контакта имплантата с живой костной тканью.</p> <p>Отсутствие в составе сплава вредных для живого организма легирующих элементов улучшает биосовместимость и снижает канцерогенное, мутагенное и тератогенное влияние имплантата на костную ткань.</p>	<p>Лабораторный образец (модель), прототип, технические и предклинические испытания</p>

3	<p>Технологический процесс лазерной модификации поверхностей медицинских сплавов, в том числе полученных с применением 3D-аддитивных технологий</p>	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Медицинские изделия (имплантаты, стенты, хирургический инструмент и др.) с модифицированным поверхностным микрорельефом, улучшающим биосовместимость и вызывающим проявление биоактивных и противомикробных свойств поверхности. Рассматриваемый технологический процесс может быть также использован для повышения износо- и коррозионной стойкости изделий и инструмента, уменьшения коэффициента трения в узлах медицинских и других конструкций, формирования супергидрофильных или супергидрофобных свойств поверхности титановых и других сплавов</p>	<p>Лабораторные образцы. Технические и доклинические испытания.</p>
---	---	--	---

Центр НСМН НИУ «БелГУ», НПО АО «ВладМиВа» (г.Белгород); ФИЦ ПХФ и МХ РАН ,ИСМАН (г.Черноголовка),МИСИС (г.Москва)

	<p>Субмикрокристаллический пруток из отечественных титановых сплавов, не содержащих вредных для живого организма легирующих элементов</p>	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии. Конкурентные преимущества разработанной технологии(Согласно ГОСТ Р ИСО 50581-93 винты кортикальные с наружным диаметром 4,5 мм, изготовленные из нержавеющей стали, должны выдерживать минимальный крутящий момент на разрушение 4,4 Н·м при минимальном угле поворота винта не менее 180°, если открыто пять нитей резьбы). Результаты технических испытаний винтов из произведенного в Центре НСМН НИУ «БелГУ» субмикрокристаллического титана марки ВТ1-0 соответствуют крутящему моменту 5,5 Н·м при угле поворота винта 260°. Медицинские изделия из данного материала прошли клинические испытания, получили соответствующие разрешения на их применения в медицинской практике и были доступны на рынке медицинских изделий РФ.</p>	<p>Продукт готов для проведения ОТР по масштабированию в условиях промышленного (серийного) производства</p>
--	---	--	--

Уфимский университет науки и технологий и УФИЦ РАН

1	Технология получения полуфабрикатов-прутков из наноструктурного титана технической чистоты Grade4	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии. Данный материал-нанотитан обладает уникальной прочностью $\sigma_b > 1300$ МПа и усталостной долговечностью, прошел международную апробацию для изготовления имплантатов улучшенной конструкции.</p> <p>Развитие данной технологии и производства полуфабрикатов в виде прутков и лент различных типоразмеров из наноструктурных металлических биоматериалов (нанотитана, а затем Mg сплавов и других специальных сплавов) позволит обеспечить базу для изготовления медицинских имплантатов в стране и внесет значительный вклад в импортозамещение. См. также информацию на сайте РАН по ссылке https://new.ras.ru/activities/news/rossiyskiy-nanotitan-dlya-bioimplantatov-ne-imeet-analogov-v-mire/.</p>	<p>В настоящее время в г. Уфа имеется опытное производство полуфабрикатов-прутков из нанотитана на базе малого инновационного предприятия ООО «Наномет».</p>
---	---	--	--

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

1	Технология формирования бактерицидных покрытий на материалах медицинского назначения	<p>Защита поверхностей касания (ручки, кнопки, выключатели, мебель) и инструмента в учреждениях, связанных с оказанием медицинской помощи</p> <p>Комбинирование лазерной обработки материалов с химическим осаждением из паров гидрофобных веществ с целью формирования материалов, характеризующиеся экстремальными режимами смачивания (супергидрофильные и супергидрофобные), для немедикаментозного решения проблемы борьбы с больничными инфекциями</p>	<p>Проводятся клинические испытания</p>
---	--	--	---

Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН

1	Методика механохимического синтеза гидроксилапатита (ГА)	<p>Синтетический ГА активно используются в медицинской практике мирового уровня в качестве остеопластического материала для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства</p> <p>Механохимическая обработка порошковой смеси реагентов в планетарной</p>	<p>Продукт готов к промышленному (серийному) производству</p>
---	--	--	---

		шаровой мельнице, в результате которой получается готовый продукт. Разработанный способ синтеза простой в исполнении, быстрый и экологичный, не имеется отходов производства. Главное преимущество способа заключается в возможности введения в процессе синтеза ГА любых модифицирующих добавок в любых концентрациях (в зависимости от потребностей заказчика), позволяющих придавать материалу дополнительные полезные свойства.	
2	Методика получения мелкодисперсной суспензии ГА (0,5 л/час)	Создание реминерализирующих гелей и зубных паст Создание реминерализирующих гелей и зубных паст	Проведение клинических исследований
3	Методика получения текущего порошка ГА с плотными частицами	Технологические процессы детонационного и плазменного напыления покрытий и в технологии селективного лазерного плавления Остеопластический материал для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства	Проведение клинических исследований
4	Технологии 3D печати биорезорбируемых изделий с применением порошка ГА, получаемого механохимическим синтезом	Технологии 3D печати биорезорбируемых изделий Остеопластический материал для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства	Подготовка к клиническим исследованиям

Кабардино-Балкарский государственный университет

1	Технология получения полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) различных марок и угленаполненные композиты на их основе для литья и 3D печати	Испытания модели или прототипа в реальных условиях
---	---	---	--

2	Технология получения полифениленсульфона и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии Полифениленсульфон (ПФСн) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати	Испытания модели или прототипа в реальных условиях
3	Технология получения полиэфиркетонкетона (ПЭКК) и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Сополимеры на основе ПЭКК различных марок и композиты на их основе и композиты на его основе для литья и 3D печати. Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати	Проверка основных технологических компонентов в реальных условиях
4	Технология 3D печати индивидуализированных имплантатов из суперконструкционных полимеров и композитов	Индивидуальные имплантаты для реконструктивной хирургии Технология печати медицинских индивидуализированных изделий из полимеров собственного производства	Демонстрация прототипа (опытного образца) в условиях эксплуатации.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины»

1	Разработка гемостатического бинта-тампонады «Plantago» (подорожник)	Изделие предназначено для остановки кровотечений. Наступление гемостаза в течение 2-3 минут, подходит для любых типов ран. Изделие представляет собой z-уложенное нетканое хлопковое полотно с повышенными впитывающими свойствами, обработанное гемокоагулирующим составом. В уложенном состоянии (тампонада) – 5x7.5 см, уложенные в 72 слоя. В однослойном состоянии (повязка) – 7.5x360 см Имеет насечки для оперативного разрыва каждые 30 см (6 слоев) Индивидуально упаковано в стерилизационный пакет из вощеной бумаги (с возможностью применения при пневмотораксе) и запаяно в металлизированный вакуумный пакет. Преимущества перед аналогами: Современное гемостатическое изделие, сделанное с учетом опыта реальных	Совместно с экспертами в области экстренной военной медицины подготовлен прототип изделия, испытан в лабораторных условиях, в т.ч. с использованием модельных животных. Требуется регистрация гемостатической повязки-тампонады как изделия медицинского назначения. Изделие имеет
---	---	--	--

		<p>боевых и экстремальных условий. Ускорено наступление гемостаза. Невысокая стоимость.</p> <p>Имеющиеся возможности производства:</p> <p>Учреждение обладает мощностями для производства опытных и мелкосерийных партий, что соответствует производству до 100 000 изделий в месяц.</p>	<p>гигиенический сертификат, оформляются документы для регистрации разработки в качестве изделия медицинского назначения.</p>
--	--	---	---

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»

1	Экспериментальные образцы тест-систем	<p>Номенклатура тестовых систем для определения антител к вирусам гепатита и др.</p> <p>Тест-система для количественного определения IgG-антител к вирусу Варцилла зостер методом ИФА.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Тест-система для установления индекса avidности IgG-антител к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для быстрого выявления IgG-антител к вирусу гепатита Е методом ИХА. - Тест-система для количественного определения содержания IgG-антител к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для выявления иммуноглобулинов класса M к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека «ловушечным» методом ИФА. - Тест-система для выявления специфических суммарных антител (IgG, IgM, IgA) к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для определения IgG антител к вирусу гепатита Е методом ЛИА (Лайн-блот). - Тест-система для количественного определения активного вещества в составе вакцины против ГЕ методом ИФА. - Тест-система для количественного определения вирусоспецифического антигена в полупродукте производства вакцины против ГЕ методом ИФА. 	<p>Лабораторный образец, проведены испытания, готовы к передаче для производства опытных партий и государственной регистрации</p>
---	---------------------------------------	--	---

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный медицинский исследовательский центр "Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии" Минздрава России

1	<p>Костно-пластические материалы нового поколения на основе коллагеновых и хитозановых гидрогелей и пористых полилактидных наполнителей с белком BMP-2</p>	<p>Костно-пластики операции в стоматологии Сочетанием комплекса всех необходимых ранее не достижимых свойств: выраженные остеоиндуктивные и остеокондуктивные свойства, биосовместимость, способность к моделированию и отверждению, и своевременная биорезорбция с замещением костной тканью. Внедрение в клиническую практику остеоиндуктивных, биосовместимых, моделируемых и отверждаемых костно-пластических материалов с факторами роста должно существенным образом понизить требования к квалификации медицинского персонала, повысить успех операций, и сделать дентальную имплантацию более доступной. Разработанный материал не имеет полных аналогов в Мире и обладает перспективным экспортным потенциалом.</p>	Лабораторный образец
---	--	--	----------------------

Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук

1	<p>Костно-пластический материал «SINTELBONE»</p>	<p>Костно-пластический материал «SINTELBONE» служит для замещения дефектов костей и снижения риска развития инфекционных осложнений и опухолевых рецидивов в травматологии и ортопедии, онкоортопедии, нейрохирургии и стоматологии. Костно-пластический материал «SINTELBONE» служит для замещения дефектов костей и снижения риска развития инфекционных осложнений и опухолевых рецидивов в травматологии и ортопедии, онкоортопедии, нейрохирургии и стоматологии.</p>	<p>В настоящее время проводятся токсикологические и технические испытания, ведется подготовка необходимой документации. Регистрация изделий в Росздравнадзоре планируется на 2026 год.</p>
2	<p>Медицинское изделие «Петельный модуль для каркасной многослойной реконструкции».</p>	<p>Петельный модуль предназначен для каркасной многослойной реконструкции, реконструктивной пластики различных дефектов каркаса, включая грудную стенку и кости таза, производимую при онкологических операциях, преимущественно для замещения резецированного участка Петельный модуль предназначен для каркасной многослойной реконструкции, реконструктивной пластики различных дефектов каркаса, включая грудную стенку и кости таза, производимую при онкологических операциях, преимущественно для замещения резецированного участка.</p>	<p>В настоящее время проводятся токсикологические и технические испытания, ведется подготовка необходимой документации. Регистрация изделий в Росздравнадзоре планируется на 2026 год.</p>

3	Эндоваскулярный аблационный катетер для ренальной денервации	Разработка конструкции и технологии производства эндоваскулярного аблационного катетера для ренальной денервации Лечение хронической артериальной гипертонии	Лабораторный образец
4	Устройство для сцинтиграфической диагностики легочной патологии	Неинвазивный метод диагностики легочных заболеваний	Лабораторный образец
5	Электроды для наружной электрокардиостимуляции "Эверест"	Для временной кардиостимуляции и регистрации сердечных потенциалов в раннем послеоперационном периоде у пациентов, подвергшихся вмешательству на открытом сердце.	Проведение доклинических исследований
6	Электроды для наружной электрокардиостимуляции "Кардиопейс"	Для временной кардиостимуляции и регистрации сердечных потенциалов в раннем послеоперационном периоде у пациентов, подвергшихся вмешательству на открытом сердце.	Созданы прототипы, проведены технические и токсикологические испытания. Создан промышленный образец. Регистрация медицинского изделия.
7	Индивидуальное портативное устройство для мониторинга и локального позиционирования пациентов с высоким риском смерти.	Своевременное обнаружение и помощь пациентам с внезапной остановкой сердца, падением уровня кислорода в крови или жизнеугрожающими нарушениями ритма сердца с точностью до 2 метров. Система предназначена для использования в ЛПУ.	Начало исследований и разработок. Подтверждение характеристик. Создан прототип устройства для позиционирования в стационаре.

8	Разработка портативного индивидуального прибора «ЭКГ-ЭКСПРЕСС».	Персональный электрокардиограф «ЭКГ-Экспресс», который позволяет человеку самостоятельно сделать электрокардиограмму и отправить в медицинское учреждение для анализа.	Прототип, решается задача мгновенной передачи ЭКГ в специализированные центры для быстрой диагностики.
9	Новое поколение сосудистого стента с биодеградируемым покрытием, е	Разработка нового поколения сосудистого стента с биодеградируемым покрытием, содержащим наноматериал с активным воздействием на структуру атеросклеротической бляшки. Лечение атеросклероза	Лабораторный образец (модель), прототип
10	Аппаратно-программный комплекс (АПК)	Разработка аппаратно-программного комплекса (АПК) доставки и обеспечения технологий органопротекции оксидом азота при респираторных инфекциях. Органопротекция оксидом азота при респираторных инфекциях	Лабораторный образец (модель), прототип
11	Интегрированная система неинвазивного электрофизиологического картирования с инвазивным трехмерным электроанатомическим картированием	Для точной топической локализации различных нарушений ритма сердца (как предсердных, так и желудочковых), включая фибрилляцию предсердий, а также гемодинамически нестабильных желудочковых тахиаритмий, что необходимо для эффективного катетерного лечения, достижения долгосрочного эффекта радиочастотной абляции при сокращении времени операции и минимальном риске осложнений	Лабораторный образец (модель), прототип

Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера ФИЦ КНЦ СО совместно с НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы (г. Томск)

1	Материалы и имплантаты с памятью формы на основе сплавов титана и никеля	Используются во всех отраслях челюстно-лицевой хирургии, в частности в устраниении травматических повреждений и их осложнений, для устранения изъянов в хирургии опухолевых и опухолевых состояний, в ортогнатической хирургии, в хирургии врожденных расщелин и других дефектов неба, в реконструктивной хирургии альвеолярных отростков челюстей, в дентальной	С использованием материалов с памятью формы выполнено оперативное лечение более 5000 больных с дефектами
---	--	--	--

	<p>имплантологии, в косметической хирургии, в реконструктивной хирургии височно-нижнечелюстного сустава.</p> <p>Для замещения тканевых дефектов органов и тканей челюстно-лицевой области в настоящее время используем трансплантационные материалы аутогенного происхождения и технологии с применением имплантационных материалов с памятью формы, разработанные в НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы (г. Томск).</p> <p>Анализ отдаленных результатов показал высокую эффективность разработанных технологий.</p>	<p>тканей и органов челюстно-лицевой области различного генеза.</p> <p>Осложнения в виде нагноения ран, потребовавших удаления имплантатов, наблюдали в 1-2% случаев, у остальных пациентов получены удовлетворительные косметические и функциональные результаты.</p>
--	--	--

Институт биофизики СО РАН и Сибирский федеральный университет

1	Разрушаемый биосовместимый полимерный термопластичный материал – полигидроксиалканоат (ПГА)	<p>С использованием авторской коллекции штаммов-продуцентов разработаны и реализованы в масштабированном варианте биотехнологии синтеза партий–полимеров микробиологического происхождения различного состава;</p> <ul style="list-style-type: none"> - отработаны технологии получения полимерных изделий различной геометрии и назначения в виде пленок, микрочастиц, полимерных покрытий, нетканых мембран, трубок, пломбировочного материала, 3D форм; изучены структура поверхности, физико-химические и физико-механические свойства изделий; - в экспериментах на клеточных культурах и большом массиве экспериментов на лабораторных животных доказана биологическая безопасность всех типов изделий из ПГА и соответствие требованиям, предъявляемым к материалам и изделиям медико-биологического назначения; <p>Серия экспериментальных образцов полимеров медицинской степени чистоты и экспериментальных образцов изделий из ПГА была использована в ограниченных клинических испытаниях для реконструкции дефектов тканей (в реконструктивных технологиях ортопедии и травматологии и абдоминальной хирургии). Показана эффективность применения для реконструкции дефектов кожных покровов и костной тканей;</p>	<p>Проведена сертификация технологии синтеза и очистки образцов полимеров различного состава; получен гигиенический сертификат соответствия Опытного производства полимеров медицинского назначения Главной санитарно-эпидемиологической службы РФ; разработаны и зарегистрированы Технические условия на ПГА различной химической структуры в качестве матриксов функционирующих клеток</p>
---	---	---	--

			и лекарственных средств, хирургических имплантатов; в Роспатенте РФ зарегистрирована торговая марка «БИОПЛАСТОТАН™» на ПГА и изделия медико-биологического назначения.
--	--	--	--

ФГБНУ «Научный центр неврологии» совместно с АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара» (ВНИИНМ) (Госкорпорация Росатом)

1	Инертный электрод	Инертный электрод, предназначенный для глубинной стимуляции мозга Инертный электрод из карбида кремния с платиноиридиевыми контактами (сплавы кобальта, хрома, никеля).	Планируется разработка и апробация инертного электрода. На данный момент между двумя учреждениями заключен договор о намерениях
---	-------------------	--	---

Государственный научный центр Российской Федерации ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»

1	Устройство для окклюзии сосудов	Эндоваскулярная эмболизация сосудов при различных патологических состояниях. Повышение эффективности и безопасности эндоваскулярных вмешательств на сосудах малых и больших диаметров. После доставки, устройство принимает форму двух тел вращения конической формы стянутыми вершинами вдоль оси к мемbrane и основаниями, направленными навстречу друг другу, что приводит к 9моментальной окклюзии просвета сосуда. После имплантации устройства, при полной окклюзии антеградного (ретроградного) кровотока, через коаксиально закрепленную металлическую трубку соединенную с доставляющим катетером без риска обратного рефлюкса, имеется возможность микроэмболизации дистального русла с помощью	Проводятся доклинические исследования
---	---------------------------------	---	---------------------------------------

		микроэмболов или жидкостью. Затем доставляющий катетер отсоединяется от металлической трубки и удаляется.	
2	Аппарат вакуумной аспирационной биопсии	<p>Вакуумная аспирационная биопсия и удаление патогенных тканей.</p> <p>Импортозамещение и сохранение технологий ранней диагностики и хирургии.</p> <p>ВАБ проводится под контролем ультразвукового исследования через прокол кожи с использованием иглы манипулятора с режущим роторным механизмом.</p> <p>Извлечение образца ткани образования осуществляется вакуумом в специальный внешний контейнер. После проводится коагуляция с помощью лазерного интерстициального излучения</p> <p>Манипуляция проводится под местной анестезией и занимает 15-20 минут.</p> <p>После выполнения манипуляции на прокол кожи накладывается асептическая повязка и производится эластичное бинтование на 24-48 часов. Биоптат отправляется на гистологическое исследование.</p>	Лабораторный образец (модель)
3	Аппарат для ультразвуковой облитерации вен	<p>Хирургическая диссекция и коагуляция тканей. Имортозамещение и сохранение технологий хирургии с применением миниинвазивных методов в абдоминальной, эндокринной хирургии и онкологии, увеличение объемов выполняемых операций с уменьшенной интраоперационной кровопотерей и сокращением сроков пребывания пациентов в стационаре.</p> <p>Диссекция происходит вследствие механического растяжения тканей выше пределов эластичности. Коагуляция тканей происходит вследствие ультразвуковых механических колебаний молекул белков с их последующей денатурацией. Сопутствующая кавитация (образование холодного пара) является обратимым эффектом, который возникает вследствие изменения давления и способствует препарированию тканей.</p>	Создан лабораторный образец
4	Система для проведения вакуумной терапии ран	<p>Создание отечественного аппарата и линеек расходных материалов для применения технологии отрицательного давления в хирургии (реинжиниринг + разработка).</p> <p>Принцип работы вакуумной терапии основан на применении закрытой системы дренажей, поддерживающей контролируемое отрицательное давление в области раны. Вакуум-терапия способствует определенным изменениям в области раневого поражения:</p> <p>активное удаление избыточного раневого отделяемого, сохранение влажной раневой среды</p>	Создан лабораторный образец

		в ране, ускорение бактериальной деконтаминации раны, усиление местного кровообращения, снижение интерстициального отека тканей в ране, снижение межклеточного давления, усиление местного лимфообращения и транскапиллярного транспорта, уменьшение площади раны. Все эти эффекты приводят к ускорению заживления раны, а также минимизируют осложнения	
5	Инструментарий для мининвазивной кардиохирургии	Хирургические вмешательства при патологии клапанного аппарата сердца, врожденных пороках. Специальные наборы инструментов для повышения качества минимально инвазивных вмешательств на сердце, аналогов нет	Создан лабораторный образец
6	Прибор для интраоперационной манометрии пищевода	Позволяет контролировать создаваемое давление в пищеводе и он-лайн манометрия позволит формировать манжетку без чрезмерного сдавления. Манометрия трубки водно-перфузионного катетера, вводимого в пищевод.	Создан лабораторный образец
7	Оборудование для выполнения криоабляции	Хирургическое лечение сердечных аритмий с помощью воздействия чрезвычайно низких температур до -100°C на пораженные участки миокарда. Подавление активности очагов эктопических импульсов возможно путем деструкции ткани миокарда с использованием холода. Криоабляция выполняется с использованием криозондов (полых трубчатых игл) в полостях которых происходит теплообмен теплопроводящих газов и жидкостей направленный на отвод тепла от обрабатываемой ткани.	Создан лабораторный образец
8	Оборудование для выполнения радиочастотной аблации	Хирургическое лечение сердечных аритмий путем использования радиочастотных импульсов для прижигания ткани сердца в ходе минимально инвазивных процедур или открытых операций Подавление активности очагов эктопических импульсов возможно путем деструкции ткани миокарда - коагуляцией тканей под действие радиочастотного тока является превращение электрической энергии в тепловую. Повышение температуры в миокардиальной ткани приводит к биологической смерти тканей	Создан лабораторный образец

9	Видеоларингоскоп	<p>Видеосистема для интубация трахеи у пациентов при общей анестезии с ИВЛ, а также находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии.</p> <p>При интубации посредством прямой ларингоскопии пользователь не получает необходимый угол обзора. Принцип видеоларингоскопии дает пользователю более крупный и детальный вид на гортань, благодаря чему значительно повышается безопасность пациента. За счет увеличенного поля обзора видеоларингоскопов снижается сила давления, оказываемая инструментами на верхнюю челюсть пациента. Уже только это ведет к снижению случаев повреждения зубов пациента при интубации</p>	Создан лабораторный образец
10	Зонд для интраоперационной оценки герметичности анастомозов при реконструктивных операциях на органах желудочно-кишечного тракта	<p>Оценка герметичности анастомозов при реконструктивных операциях на органах ЖКТ</p> <p>Метод с использованием тонкого зонда</p>	Проведение клинических исследований
11	Ультразвуковой костный скальпель	<p>Применяется для проведения открытых хирургических операций у пациентов с заболеваниями торакоабдоминального отдела аорты (включая пациентов с аневризмой брюшного отдела аорты)</p> <p>Ушивание производится технологическим набором компрессионно-механических имплантов, установленных в специальный прибор с устройством для их автоматической подачи.</p>	Лабораторный образец
12	Аппарат для формирования анастомозов желудочно-кишечного тракта	<p>Формирование анастомозы желудочно-кишечного тракта различной локализации с сокращением времени оперативного вмешательства и числа послеоперационных осложнений</p> <p>Аппаратная реконструкции отделов желудочно-кишечного тракта при расширенных и комбинированных операциях при патологиях желудка</p>	Лабораторный образец
13	Система диагностики аллергии "Патч-тест"	<p>Патч - тест необходим для проведения обследования пациентов с использованием современных диагностических тестов в диагностике контактной аллергии, определение сенсибилизации к металлам, химическим веществам и соединениям и подбора безопасных веществ.</p>	Лабораторный образец (модель), подготовка к клиническим исследованиям

		Патч - тестирование является диагностической процедурой, включающей в себя следующие этапы: Патч - тест - аппликация на кожу пациента пластиря с Гаптенами; Снятие Патч-Тест системы (опционно - предварительная оценка результатов тестирования); оценка отдаленной (отложенной) реакции на гаптены.	
--	--	---	--

НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

1	Биодеградируемый сосудистый гraft с определенным заданным сроком деградации	Разработан для синтеза сосуда малого диаметра <i>in situ de novo</i> Для нужд сосудистой хирургии (аортокоронарное шунтирование, заплаты для каротидной эндартерэктомии, протезирование сосудов нижних конечностей ниже коленной щели).	Уровень разработки - ОКР.
---	---	--	---------------------------

Институт металлоорганической химии им. Г. А. Разуваева РАН

	Материалы для полимерных костнозамещающих имплантатов	Материалы для полимерных костнозамещающих имплантатов	Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
	Катализаторы получения лактида и его полимеризации	Разработаны катализаторы, позволяющие получать лактид и полилактид рекордно высокой молекулярной массы (до 200 кДа). Катализаторы для получения биоразлагаемых материалов для полимерных костнозамещающих имплантатов	Уровень разработки - НИР

Иркутский научный центр СО РАН

1	Биодеградирующая пленка пролонгированного действия	Разработана для стимуляции регенерации клеток стенки трахеи Для стимуляции регенерации клеток стенки трахеи	Получен патент на изобретение РФ № 2678200 «Лекарственная плёнка пролонгированного действия и способ её получения»
---	--	--	--

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

1	Коллагеновая мембрана	<p>Мембрана предназначена для нужд стоматологии и челюстно-лицевой хирургии: используется для направленной тканевой регенерации (наращивание кости в челюсти перед установкой импланта, синус-лифтинг, гингивопластика и тд).</p> <p>Технология получения основана на принципе электрофоретического осаждения. Группа ученых из Сеченовского Университета разработала его инновационную модификацию, позволив сделать метод электрофоретического осаждения быстрым, дешевым и коммерчески применимым.</p>	Заключение договора с индустриальным партнером (ЗАО «Зеленая Дубрава»). Внедрение технологии на производство.
2	Искусственная роговица	<p>Технология получения основана на разработанной модификации процесса электроосаждения (см. выше). Ноу хау заключается в получении оптически прозрачных мембран (пропускание света >80% при длине волны 550 нм) за счет уникального протокола выделения коллагена из животного сырья и постобработки получаемых мембран.</p> <p>Полученный продукт может быть использован для наращивания стромальной части роговицы, ее частичного замещения, в качестве покрытия при травмах роговицы.</p>	Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.
3	Коллагеновое раневое покрытие	<p>Покрытие предназначено для восстановления кожи при ожогах третьей степени, травмах и диабетических язвах. Содержит в своем составе лактоферрин – уникальную биологическую добавку производства ИБГ РАН, обладающую про-регенеративными и антимикробными свойствами.</p> <p>Полученные покрытия доказали свою эффективность в экспериментах <i>in vitro</i> с кератиноцитами и фибробластами; доказана эффективность коллагеновых покрытий с содержанием лактоферрина в пилотном эксперименте на животных.</p>	Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.
4	Коллагеновый остеопластический материал	<p>Коллагеновый остеопластический материал предназначен для направленной регенерации костной ткани в стоматологии, а также у больных с переломами, в т.ч. осложненными микробной контаминацией. Остеопластический материал содержит в своем составе лактоферрин – уникальную биологическую добавку производства ИБГ РАН, обладающую про-регенеративными и антимикробными свойствами. Полученный материал доказал эффективность в экспериментах <i>in vitro</i> с мезенхимальными стволовыми клетками.</p>	Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, биологический факультет

1	Биоразлагаемые и биосовместимые полимеры: поли-3-оксибутират и его сополимеры, бактериальные альгинаты, фибронин щелка	Получение биоразлагаемых и биосовместимых полимеров поли-3-оксибутирата, его сополимеров (с 3-оксивалератом, 4-метил-3-оксивалератом) и альгинаты получены с помощью контролируемой микробиологической технологии биосинтеза, фибронин щелка - с помощью технологии выделения из паутины шелкопряда. Технологии получения полимеров позволяют получать полимеры из доступного отечественного сырья, достигая высокой степени химической и биологической чистоты с заданными физико-химическими и технологическими характеристиками для различных биомедицинских применений.	Лабораторная и опытно-промышленная технология получения, имеются патенты, промышленный и технологический регламенты, ТУ, токсикологические заключения.
2	Остеопластический материал	Материал для восстановления костной ткани после ранений, переломов, травм, инфекционных процессов на основе пористых микросфер из биорассасываемого полимера, поли-3-оксибутирата в т.ч. способный к пролонгированному высвобождению остеоиндуктивных лекарств для челюстно-лицевой хирургии и ортопедии.	Получен патент РФ на изобретение № 2692768. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
3	Дермальный филлер	Дермальный филлер на основе микросфер из композита биорассасываемого полимера, поли-3-оксибутирата, в т.ч. способный к пролонгированному высвобождению лекарственных лекарств, для косметологии и лечения лицевой липоатрофии различной этиологии.	Получен патент РФ на изобретение № 2530577. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
4	Покрытия металлических имплантов	Технология покрытия имплантов из микропористого титана и его сплавов биосовместимым полимером, в т.ч. для пролонгированного высвобождения остеоиндуктивных лекарств для челюстно-лицевой хирургии, ортопедии и травматологии.	Уровень разработки - НИР
5	Ожоговые и раневые покрытия.	Материалы на основе фиброна щелка и его фотоотверждаемых производных или композита сополимера поли-3-оксибутирата с альгинатом для ускоренного заживления кожи после ранений и ожогов, гемостатический микроволокнистый материал на основе альгината для общей хирургии и травматологии.	Получен патент РФ на изобретение №2740380. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
6	Проводники для роста периферических нервов.	Проводники для роста периферических нервов в виде трубок с микроволокнистыми стенками на основе фиброна щелка или композита сополимера поли-3-оксибутирата с альгинатом для нейрохирургии. Предлагаемые прототипы медицинских изделий получены методом	Получены экспериментальные образцы. Проходят доклинические

		электротиннинга и показали высокий уровень нейросовместимости на первичных клетках периферической и центральной нервной системы, включая направленный рост сети нейритов.	исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
7	Микроскаффолды на основе структурных белков шелка для инженерии нервной ткани	Одним из наиболее перспективных подходов в отношении лечения мозга, подвергнувшегося поражениям разной этиологии, является комбинация биодеградируемых скаффолдов и клеточной терапии с добавлением или без добавления факторов роста. Уникальные микрочастицы на основе фиброна шелка, полученные методом криоизмельчения способствовали сохранению жизнеспособности клеток центральной нервной-системы и более полному функциональному восстановлению грызунов в модели черепно-мозговой травмы.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2616866 от 18.04.2017
8	Фотополимеризуемый эндопротез кишечника.	Эндопротезы и заплаты стенки кишечника на основе фиброна шелка могут быть использованы для реконструкции кишечника при патологиях различного генеза, включая как врожденные, так и приобретенные (опухолевые поражения и травмы). Преимуществом создания изделий методом фотополимеризации является возможность задания кастомной формы фотошаблона и получения трансплантата воспроизводящего анатомические особенности пациента вплоть до микронных масштабов. Результаты пилотных экспериментов подтверждают правомочность данного подхода. Использование подобных изделий способствовало большей выживаемости экспериментальных животных и восстановлению анатомической структуры стенок тонкого кишечника крыс.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2749871, 17.06.2021 г Патент РФ на изобретение №2714200, 13.02.2020 г. Патент РФ на изобретение №2711545, 17.01.2020 г.
9	Раневые фотоотверждаемые покрытия (повязки) с функционализацией факторами роста обладающие антимикробной активностью	Фотоотверждаемые повязки на основе фиброна могут быть использованы для тяжелых поражений кожи таких как трофические язвы, пролежни, плохо заживающие послеоперационные раны, ожоги, обморожения диабетические язвы. В состав покрытий включены эпидермальный фактор роста, в качестве вещества ускоряющего регенерацию, и хлоргексидин, в качестве противомикробного агента. В моделях полнослойной раны кожи грызунов была продемонстрирована высокая биосовместимость конструкций, а также показано, что использование подобных повязок способствовало более полному восстановлению гистологической структуры кожи, включая ее придатки, а именно волосяные фолликулы и жировую ткань.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях Патент РФ на изобретение №2645200 от 16.02.2018 г

10	Изделия биоискусственной костной ткани модуляторов остеогенеза	из и	Пористые, минерализованные остеозамещающие имплантаты на основе структурных белков шелка могут найти применение в травматологии и ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Использование этих изделий в модели некритического повреждения бедренной кости крысы показало, что они способствуют более быстрой регенерации костной ткани.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2692578, 25.06.2019 г Патент РФ на изобретение №2660558 от 06.07.2018 г.
----	--	---------	---	--

Приложение 1.

Приложение к аналитической записке

**Информация о разработках медицинских изделий и новых технологий их получения
(по совместному запросу Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Отделения медицинских наук РАН)**

№	Продукт разработки (лекарственный препаратор/ медицинское изделие)	Назначение медицинского изделия (показания к применению) Краткое описание медицинского изделия и/или технологии его получения и обработки	Текущая стадия разработки медицинского изделия/или технологии его получения и обработки (разработка, создан прототип, технические испытания, клинические испытания)
---	---	---	---

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

1	Биодеградируемые полимеры на основе лактида для медицинских изделий и фармацевтики	Разработаны методы синтеза биоразлагаемых полимеров на основе лактида, гликогенса и других циклических сложных эфиров для изготовления широкого спектра биоразлагаемых изделий для хирургии, регенеративной медицины и создания систем адресной доставки и пролонгированного высвобождения лекарств. Используемые катализаторы и условия реакции обеспечивают получение полиэфиров, отвечающих международным стандартам для применения в медицине и фармацевтике. Физико-химические свойства и скорость разложения материалов варьируются в широком диапазоне за счет изменения состава, архитектуры и молекулярной массы полимеров. Нетканые материалы и прототипы биоразлагаемых хирургических имплантатов, изготовленные из синтезированных полимеров, успешно прошли доклинические испытания на животных.	Разработан лабораторный регламент синтеза. Совместно с индустриальным партнером планируется организация пилотного производства биоразлагаемых полимеров на основе лактида в 2023 году.
---	--	---	--

Лаборатория «Полимерные материалы для тканевой инженерии и трансплантологии» СПбПУ Петра Великого (Политех) совместно с ИВС РАН (Санкт-Петербург)

1.	Электропроводящие кондукторы для	Кондукторы могут ускорять регенерацию нервов, направляя рост аксонов от проксимального конца нерва к дистальному, предотвращая инвазию рубцовой	Разработан способ получения
----	----------------------------------	---	-----------------------------

	регенерации периферических нервов	ткани, позволяют локально высвобождать нейротрофические факторы для стимуляции регенерации нервов. Разработаны электропроводящие кондукты- имплантаты в виде направляющих трубчатых каналов из биорезорбируемых полимеров, которые являются хорошей заменой аутотрансплантата.	электропроводящих кондуктов для нервных волокон. Проводятся исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> на подопытных животных (крысах, кроликах)
2	Раневые покрытия на основе алифатического сополиамида и хитозана, содержащие антисептические, анальгетические, ранозаживляющие препараты	Существенно ускоряет процесс регенерации полнослойного раневого дефекта кожи, а также сокращает продолжительность общего периода заживления как механических, так и термических повреждений кожных покровов. Композиционные пористые пленки на основе алифатического сополиамида (СПА) и хитозана, содержащегоnanoфибриллы хитина	Создан прототип, проведены доклинические испытания на животных
3	Протезы кровеносных сосудов малого диаметра (менее 5 мм) на основе нановолокон из биорезорбируемых полимеров.	Для проведения лечебных мероприятий у больных с ишемической болезнью сердца, нарушением кровоснабжения конечностей, в детской сосудистой хирургии и при лечении других патологий, где необходима замена поврежденного сосуда искусственным протезом. Методом электроформования получены нетканые материалы на основе нановолокон из биорезорбируемых полимеров. Созданы прототипы протезов кровеносных сосудов диаметром до 1 мм, образцы имплантированы в позицию аорты экспериментального животного. Показан высокий уровень биосовместимости имплантов, проходимость протезов приближается к 100 %.	Проведены на подопытных животных (крысы, кролики, обезьяны) доклинические испытания прототипов протезов кровеносных сосудов диаметром от 1 до 4 мм.
4	Пористые материалы (губки) для лечения поражений костной ткани	Композиционные пористые материалы на основе хитозана и наночастиц гидроксиапатита кальция, полученные методом лиофилизации, для лечения поражений костной ткани.	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.

5	Полностью резорбируемые волокнистые композиционные материалы для детской краинопластики	Получен композиционный материал путем термической обработки слоистого препрега, состоящего из пленок на основе поли(L-лактид) или поли-ε-капролактона и армирующей ткани на основе хитозана. Показано, что полученный композит обладает необходимыми физико-механическими характеристиками, сопоставимыми с характеристиками костной ткани черепа, а также биосовместимостью и биорезорбцией, что делает его перспективным материалом для применения в краинопластике.	Получен опытный образец. Проведены испытания на биосовместимость и цитотоксичность.
6	Гемостатический материал	Нетканый гемостатический материал на основе хитозановых волокон с добавлением нанофибрill хитина, а также высокопористых хитозановых губок. Биосовместимый, биодеградируемый материал. На модели артериального кровотечения a. femoralis материал показал хорошую скорость остановки кровотечения – 58,1±8,5 с, что сопоставимо с широко применяемым коммерческим продуктом Surgicel, скорость остановки кровотечения у которого 53,6±7,0 с, и значительно превышает скорость остановки кровотечения с помощью губки Тахокомб – 78,7±2,8 с.	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.
7	Биорезорбируемые хирургические нити	Шовный материал для хирургии. Биорезорбируемые нанокомпозитные волокна на основе полимеров молочной кислоты с контролируемой биорезорбцией, антибактериальными свойствами, прочностью на разрыв до 500 МПа и «прочностью в простом узле» до 10 Н по ГОСТ 31620-2012.	Создан прототип. Проведены доклинические испытания на животных.
8	Электропроводящие биосовместимые материалы	Для интерфейсных конструкций в системе живой организм-электронное устройство. Композиционные электропроводящие материалы на основе биосовместимых полимеров, модифицированных полигиурролом.	Создан прототип. Проведены цитологические исследования.

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), ИСМАН РАН, г. Черноголовка

1	Биоактивные микродуговые кальций-фосфатные нанокристаллические оксидные покрытия	<p>Биоактивные и биоинертные покрытия на имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Биопокрытия с улучшенными служебными характеристиками: ✓ Высокое содержание в покрытиях биоактивных компонентов; ✓ Благоприятно воздействующая на процессы регенерации костной ткани структура; ✓ Стойкость покрытий к воздействию коррозионных и биологических сред, защита организма от металлической основы имплантата; ✓ Обеспечение надежной фиксации имплантата в кости; ✓ Возможность транзита лекарственных препаратов и фосфатов кальция; ✓ Метод не сопряжен с высокими требованиями к качеству подготовки обрабатываемой поверхности и конфигурации изделия, в отличие от многих гальванических и вакуумных процессов осаждения покрытий. 	<p>Продукт готов к масштабированию в промышленных условиях серийного производства</p> <p>Потенциальные участники консорциума: ИФТТ РАН (г. Черноголовка), ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), НИУ «БелГУ» (г.Белгород), НИУ ТПУ (г. Томск), ИТМО (г. Санкт-Петербург), НИТУ МИСИС (г. Москва), Производственное объединение ООО «Лазерный центр» (г. Санкт-Петербург), ООО «ВладМиВа» (г.Белгород); «ЛИКОСТОМ», «НИМЦ нейрохирургии Н.Н.Бурденко», «МНИОИ им. П.А. Герцена» (г. Москва)</p>
2	Низкомодульные безникелевые титановые сплавы нового поколения	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии</p> <p>Низкомодульные безникелевые титановые сплавы, модуль упругости которых близок по величине к соответствующему для костной ткани. Сводит к возможному минимуму резорбцию кости в области контакта импланта с живой костной тканью.</p> <p>Отсутствие в составе сплава вредных для живого организма легирующих элементов улучшает биосовместимость и снижает канцерогенное, мутагенное и тератогенное влияние импланта на костную ткань.</p>	<p>Лабораторный образец (модель), прототип, технические и предклинические испытания</p>

3	<p>Технологический процесс лазерной модификации поверхностей медицинских сплавов, в том числе полученных с применением 3D-аддитивных технологий</p>	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Медицинские изделия (импланты, стенты, хирургический инструмент и др.) с модифицированным поверхностным микрорельефом, улучшающим биосовместимость и вызывающим проявление биоактивных и противомикробных свойств поверхности. Рассматриваемый технологический процесс может быть также использован для повышения износо- и коррозионной стойкости изделий и инструмента, уменьшения коэффициента трения в узлах медицинских и других конструкций, формирования супергидрофильных или супергидрофобных свойств поверхности титановых и других сплавов</p>	<p>Лабораторные образцы. Технические и доклинические испытания.</p>
---	---	--	---

Центр НСМН НИУ «БелГУ», НПО АО «ВладМиВа» (г.Белгород); ФИЦ ПХФ и МХ РАН ,ИСМАН (г.Черноголовка),МИСИС (г.Москва)

	<p>Субмикрокристаллический пруток из отечественных титановых сплавов, не содержащих вредных для живого организма легирующих элементов</p>	<p>Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии. Конкурентные преимущества разработанной технологии(Согласно ГОСТ Р ИСО 50581-93 винты кортикальные с наружным диаметром 4,5 мм, изготовленные из нержавеющей стали, должны выдерживать минимальный крутящий момент на разрушение 4,4 Н·м при минимальном угле поворота винта не менее 180°, если открыто пять нитей резьбы). Результаты технических испытаний винтов из произведенного в Центре НСМН НИУ «БелГУ» субмикрокристаллического титана марки ВТ1-0 соответствуют крутящему моменту 5,5 Н·м при угле поворота винта 260°. Медицинские изделия из данного материала прошли клинические испытания, получили соответствующие разрешения на их применения в медицинской практике и были доступны на рынке медицинских изделий РФ.</p>	<p>Продукт готов для проведения ОТР по масштабированию в условиях промышленного (серийного) производства</p>
--	---	--	--

Уфимский университет науки и технологий и УФИЦ РАН

1	Технология получения полуфабрикатов-прутков из наноструктурного титана технической чистоты Grade4	Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии. Данный материал-нанотитан обладает уникальной прочностью $\sigma_b > 1300$ МПа и усталостной долговечностью, прошел международную апробацию для изготовления имплантатов улучшенной конструкции. Развитие данной технологии и производства полуфабрикатов в виде прутков и лент различных типоразмеров из наноструктурных металлических биоматериалов (нанотитана, а затем Mg сплавов и других специальных сплавов) позволит обеспечить базу для изготовления медицинских имплантатов в стране и внесет значительный вклад в импортозамещение. См. также информацию на сайте РАН по ссылке https://new.ras.ru/activities/news/rossiyskiy-nanotitan-dlya-bioimplantatov-ne-imeet-analogov-v-mire/ .	В настоящее время в г. Уфа имеется опытное производство полуфабрикатов-прутков из нанотитана на базе малого инновационного предприятия ООО «Наномет».
---	---	--	---

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

1	Технология формирования бактерицидных покрытий на материалах медицинского назначения	Защита поверхностей касания (ручки, кнопки, выключатели, мебель) и инструмента в учреждениях, связанных с оказанием медицинской помощи Комбинирование лазерной обработки материалов с химическим осаждением из паров гидрофобных веществ с целью формирования материалов, характеризующиеся экстремальными режимами смачивания (супергидрофильные и супергидрофобные), для немедикаментозного решения проблемы борьбы с больничными инфекциями	Проводятся клинические испытания
---	--	---	----------------------------------

Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения РАН

1	Методика механохимического синтеза гидроксилапатита (ГА)	Синтетический ГА активно используются в медицинской практике мирового уровня в качестве остеопластического материала для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства Механохимическая обработка порошковой смеси реагентов в планетарной	Продукт готов к промышленному (серийному) производству
---	--	---	--

		шаровой мельнице, в результате которой получается готовый продукт. Разработанный способ синтеза простой в исполнении, быстрый и экологичный, не имеется отходов производства. Главное преимущество способа заключается в возможности введения в процессе синтеза ГА любых модифицирующих добавок в любых концентрациях (в зависимости от потребностей заказчика), позволяющих придавать материалу дополнительные полезные свойства.	
2	Методика получения мелкодисперсной суспензии ГА (0,5 л/час)	Создание реминерализирующих гелей и зубных паст Создание реминерализирующих гелей и зубных паст	Проведение клинических исследований
3	Методика получения текущего порошка ГА с плотными частицами	Технологические процессы детонационного и плазменного напыления покрытий и в технологии селективного лазерного плавления Остеопластический материал для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства	Проведение клинических исследований
4	Технологии 3D печати биорезорбируемых изделий с применением порошка ГА, получаемого механохимическим синтезом	Технологии 3D печати биорезорбируемых изделий Остеопластический материал для восстановления дефектов и пустот в костных тканях, а также для модификации поверхности металлических имплантатов, в качестве добавки в лекарственные и стоматологические средства	Подготовка к клиническим исследованиям

Кабардино-Балкарский государственный университет

1	Технология получения полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) различных марок и угленаполненные композиты на их основе для литья и 3D печати	Испытания модели или прототипа в реальных условиях
---	---	---	--

2	Технология получения полифениленсульфона и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии Полифениленсульфон (ПФСн) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати	Испытания модели или прототипа в реальных условиях
3	Технология получения полиэфиркетонкетона (ПЭКК) и композитов на его основе	Имплантаты для реконструктивной хирургии и стоматологии Сополимеры на основе ПЭКК различных марок и композиты на их основе и композиты на его основе для литья и 3D печати. Полиэфиркетонкетон (ПЭКК) различных марок и композиты на их основе для литья и 3D печати	Проверка основных технологических компонентов в реальных условиях
4	Технология 3D печати индивидуализированных имплантатов из суперконструкционных полимеров и композитов	Индивидуальные имплантаты для реконструктивной хирургии Технология печати медицинских индивидуализированных изделий из полимеров собственного производства	Демонстрация прототипа (опытного образца) в условиях эксплуатации.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины»

1	Разработка гемостатического бинта-тампонады «Plantago» (подорожник)	Изделие предназначено для остановки кровотечений. Наступление гемостаза в течение 2-3 минут, подходит для любых типов ран. Изделие представляет собой z-уложенное нетканое хлопковое полотно с повышенными впитывающими свойствами, обработанное гемокоагулирующим составом. В уложенном состоянии (тампонада) – 5x7.5 см, уложенные в 72 слоя. В однослойном состоянии (повязка) – 7.5x360 см Имеет насечки для оперативного разрыва каждые 30 см (6 слоев) Индивидуально упаковано в стерилизационный пакет из вошеной бумаги (с возможностью применения при пневмотораксе) и запаяно в металлизированный вакуумный пакет. Преимущества перед аналогами: Современное гемостатическое изделие, сделанное с учетом опыта реальных	Совместно с экспертами в области экстренной военной медицины подготовлен прототип изделия, испытан в лабораторных условиях, в т.ч. с использованием модельных животных. Требуется регистрация гемостатической повязки-тампонады как изделия медицинского назначения. Изделие имеет
---	---	--	--

		<p>боевых и экстремальных условий. Ускорено наступление гемостаза. Невысокая стоимость.</p> <p>Имеющиеся возможности производства:</p> <p>Учреждение обладает мощностями для производства опытных и мелкосерийных партий, что соответствует производству до 100 000 изделий в месяц.</p>	<p>гигиенический сертификат, оформляются документы для регистрации разработки в качестве изделия медицинского назначения.</p>
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «научно-исследовательский институт вакцин и сывороток им. И.И. Мечникова»			
1	Экспериментальные образцы тест-систем	<p>Номенклатура тестовых систем для определения антител к вирусам гепатита и др.</p> <p>Тест-система для количественного определения IgG-антител к вирусу Варицелла зостер методом ИФА.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Тест-система для установления индекса авидности IgG-антител к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для быстрого выявления IgG-антител к вирусу гепатита Е методом ИХА. - Тест-система для количественного определения содержания IgG-антител к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для выявления иммуноглобулинов класса M к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека «ловушечным» методом ИФА. - Тест-система для выявления специфических суммарных антител (IgG, IgM, IgA) к вирусу гепатита Е в сыворотке/плазме крови человека методом ИФА. - Тест-система для определения IgG антител к вирусу гепатита Е методом ЛИА (Лайн-блот). - Тест-система для количественного определения активного вещества в составе вакцины против ГЕ методом ИФА. - Тест-система для количественного определения вирусоспецифического антигена в полупродукте производства вакцины против ГЕ методом ИФА. 	<p>Лабораторный образец, проведены испытания, готовы к передаче для производства опытных партий и государственной регистрации</p>

Федеральное государственное бюджетное учреждение Национальный медицинский исследовательский центр "Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии" Минздрава России

1	Костно-пластические материалы нового поколения на основе коллагеновых и хитозановых гидрогелей и пористых полилактидных наполнителей с белком BMP-2	<p>Костно-пластикические операции в стоматологии Сочетанием комплекса всех необходимых ранее не достижимых свойств: выраженные остеоиндуктивные и остеокондуктивные свойства, биосовместимость, способность к моделированию и отверждению, и своевременная биорезорбция с замещением костной тканью. Внедрение в клиническую практику остеоиндуктивных, биосовместимых, моделируемых и отверждаемых костно-пластикических материалов с факторами роста должно существенным образом понизить требования к квалификации медицинского персонала, повысить успех операций, и сделать дентальную имплантацию более доступной. Разработанный материал не имеет полных аналогов в Мире и обладает перспективным экспортным потенциалом.</p>	Лабораторный образец
---	---	--	----------------------

Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук

1	Костно-пластический материал «SINTELBONE»	<p>Костно-пластический материал «SINTELBONE» служит для замещения дефектов костей и снижения риска развития инфекционных осложнений и опухолевых рецидивов в травматологии и ортопедии, онкоортопедии, нейрохирургии и стоматологии. Костно-пластический материал «SINTELBONE» служит для замещения дефектов костей и снижения риска развития инфекционных осложнений и опухолевых рецидивов в травматологии и ортопедии, онкоортопедии, нейрохирургии и стоматологии.</p>	В настоящее время проводятся токсикологические и технические испытания, ведется подготовка необходимой документации. Регистрация изделий в Росздравнадзоре планируется на 2026 год.
2	Медицинское изделие «Петельный модуль для каркасной многослойной реконструкции».	<p>Петельный модуль предназначен для каркасной многослойной реконструкции, реконструктивной пластики различных дефектов каркаса, включая грудную стенку и кости таза, производимую при онкологических операциях, преимущественно для замещения резецированного участка Петельный модуль предназначен для каркасной многослойной реконструкции, реконструктивной пластики различных дефектов каркаса, включая грудную стенку и кости таза, производимую при онкологических операциях, преимущественно для замещения резецированного участка.</p>	В настоящее время проводятся токсикологические и технические испытания, ведется подготовка необходимой документации. Регистрация изделий в Росздравнадзоре планируется на 2026 год.

3	Эндоваскулярный аблационный катетер для ренальной денервации	Разработка конструкции и технологии производства эндоваскулярного аблационного катетера для ренальной денервации Лечение хронической артериальной гипертонии	Лабораторный образец
4	Устройство для сцинтиграфической диагностики легочной патологии	Неинвазивный метод диагностики легочных заболеваний	Лабораторный образец
5	Электроды для наружной электрокардиостимуляции "Эверест"	Для временной кардиостимуляции и регистрации сердечных потенциалов в раннем послеоперационном периоде у пациентов, подвергшихся вмешательству на открытом сердце.	Проведение доклинических исследований
6	Электроды для наружной электрокардиостимуляции "Кардиопейс"	Для временной кардиостимуляции и регистрации сердечных потенциалов в раннем послеоперационном периоде у пациентов, подвергшихся вмешательству на открытом сердце.	Созданы прототипы, проведены технические и токсикологические испытания. Создан промышленный образец. Регистрация медицинского изделия.
7	Индивидуальное портативное устройство для мониторинга и локального позиционирования пациентов с высоким риском смерти.	Своевременное обнаружение и помочь пациентам с внезапной остановкой сердца, падением уровня кислорода в крови или жизнеугрожающими нарушениями ритма сердца с точностью до 2 метров. Система предназначена для использования в ЛПУ.	Начало исследований и разработок. Подтверждение характеристик. Создан прототип устройства для позиционирования в стационаре.

8	Разработка портативного индивидуального прибора «ЭКГ-ЭКСПРЕСС».	Персональный электрокардиограф «ЭКГ-Экспресс», который позволяет человеку самостоятельно сделать электрокардиограмму и отправить в медицинское учреждение для анализа.	Прототип, решается задача мгновенной передачи ЭКГ в специализированные центры для быстрой диагностики.
9	Новое поколение сосудистого стента с биодеградируемым покрытием, е	Разработка нового поколения сосудистого стента с биодеградируемым покрытием, содержащим наноматериал с активным воздействием на структуру атеросклеротической бляшки. Лечение атеросклероза	Лабораторный образец (модель), прототип
10	Аппаратно-программный комплекс (АПК)	Разработка аппаратно-программного комплекса (АПК) доставки и обеспечения технологий органопroteкции оксидом азота при респираторных инфекциях. Органопroteкция оксидом азота при респираторных инфекциях	Лабораторный образец (модель), прототип
11	Интегрированная система неинвазивного электрофизиологического картирования с инвазивным трехмерным электроанатомическим картированием	Для точной топической локализации различных нарушений ритма сердца (как предсердных, так и желудочковых), включая фибрилляцию предсердий, а также гемодинамически нестабильных желудочковых тахиаритмий, что необходимо для эффективного катетерного лечения, достижения долгосрочного эффекта радиочастотной абляции при сокращении времени операции и минимальном риске осложнений	Лабораторный образец (модель), прототип

Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера ФИЦ КНЦ СО совместно с НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы (г. Томск)

1	Материалы и имплантаты с памятью формы на основе сплавов титана и никеля	Используются во всех отраслях челюстно-лицевой хирургии, в частности в устранении травматических повреждений и их осложнений, для устраниния изъянов в хирургии опухолевых и опухолевых состояний, в ортогнатической хирургии, в хирургии врожденных расщелин и других дефектов неба, в реконструктивной хирургии альвеолярных отростков челюстей, в дентальной имплантологии, в косметической хирургии, в реконструктивной хирургии	С использованием материалов с памятью формы выполнено оперативное лечение более 5000 больных с дефектами тканей и органов челюстно-
---	--	--	---

	<p>височно-нижнечелюстного сустава.</p> <p>Для замещения тканевых дефектов органов и тканей челюстно-лицевой области в настоящее время используем транспланационные материалы аутогенного происхождения и технологии с применением имплантационных материалов с памятью формы, разработанные в НИИ медицинских материалов и имплантатов с памятью формы (г. Томск).</p> <p>Анализ отдаленных результатов показал высокую эффективность разработанных технологий.</p>	<p>лицевой области различного генеза. Осложнения в виде нагноения ран, потребовавших удаления имплантатов, наблюдали в 1-2% случаев, у остальных пациентов получены удовлетворительные косметические и функциональные результаты.</p>
--	--	---

Институт биофизики СО РАН и Сибирский федеральный университет

1	<p>Разрушаемый биосовместимый полимерный термопластичный материал – полигидроксиалканоат в (ПГА)</p>	<p>С использованием авторской коллекции штаммов-продуцентов разработаны и реализованы в масштабированном варианте биотехнологии синтеза партий–полимеров микробиологического происхождения различного состава;</p> <ul style="list-style-type: none"> - отработаны технологии получения полимерных изделий различной геометрии и назначения в виде пленок, микрочастиц, полимерных покрытий, нетканых мембран, трубок, пломбировочного материала, 3D форм; изучены структура поверхности, физико-химические и физико-механические свойства изделий; - в экспериментах на клеточных культурах и большом массиве экспериментов на лабораторных животных доказана биологическая безопасность всех типов изделий из ПГА и соответствие требованиям, предъявляемым к материалам и изделиям медико-биологического назначения; <p>Серия экспериментальных образцов полимеров медицинской степени чистоты и экспериментальных образцов изделий из ПГА была использована в ограниченных клинических испытаниях для реконструкции дефектов тканей (в реконструктивных технологиях ортопедии и травматологии и абдоминальной хирургии). Показана эффективность применения для реконструкции дефектов кожных покровов и костной тканей;</p>	<p>Проведена сертификация технологии синтеза и очистки образцов полимеров различного состава; получен гигиенический сертификат соответствия Опытного производства полимеров медицинского назначения Главной санитарно-эпидемиологической службы РФ; разработаны и зарегистрированы Технические условия на ПГА различной химической структуры в качестве матриксов функционирующих клеток и лекарственных средств,</p>
---	--	---	---

			хирургических имплантатов; в Роспатенте РФ зарегистрирована торговая марка «БИОПЛАСТОТАН™» на ПГА и изделия медико-биологического назначения.
--	--	--	---

ФГБНУ «Научный центр неврологии» совместно с АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара» (ВНИИНМ) (Госкорпорация Росатом)

1	Инертный электрод	Инертный электрод, предназначенный для глубинной стимуляции мозга Инертный электрод из карбида кремния с платиноиридиевыми контактами (сплавы кобальта, хрома, никеля).	Планируется разработка и аprobация инертного электрода. На данный момент между двумя учреждениями заключен договор о намерениях
---	-------------------	--	---

Государственный научный центр Российской Федерации ФГБНУ «Российский научный центр хирургии имени академика Б. В. Петровского»

1	Устройство для окклюзии сосудов	Эндоваскулярная эмболизация сосудов при различных патологических состояниях. Повышение эффективности и безопасности эндоваскулярных вмешательств на сосудах малых и больших диаметров. После доставки, устройство принимает форму двух тел вращения конической формы стянутыми вершинами вдоль оси к мембране и основаниями, направленными навстречу друг другу, что приводит к 9моментальной окклюзии просвета сосуда. После имплантации устройства, при полной окклюзии антеградного (ретроградного) кровотока, через коаксиально закрепленную металлическую трубку соединенную с доставляющим катетером без риска обратного рефлюкса, имеется возможность микроэмболизации дистального русла с помощью микроэмболов или жидкостью. Затем доставляющий катетер отсоединяется от	Проводятся доклинические исследования
---	---------------------------------	---	---------------------------------------

		металлической трубки и удаляется.	
2	Аппарат вакуумной аспирационной биопсии	<p>Вакуумная аспирационная биопсия и удаление патогенных тканей.</p> <p>Импортозамещение и сохранение технологий ранней диагностики и хирургии.</p> <p>ВАБ проводится под контролем ультразвукового исследования через прокол кожи с использованием иглы манипулятора с режущим роторным механизмом.</p> <p>Извлечение образца ткани образования осуществляется вакуумом в специальный внешний контейнер. После проводится коагуляция с помощью лазерного интерстициального излучения</p> <p>Манипуляция проводится под местной анестезией и занимает 15-20 минут.</p> <p>После выполнения манипуляции на прокол кожи накладывается асептическая повязка и производится эластичное бинтование на 24-48 часов. Биоптат отправляется на гистологическое исследование.</p>	Лабораторный образец (модель)
3	Аппарат для ультразвуковой облитерации вен	<p>Хирургическая диссекция и коагуляция тканей. Имортозамещение и сохранение технологий хирургии с применением миниинвазивных методов в абдоминальной, эндокринной хирургии и онкологии, увеличение объемов выполняемых операций с уменьшенной интраоперационной кровопотерей и сокращением сроков пребывания пациентов в стационаре.</p> <p>Диссекция происходит вследствие механического растяжения тканей выше пределов эластичности. Коагуляция тканей происходит вследствие ультразвуковых механических колебаний молекул белков с их последующей денатурацией. Сопутствующая кавитация (образование холодного пара) является обратимым эффектом, который возникает вследствие изменения давления и способствует препарированию тканей.</p>	Создан лабораторный образец
4	Система для проведения вакуумной терапии ран	<p>Создание отечественного аппарата и линеек расходных материалов для применения технологии отрицательного давления в хирургии (реинжиниринг + разработка).</p> <p>Принцип работы вакуумной терапии основан на применении закрытой системы дренажей, поддерживающей контролируемое отрицательное давление в области раны. Вакуум-терапия способствует определенным изменениям в области раневого поражения:</p> <p>активное удаление избыточного раневого отделяемого, сохранение влажной раневой среды</p>	Создан лабораторный образец

		в ране, ускорение бактериальной деконтаминации раны, усиление местного кровообращения, снижение интерстициального отека тканей в ране, снижение межклеточного давления, усиление местного лимфообращения и транскапиллярного транспорта, уменьшение площади раны. Все эти эффекты приводят к ускорению заживления раны, а также минимизируют осложнения	
5	Инструментарий для мининвазивной кардиохирургии	Хирургические вмешательства при патологии клапанного аппарата сердца, врожденных пороках. Специальные наборы инструментов для повышения качества минимально инвазивных вмешательств на сердце, аналогов нет	Создан лабораторный образец
6	Прибор для интраоперационной манометрии пищевода	Позволяет контролировать создаваемое давление в пищеводе и он-лайн манометрия позволит формировать манжетку без чрезмерного сдавления. Манометрия трубки водно-перфузионного катетера, вводимого в пищевод.	Создан лабораторный образец
7	Оборудование для выполнения криоабляции	Хирургическое лечение сердечных аритмий с помощью воздействия чрезвычайно низких температур до -100°C на пораженные участки миокарда. Подавление активности очагов эктопических импульсов возможно путем деструкции ткани миокарда с использованием холода. Криоабляция выполняется с использованием криозондов (полых трубчатых игл) в полостях которых происходит теплообмен теплопроводящих газов и жидкостей направленный на отвод тепла от обрабатываемой ткани.	Создан лабораторный образец
8	Оборудование для выполнения радиочастотной аблации	Хирургическое лечение сердечных аритмий путем использования радиочастотных импульсов для прижигания ткани сердца в ходе минимально инвазивных процедур или открытых операций Подавление активности очагов эктопических импульсов возможно путем деструкции ткани миокарда - коагуляцией тканей под действие радиочастотного тока является превращение электрической энергии в тепловую. Повышение температуры в миокардиальной ткани приводит к биологической смерти тканей	Создан лабораторный образец

9	Видеоларингоскоп	Видеосистема для интубация трахеи у пациентов при общей анестезии с ИВЛ, а также находящихся в отделении реанимации и интенсивной терапии. При интубации посредством прямой ларингоскопии пользователь не получает необходимый угол обзора. Принцип видеоларингоскопии дает пользователю более крупный и детальный вид на гортань, благодаря чему значительно повышается безопасность пациента. За счет увеличенного поля обзора видеоларингоскопов снижается сила давления, оказываемая инструментами на верхнюю челюсть пациента. Уже только это ведет к снижению случаев повреждения зубов пациента при интубации	Создан лабораторный образец
10	Зонд для интраоперационной оценки герметичности анастомозов при реконструктивных операциях на органах желудочно-кишечного тракта	Оценка герметичности анастомозов при реконструктивных операциях на органах ЖКТ Метод с использованием тонкого зонда	Проведение клинических исследований
11	Ультразвуковой костный скальпель	Применяется для проведения открытых хирургических операций у пациентов с заболеваниями торакоабдоминального отдела аорты (включая пациентов с аневризмой брюшного отдела аорты) Ушивание производится технологическим набором компрессионно-механических имплантов, установленных в специальный прибор с устройством для их автоматической подачи.	Лабораторный образец
12	Аппарат для формирования анастомозов желудочно-кишечного тракта	Формирование анастомозы желудочно-кишечного тракта различной локализации с сокращением времени оперативного вмешательства и числа послеоперационных осложнений Аппаратная реконструкции отделов желудочно-кишечного тракта при расширенных и комбинированных операциях при патологиях желудка	Лабораторный образец
13	Система диагностики аллергии "Патч-тест"	Патч - тест необходим для проведения обследования пациентов с использованием современных диагностических тестов в диагностике контактной аллергии, определение сенсибилизации к металлам, химическим веществам и соединениям и подбора безопасных веществ.	Лабораторный образец (модель), подготовка к клиническим исследованиям

		Патч - тестирование является диагностической процедурой, включающей в себя следующие этапы: Патч - тест - аппликация на кожу пациента пластиря с Гаптенами; Снятие Патч-Тест системы (опционно - предварительная оценка результатов тестирования); оценка отдаленной (отложенной) реакции на гаптены.	
--	--	---	--

НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

1	Биодеградируемый сосудистый гraft с определенным заданным сроком деградации	Разработан для синтеза сосуда малого диаметра <i>in situ de novo</i> . Для нужд сосудистой хирургии (аортокоронарное шунтирование, заплаты для каротидной эндартерэктомии, протезирование сосудов нижних конечностей ниже коленной щели).	Уровень разработки - ОКР.
---	---	---	---------------------------

Институт металлоорганической химии им. Г. А. Разуваева РАН

	Материалы для полимерных костнозамещающих имплантатов	Материалы для полимерных костнозамещающих имплантатов	Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
	Катализаторы получения лактида и его полимеризации	Разработаны катализаторы, позволяющие получать лактид и полилактид рекордно высокой молекулярной массы (до 200 кДа). Катализаторы для получения биоразлагаемых материалов для полимерных костнозамещающих имплантатов	Уровень разработки - НИР

Иркутский научный центр СО РАН

1	Биодеградирующая пленка пролонгированного действия	Разработана для стимуляции регенерации клеток стенки трахеи Для стимуляции регенерации клеток стенки трахеи	Получен патент на изобретение РФ № 2678200 «Лекарственная плёнка пролонгированного действия и способ её получения»
---	--	---	--

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)

1	Коллагеновая мембрана	<p>Мембрана предназначена для нужд стоматологии и челюстно-лицевой хирургии: используется для направленной тканевой регенерации (наращивание кости в челюсти перед установкой импланта, синус-лифтинг, гингивопластика и тд).</p> <p>Технология получения основана на принципе электрофоретического осаждения. Группа ученых из Сеченовского Университета разработала его инновационную модификацию, позволив сделать метод электрофоретического осаждения быстрым, дешевым и коммерчески применимым.</p>	<p>Заключение договора с индустриальным партнером (ЗАО «Зеленая Дубрава»). Внедрение технологии на производство.</p>
2	Искусственная роговица	<p>Технология получения основана на разработанной модификации процесса электроосаждения (см. выше). Ноу хау заключается в получении оптически прозрачных мембран (пропускание света >80% при длине волны 550 нм) за счет уникального протокола выделения коллагена из животного сырья и постобработки получаемых мембран.</p> <p>Полученный продукт может быть использован для наращивания стромальной части роговицы, ее частичного замещения, в качестве покрытия при травмах роговицы.</p>	<p>Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.</p>
3	Коллагеновое раневое покрытие	<p>Покрытие предназначено для восстановления кожи при ожогах третьей степени, травмах и диабетических язвах. Содержит в своем составе лактоферрин – уникальную биологическую добавку производства ИБГ РАН, обладающую прогенеративными и антимикробными свойствами. Полученные покрытия доказали свою эффективность в экспериментах <i>in vitro</i> с кератиноцитами и фибробластами; доказана эффективность коллагеновых покрытий с содержанием лактоферрина в пилотном эксперименте на животных.</p>	<p>Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.</p>
4	Коллагеновый остеопластический материал	<p>Коллагеновый остеопластический материал предназначен для направленной регенерации костной ткани в стоматологии, а также у больных с переломами, в т.ч. осложненными микробной контаминацией. Остеопластический материал содержит в своем составе лактоферрин – уникальную биологическую добавку производства ИБГ РАН, обладающую про-регенеративными и антимикробными свойствами. Полученный материал доказал эффективность в экспериментах <i>in vitro</i> с мезенхимальными стволовыми клетками.</p>	<p>Создан прототип. Подготовка к доклиническим испытаниям.</p>

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, биологический факультет

1	Биоразлагаемые и биосовместимые полимеры: поли-3-оксибутират и его сополимеры, бактериальные альгинаты, фибронгелей, фибронгелей щелка	Получение биоразлагаемых и биосовместимых полимеров поли-3-оксибутирата, его сополимеров (с 3-оксивалератом, 4-метил-3-оксивалератом) и альгинаты получены с помощью контролируемой микробиологической технологии биосинтеза, фибронгелей щелка - с помощью технологии выделения из паутины шелкопряда. Технологии получения полимеров позволяют получать полимеры из доступного отечественного сырья, достигая высокой степени химической и биологической чистоты с заданными физико-химическими и технологическими характеристиками для различных биомедицинских применений.	Лабораторная и опытно-промышленная технология получения, имеются патенты, опытно-промышленный и технологический регламенты, ТУ, токсикологические заключения.
2	Остеопластический материал	Материал для восстановления костной ткани после ранений, переломов, травм, инфекционных процессов на основе пористых микросфер из биорассасываемого полимера, поли-3-оксибутирата в т.ч. способный к пролонгированному высвобождению остеоиндуктивных лекарств для челюстно-лицевой хирургии и ортопедии.	Получен патент РФ на изобретение № 2692768. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
3	Дермальный филлер	Дермальный филлер на основе микросфер из композита биорассасываемого полимера, поли-3-оксибутирата, в т.ч. способный к пролонгированному высвобождению лекарственных лекарств, для косметологии и лечения лицевой липоатрофии различной этиологии.	Получен патент РФ на изобретение № 2530577. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
4	Покрытия металлических имплантов	Технология покрытия имплантов из микропористого титана и его сплавов биосовместимым полимером, в т.ч. для пролонгированного высвобождения остеоиндуктивных лекарств для челюстно-лицевой хирургии, ортопедии и травматологии.	Уровень разработки - НИР
5	Ожоговые и раневые покрытия.	Материалы на основе фибронгеля щелка и его фотоотверждаемых производных или композита сополимера поли-3-оксибутирата с альгинатом для ускоренного заживления кожи после ранений и ожогов, гемостатический микроволокнистый материал на основе альгината для общей хирургии и травматологии.	Получен патент РФ на изобретение № 2740380. Проходят доклинические исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
6	Проводники для роста периферических нервов.	Проводники для роста периферических нервов в виде трубок с микроволокнистыми стенками на основе фибронгеля щелка или композита сополимера поли-3-оксибутирата с альгинатом для нейрохирургии. Предлагаемые прототипы медицинских изделий получены методом	Получены экспериментальные образцы. Проходят доклинические

		электротиннинга и показали высокий уровень нейросовместимости на первичных клетках периферической и центральной нервной системы, включая направленный рост сети нейритов.	исследования <i>in vitro</i> и <i>in vivo</i> .
7	Микроскаффолды на основе структурных белков шелка для инженерии нервной ткани	Одним из наиболее перспективных подходов в отношении лечения мозга, подвергнувшегося поражениям разной этиологии, является комбинация биодеградируемых скаффолдов и клеточной терапии с добавлением или без добавления факторов роста. Уникальные микрочастицы на основе фиброна шелка, полученные методом криоизмельчения способствовали сохранению жизнеспособности клеток центральной нервной-системы и более полному функциональному восстановлению грызунов в модели черепно-мозговой травмы.	Составлены лабораторные регламенты проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2616866 от 18.04.2017
8	Фотополимеризуемый эндопротез кишечника.	Эндопротезы и заплаты стенки кишечника на основе фиброна шелка могут быть использованы для реконструкции кишечника при патологиях различного генеза, включая как врожденные, так и приобретенные (опухолевые поражения и травмы). Преимуществом создания изделий методом фотополимеризации является возможность задания кастомной формы фотошаблона и получения трансплантата воспроизводящего анатомические особенности пациента вплоть до микронных масштабов. Результаты пилотных экспериментов подтверждают правомочность данного подхода. Использование подобных изделий способствовало большей выживаемости экспериментальных животных и восстановлению анатомической структуры стенок тонкого кишечника крыс.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2749871, 17.06.2021 г Патент РФ на изобретение №2714200, 13.02.2020 г. Патент РФ на изобретение №2711545, 17.01.2020 г.
9	Раневые фотоотверждаемые покрытия (повязки) с функционализацией факторами роста обладающие antimикробной активностью	Фотоотверждаемые повязки на основе фиброна могут быть использованы для тяжелых поражений кожи таких как трофические язвы, пролежни, плохо заживающие послеоперационные раны, ожоги, обморожения диабетические язвы. В состав покрытий включены эпидермальный фактор роста, в качестве вещества ускоряющего регенерацию, и хлоргексидин, в качестве противомикробного агента. В моделях полнослойной раны кожи грызунов была продемонстрирована высокая биосовместимость конструкций, а также показано, что использование подобных повязок способствовало более полному восстановлению гистологической структуры кожи, включая ее придатки, а именно волосяные фолликулы и жировую ткань.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях Патент РФ на изобретение №2645200 от 16.02.2018 г

10	Изделия биоискусственной костной ткани модуляторов остеогенеза	из	Пористые, минерализованные остеозамещающие имплантаты на основе структурных белков шелка могут найти применение в травматологии и ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Использование этих изделий в модели некритического повреждения бедренной кости крысы показало, что они способствуют более быстрой регенерации костной ткани.	Составлены лабораторные регламенты, проведены испытания <i>in vitro</i> и первичные испытания <i>in vivo</i> в животных моделях. Патент РФ на изобретение №2692578, 25.06.2019 г Патент РФ на изобретение №2660558 от 06.07.2018 г.
----	--	----	---	--

РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ И БОРЬБЫ С НОЗОКОМИАЛЬНЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ

академик РАН Л.Б. Бойнович, д.х.н. А. М. Емельяненко

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



Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук

**Разработка материалов для
профилактики и борьбы с
нозокомиальными инфекциями**

Л.Б. Бойнович, А.М. Емельяненко

Инфекционные заболевания и проблема резистентности

2

11 эпидемий, изменивших ход истории

- Чума Юстиниана (541-750 н. э.)
- Черная Смерть (1347-1351)
- Оспа (15-17 века)
- Холера (1817-1823)
- Испанский грипп, или H1N1 (1918-1919)
- Гонконгский грипп, или H3N2 (1968-1970)
- ВИЧ/СПИД (1981 – настоящее время)
- SARS (2002 – 2003) Атипичная пневмония
- Свиной грипп, или H1N1 (2009-2010)
- Эбола (2014 - 2016)
- COVID-19 (2019 - настоящее время)

К 2050 году смертность от антибиотико-резистентных инфекций превысит 10 млн. чел., а потери мировой экономики от этой проблемы составят до 7% ВВП, то есть около 210 трлн. долларов

Источник: Businessinsider.com

Особую тревогу в последнее время вызывает распространение в мире бактерий, приводящих к развитию инфекции, не поддающиеся лечению существующими противомикробными препаратами, в частности антибиотиками.

Без эффективных инструментов профилактики и надлежащего лечения лекарственно устойчивых инфекций и расширения доступа к существующим и новым качественным противомикробным препаратам число людей, не излекивающихся или умирающих от инфекций, будет расти.

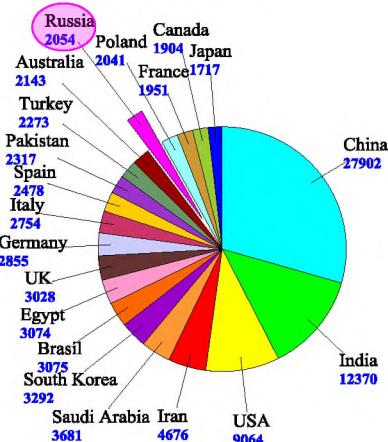
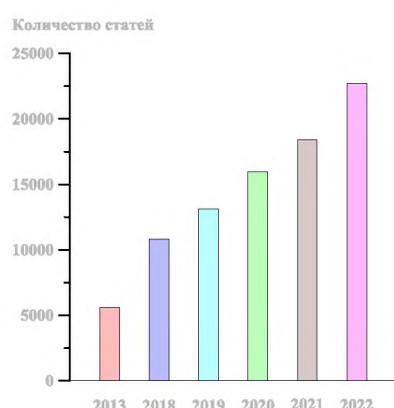
ВОЗ назвала проблему устойчивости к противомикробным препаратам одной из 10 стоящих перед человечеством глобальных угроз здоровью населения.

Источник: <https://www.who.int/> (Всемирная организация здравоохранения)

Количество публикаций по созданию противобактериальных средств в журналах, индексируемых в Scopus

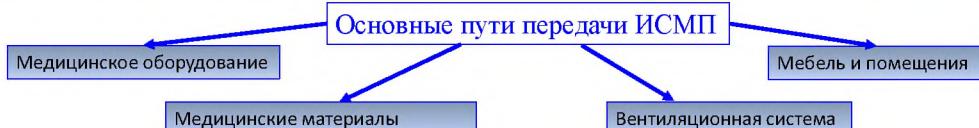
3

За 2018-2023 годы 206,079, из них по медицинским материалам 87,337



Инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи (ИСМП)

4



Медицинские средства борьбы / профилактики больничных инфекций

Терапия с применением антибиотиков
Обеззараживание и стерилизация инструментов с применением химических и физических средств дезинфекции широкого спектра действия

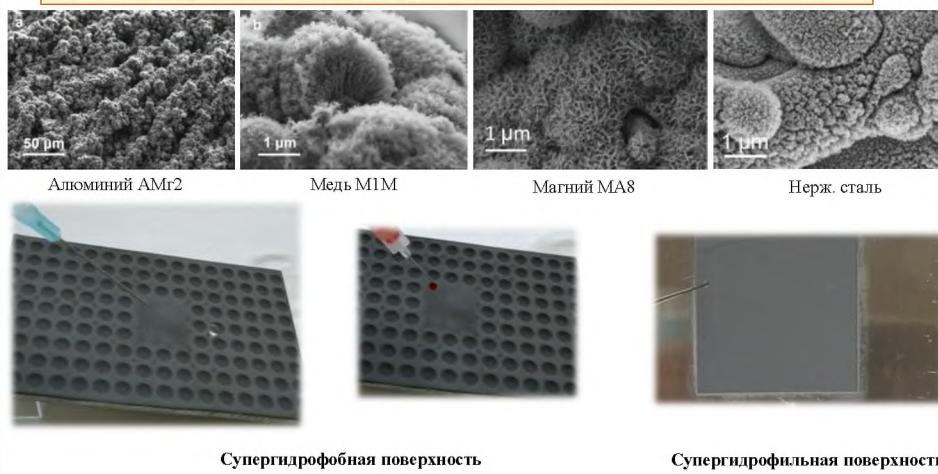
Использование как антбактериальных препаратов, так и средств дезинфекции приводит к развитию и распространению резистентности в течение нескольких лет после введения того или иного класса антибиотиков в клиническое использование.

На сегодняшний день ИСМП широко распространены не только в больницах, но и в амбулаторно-поликлинических и медико-социальных учреждениях, хосписах и т.д. Они представляют угрозу для здоровья не только пациентов, но и медицинских работников в результате их профессиональной деятельности. Эти инфекции поражают до 10% пациентов, находящихся в стационарах, а в ряду причин смертности населения России занимают 10-е место.

Создание новых материалов, обладающих, с одной стороны, бактерицидным действием, а с другой стороны, характеризующихся подавлением осаждения бактериальных клеток и формирования биопленок

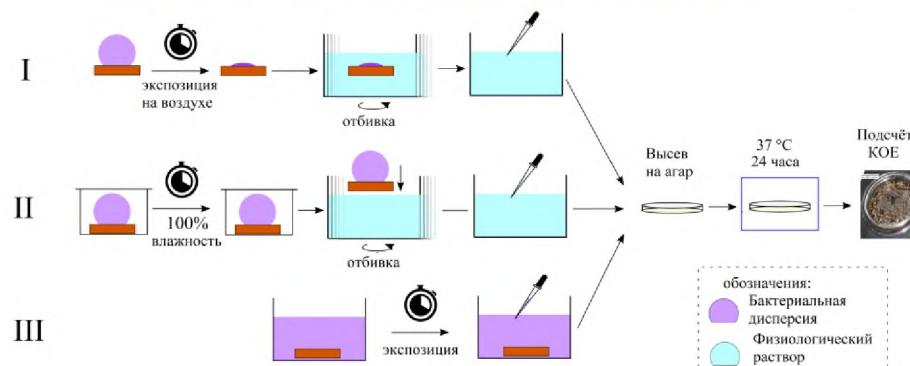
Материалы с экстремальным смачиванием

5



Три протокола, использованные для оценки бактерицидного действия поверхностей с различной смачиваемостью

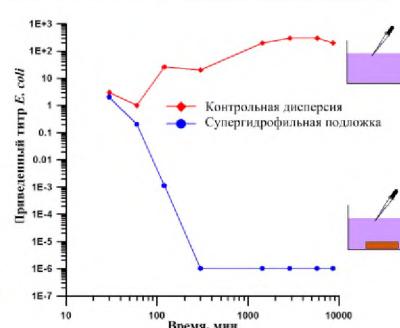
6



Механизмы, определяющие бактерицидный эффект супергидрофильных поверхностей

7

- Полное растекание попадающих на поверхность капель способствует быстрому уничтожению бактерий
- Большая площадь контакта между поверхностью и бактериальной дисперсией
- Растворение наноразмерных элементов текстуры, способствующее насыщению дисперсии токсичными для бактерий ионами
- Поверхностные силы способствуют первичной адгезии, интенсифицируя контактное уничтожение бактерий на элементах текстуры с высокой кривизной
- Развитие окислительного стресса, осмотические эффекты в бактериальных клетках и деформационное разрушение клеточных мембран



Кроме того, особая иерархическая пористая структура супергидрофильных покрытий позволяет инкапсулировать бактериофаги и способствует их длительному сохранению в поверхностном слое без деградации, обеспечивая возможность использования дополнительного – микробиологического – механизма уничтожения бактериальных инфекций.

Langmuir 35 (2019) 2832–2841

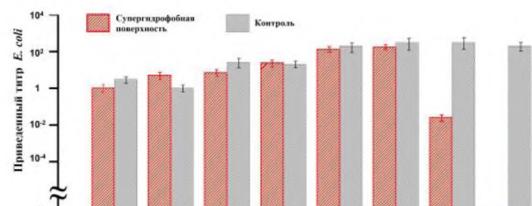
Механизмы, определяющие бактерицидный эффект супергидрофобных поверхностей

8

- Скатывание капель бактериальных дисперсий с поверхности
- Уменьшение площади реального контакта между поверхностью и бактериальной дисперсией
- Поверхностные силы противодействуют первичной адгезии
- Если при длительном контакте с бактериальной средой происходит осаждение бактериальных клеток на поверхность, то включаются физико-химические механизмы контактного уничтожения клеток и бактерицидное действие накопленных в растворе ионов.



Langmuir 35 (2019) 2832–2841



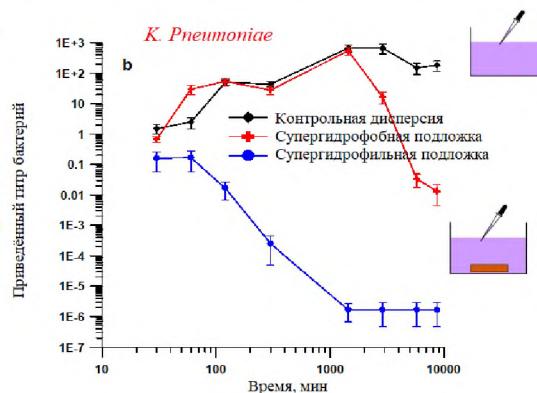
Colloids and Surfaces B 185 (2020) 110622

Механизмы, определяющие бактерицидный эффект супергидрофобных поверхностей

9

- Скатывание капель бактериальных дисперсий с поверхности
- Уменьшение площади реального контакта между поверхностью и бактериальной дисперсией
- Поверхностные силы противодействуют первичной адгезии
- Если при длительном контакте с бактериальной средой происходит осаждение бактериальных клеток на поверхность, то включаются физико-химические механизмы контактного уничтожения клеток и бактерицидное действие накопленных в растворе ионов.

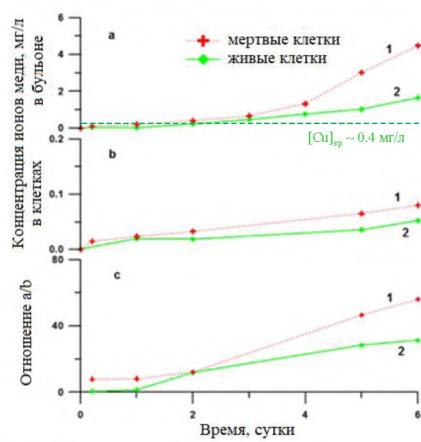
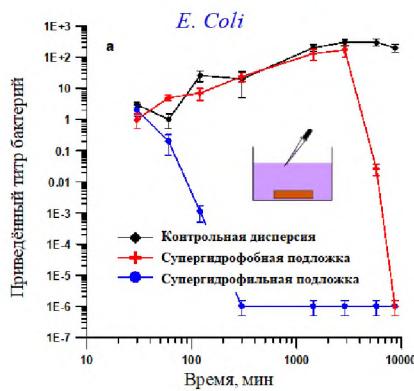
Иерархическая структура покрытий также позволяет инкапсулировать органические вещества с выраженным бактерицидным эффектом.
Наконец, противокоррозионные свойства супергидрофобных поверхностей позволяют значительно повысить устойчивость к внешним воздействиям и увеличить срок их службы.



Colloids and Surfaces B 185 (2020) 110622
Metals 2021, 11(7), 1100

Анализ накопления ионов меди в дисперсионной среде и в бактериальных клетках

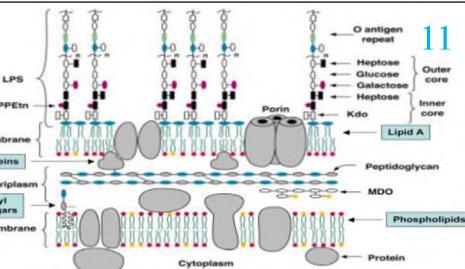
10



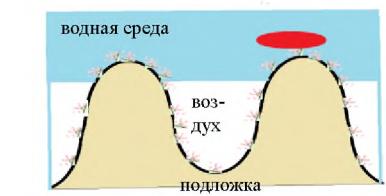
Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 185 (2020) 110622

Бюллетень экспериментальной биологии и медицины 167 (2019) 488–492

Механизм первичной адгезии грам-отрицательных бактерий на примере *E. coli* K12 на медных подложках



Супергидрофильная поверхность	
Ван-дер-ваальсовы силы	слабое отталкивание
Электростатические силы	притяжение
Стерические силы	≈ 0
Структурные силы	≈ 0

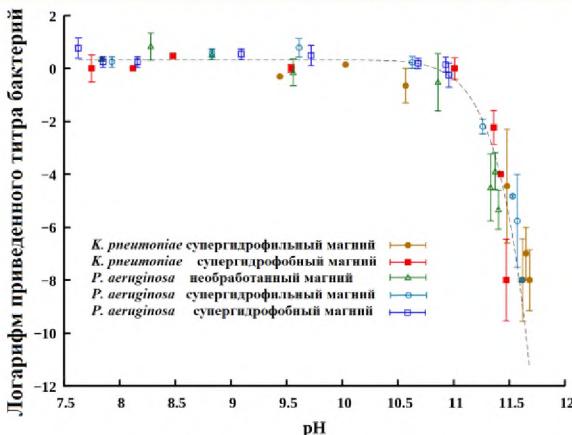


Супергидрофобная поверхность	
Ван-дер-ваальсовы силы	слабое притяжение
Электростатические силы	отталкивание
Стерические силы	отталкивание
Структурные силы	≈ 0

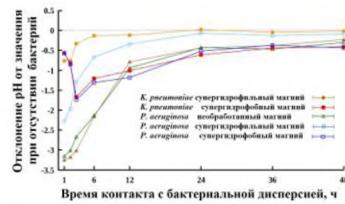
Langmuir 35 (2019) 2832–2841

Роль химических взаимодействий поверхности с биологической средой

12



Зависимость титра бактерий в бактериальной дисперсии, контактировавшей в течение разного времени с магниевыми подложками с различной смачиваемостью, от pH дисперсионной среды. Пунктирной линией изображена «мастер-кривая», соответствующая степенной аппроксимации суммарного набора экспериментальных данных.

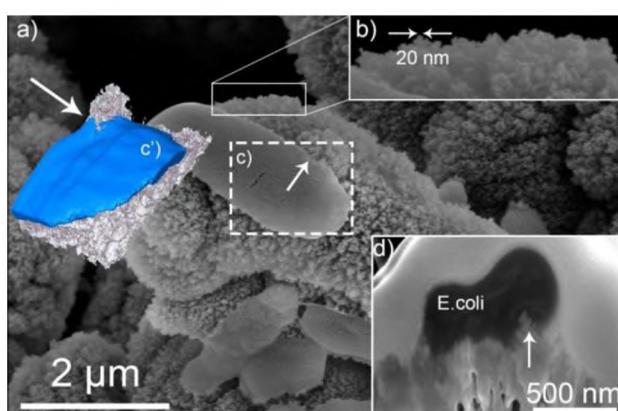


Для образцов с разной смачиваемостью основной вклад в бактерицидный эффект определяется изменением pH дисперсионной среды и хорошо описывается универсальной зависимостью в координатах "Логарифм уменьшения титра бактерий - установившееся в дисперсии значение pH", так называемой «мастер-кривой».

Metals 2021, 11(7), 1100
Materials 2021, 14(18), 5454

Томографическая 3D реконструкция бактерии на поверхности

13



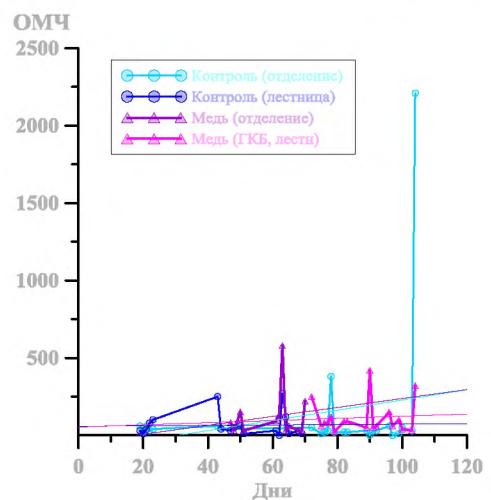
ACS Applied Nanomaterials 2018, 1 (3), 1348–1359

Испытания разработанных покрытий в условиях стационара

14



Входная дверь в реанимационное отделение городской клинической больницы с установленной ручкой с супергидрофобным покрытием на нержавеющей стали



15

Таким образом, новые материаловедческие подходы, направленные на создание необходимой морфологии и химического состава поверхностей материалов, открывают новые возможности для немедикаментозного решения проблемы борьбы с больничными инфекциями

**О ВОЗМОЖНОСТИ ДОСТИЖЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ
РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ
ЗАДАНИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОТДЕЛЕНИЙ РАН**

**заместитель академика-секретаря Отделения медицинских наук РАН,
академик РАН В. В. Береговых**

*О возможности достижения практических
результатов при выполнении
государственных заданий
при взаимодействии отделений РАН.*

Академик РАН Береговых Валерий Васильевич

Постановление Правительства Российской Федерации от 12 апреля 2013г. №327

(в ред. От 27 мая 2022г. №959)

«О единой государственной информационной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения»

- Министерству науки и высшего образования Российской Федерации разработать и утвердить порядок определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий и научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий.
- Порядок определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, а также научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий, утверждается Министерством науки и высшего образования Российской Федерации.

ПП №327 от 12.04.2013г.

- Настоящий Порядок может применяться в целях планирования, проведения экспертизы, мониторинга и оценки работ, финансирование которых осуществляется с привлечением средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации, работ, выполняемых в рамках государственных заданий на оказание государственных услуг (выполнение работ), соглашений о предоставлении субсидий (грантов в форме субсидий), контрактов (договоров) на выполнение работ, оказание услуг, в том числе государственных контрактов, работ, финансовое обеспечение которых осуществляется фондами поддержки научной, научно-технической, инновационной деятельности в рамках соглашений о предоставлении грантов физическим и (или) юридическим лицам.
- Для определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий с учетом отраслевых особенностей планируемых и (или) проводимых работ, а также научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому этапу уровня готовности технологии.

Вызовы научно-технического прогресса

- При высоком уровне фундаментальных исследований, сохраняются невосприимчивость экономики и общества к инновациям и несоответствие предложенных результатов исследований и разработок спросу на них со стороны реального сектора экономики (ПП РФ от 29.03.2019 № 377).
- Достижение целей научно-технологического развития РФ требует создания системы оценки результативности научной, научно-технической и инновационной деятельности, развития междисциплинарных исследований; усиление взаимодействия между научно-исследовательскими организациями и промышленными предприятиями, создание условий для активной коммерциализации научных и научно-технических разработок (Стратегия национальной безопасности РФ, указ Президента РФ от 02.07.2021 № 400).
- Сформированные Евразийские технологические платформы (ЕТП) отражают 14 направлений (в том числе «Медицинские и медицинские биотехнологии, фармация») но их технологическая, производственная, управляемая готовность неравномерна и практически не оценивается (Доклад о приоритетах и долгосрочном прогнозе научно-технического развития ЕАЭС, октябрь 2022г.).

Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021 – 2030 годы)

утверждена РАСПОРЯЖЕНИЕМ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (от 31 декабря 2020 г. № 3684-р)

Координатор Программы - федеральное государственное бюджетное учреждение «Российская академия наук»

Цель Программы - получение новых знаний об основных закономерностях строения, функционирования и развития человека, общества, природы, необходимых для устойчивого научно технологического, социально-экономического и культурного развития страны, укрепления ее национальной безопасности и обеспечения научного лидерства в определении мировой научной повестки на долгосрочный период

Направления реализации Программы

- проведение аналитических и прогнозных исследований, направленных на выявление больших вызовов и совершенствование системы стратегического планирования, обеспечение конкурентоспособности и научного лидерства Российской Федерации;
- создание условий для опережающего развития страны за счет получения прорывных результатов фундаментальных и поисковых научных исследований, в том числе путем формирования необходимого ресурсного обеспечения, популяризации науки, научных знаний, достижений науки и техники;
- определение масштабных научных задач, формирование исследовательских направлений и реализация тематик в рамках сформированных исследовательских направлений с использованием научной инфраструктуры, соответствующей современным технологическим требованиям, включая проекты класса "мегасайено", формирование новых механизмов коллaborации, в том числе международной, в целях развития междисциплинарных исследований, активизации научной мобильности;
- получение передовых научных и научно-технологических результатов, обеспечивающих 5 готовность страны к появлению новых больших вызовов;
- развитие системы поддержки научных инициатив, обеспечивающих получение прорывных результатов мирового уровня и обеспечение возможности результативным ученым и исследовательским коллективам развивать научные знания и получать фундаментальные научные результаты, опираясь на собственную логику развития науки; проведение фундаментальных и поисковых научных исследований в интересах обороны страны и безопасности государства.

Нормативно-правовые документы, определяющие порядок проведения РАН экспертизы научных и научно-технических результатов (далее - научное и научно-методическое руководство), полученных научными организациями и образовательными организациями высшего образования, осуществляющих научные исследования за счет средств федерального бюджета

- Федеральный закон от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ «О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. Федеральных законов от 29.07.2017 г. № 219-ФЗ, от 19.07.2018 г. № 218-ФЗ).
- Устав федерального государственного бюджетного учреждения «Российская академия наук» (далее - Академия), утвержденный постановлением Правительства Российской Федерации от 27 июня 2014 г. № 589.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2018 г. № 1781 "Об осуществлении федеральным государственным бюджетным учреждением "Российская академия наук" научного и научно-методического руководства научной и научно-технической деятельностью научных организаций и образовательных организаций высшего образования, а также экспертизы научных и научно-технических результатов, полученных этими организациями, и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации".
- Распоряжением РАН «Порядок организации и осуществления экспертной деятельности в федеральном государственном бюджетном учреждении «Российская академия наук» (с изм. от 25 декабря 2020 г. № 10110-1200).
- Распоряжение РАН «Об утверждении Положения о порядке отбора экспертов для реализации экспертных функций РАН, об утверждении Списка экспертов РАН, формировании, актуализации и ведении Реестра экспертов РАН» (от 23 октября № 10110-971).
- Распоряжение РАН «Об утверждении Списка экспертов РАН» (от 30 декабря № 10110-1222).

В рамках научного и научно-методического руководства, а также экспертизы научных и научно-технических результатов:

- проводит оценку и дает заключения в части научной и научно-технической деятельности в отношении проектов тематики научных исследований, включаемых в планы научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования (далее - проекты тем), проектов планов научных работ научных организаций и образовательных организаций высшего образования (далее - проекты планов), а также в отношении проектов программ развития этих организаций и отдельных проектов в составе таких программ (далее - проекты программ развития);
- осуществляет экспертизу научных и научно-технических результатов в рамках отчетов научных организаций и образовательных организаций высшего образования о проведенных научных исследованиях и экспериментальных разработках, о полученных научных и (или) научно-технических результатах за отчетный финансовый год, а также дает по ним заключения;
- осуществляет мониторинг и оценку результатов деятельности государственных научных организаций;
- осуществляет подготовку предложений для научных организаций и образовательных организаций высшего образования в целях интеграции их научного потенциала, развития научных исследований и поддержки инновационной деятельности.

**ПРИКАЗ
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Об утверждении порядка определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий и научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому уровню готовности технологий

Настоящий Порядок устанавливает правила определения уровней готовности разрабатываемых или разработанных технологий, в том числе с учетом отраслевых особенностей планируемых и (или) проводимых научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (далее – работы) и научных и (или) научно-технических результатов, соответствующих каждому этапу уровня готовности технологии.

УРОВНИ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ / ГОТОВОГО ПРОДУКТА



Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Сформулированы идея решения соответствующей проблемы, произведено ее теоретическое описание, определена фундаментальная концепция технологии и обоснована ее полезность

1



Выявлены и опубликованы фундаментальные принципы. Сформулирована идея решения той или иной физической или технической проблемы, произведено ее теоретическое и/или экспериментальное обоснование.

Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Выбор технологической концепции. Определены целевые области применения технологии, доказана эффективность использования идеи в решении прикладных задач на базе произведенных расчетов.

2

Сформулированы технологическая концепция и (или) применение возможных концепций для перспективных объектов. Обоснована необходимость и возможность создания новой технологии или технического решения, в которых используются физические эффекты и явления, подтвердившие уровень УГТ1. Подтверждена обоснованность концепции, технического решения, доказана эффективность использования идеи и (или) технологии в решении прикладных задач на базе предварительной проработки на уровне расчетных исследований и моделирования.

Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Получен компонент и (или) макетный образец, продемонстрированы его (их) ключевые характеристики.

3

Даны аналитические и экспериментальные подтверждения по важнейшим функциональным возможностям и (или) характеристикам выбранной концепции. Проведено расчетное и (или) экспериментальное (лабораторное) обоснование эффективности технологий, продемонстрирована работоспособность концепции новой технологии в экспериментальной работе на мелкомасштабных моделях устройств.
На этом этапе в проектах также предусматривается отбор работ для дальнейшей разработки технологий.



Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Компонент и (или) макетный образец проверены в лабораторных условиях

4

Компоненты и (или) макеты проверены в лабораторных условиях. Продемонстрированы работоспособность и совместимость технологий на достаточно подобных макетах разрабатываемых устройств (объектов) в лабораторных условиях.



Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Изготовлен и испытан экспериментальный образец в условиях, близких к реальным.

5

Компоненты и (или) макеты подсистем испытаны в условиях, близких к реальным. Основные технологические компоненты интегрированы с подходящими другими («поддерживающими») элементами, и технология испытана в моделируемых условиях. Достигнут уровень промежуточных и (или) полных масштабов разрабатываемых систем, которые могут быть исследованы на стендовом оборудовании и в условиях, приближенных к условиям эксплуатации. Испытывают не прототипы, а только детализированные макеты разрабатываемых устройств.



Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Изготовлен и испытан опытный образец в условиях, близких к реальным.



6

Модель или прототип системы и (или) подсистемы продемонстрированы в условиях, близких к реальным. Прототип системы/подсистемы содержит все детали разрабатываемых устройств. Доказаны реализуемость и эффективность технологий в условиях эксплуатации или близких к ним условиях и возможность интеграции технологии в компоновку разрабатываемой конструкции, для которой данная технология должна продемонстрировать работоспособность. Возможна полномасштабная разработка системы с реализацией требуемых свойств и уровня характеристик.

Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

Проведены испытания опытно-промышленного образца в реальных условиях эксплуатации



7

Прототип системы прошел демонстрацию в эксплуатационных условиях. Прототип отражает планируемую штатную систему или близок к ней. На этой стадии решают вопрос о возможности применения целостной технологии на объекте и целесообразности запуска объекта в серийное производство.

Уровни готовности разрабатываемых или разработанных технологий

8

Окончательно подтверждена работоспособность опытно-промышленного образца, запущены опытно-промышленное производство и сертификация

9

Технология удовлетворяет всем требованиям - инженерным, производственным, эксплуатационным, а также требованиям к качеству и надежности и выпускается серийно

Оценка уровней зрелости разрабатываемых или разработанных технологий, в том числе отражающих реализацию научно-технического проекта (программы) или инновационного проекта в целом, осуществляется по результатам, выполняемым в рамках этапов планируемых и (или) проводимых работ, определенных рубрикатором результатов и (или) на основе требований национальных стандартов к реализации работ, научно-технических проектов (программ), инновационных проектов или их отдельных этапов.

Каждый вид научного и (или) научно-технического результата этапа имеет определенные целевые параметры результата его решения, поэтому его достижение фиксируется наличием конкретных документов, например, актами, протоколами, отчетами, заключениями экспертов или иными документами, подтверждающими результат реализации этапа планируемых и (или) проводимых НИОКР.

Перечень материалов и медицинских изделий, перспективных для разработки российскими специалистами

в областях

- *патологии носа и глотки:*

- Материалы для закрытия дефектов костных стенок основания черепа (хирургическое лечение ликвореи).
- Трансплантаты, используемые для реконструкции наружного носа.
- Биопечать хрящевой ткани при дефектах носовой перегородки.

- *патологии уха и основания черепа:*

- Матрица для закрытия дефектов барабанной перепонки.
- Тимпанальные шунты.
- Протезы для стапедопластики (частичные и тотальные).
- Материалы для закрытия/облитерации дефектов костной ткани.

в областях

- **патологии верхних дыхательных путей:**

- Ларингеальные стенты
- Импланты для медиалингвизации голосовой складки
- Трахеотомическая трубка с раздувной манжетой
- Трахеопицеводный клапан
- Эндопротезы, используемые при резекции гортани
- Трансплантаты, используемые для реконструкции после обширных онкологических операций.

- **детской ЛОР-патологии:**

- Вентиляционные трубы (шунты) из металла (титан, позолоченное серебро).
- Баллоны для баллонной дилатации гортани, трахеи, бронхов и индифляторы для них.
- Баллоны для баллонной дилатации слуховой трубы и индифляторы для них.
- Трубки трахеостомические силиконовые.
- Губчатые тампоны (носовые, ушиные) из поливинилового спирта и аналогов.
- Трахеальные стенты силиконовые (гладкие, сетчатые).

в областях

- **челюсто-лицевой и пластической хирургии:**

- Шовный материал резорбируемый (Vicryl).
- Шовный материал не резорбируемый (Prolen).
- Костный биоматериал (Bio-Oss).
- Резорбируемая мембра (Bio-Gide).
- Материал гемостатический рассасывающийся.
- Жидкий фотополимер (пластическая масса) для 3D принтера.

- **стоматологии:**

- Пломбировочные материалы.
- Ортопедические материалы.
- Материалы для эндодонтии.
- Костнопластические материалы.
- Анестетики.
- Растворы для дезинфекции.
- Зуботехнические материалы.

в областях

- **офтальмологии:**

- Органические материалы для временного замещения стекловидного тела.
- Вискоэластики (растворы для операций на глазном яблоке).
- Красители для эпиретинальной мембранны.
- Силиконовое масло

- **аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации:**

- Материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей пациента.
- Имплантаты костной проводимости материалы для изготовления корпусов слуховых аппаратов с учетом индивидуальных анатомо-физиологических особенностей пациента.

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ ИННОВАЦИОННОГО ПРОДУКТА

член-корреспондент РАН Н. В. Пятигорская



Системный подход к созданию инновационного продукта

член-корреспондент РАН,
д.фарм.н., профессор Н.В. Пятигорская

3 апреля 2023 г

Основные требования

Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», статья 38

4. На территории Российской Федерации разрешается обращение медицинских изделий, прошедших государственную регистрацию в порядке, установленном Правительством Российской Федерации, и медицинских изделий, прошедших регистрацию в соответствии с международными договорами и актами, составляющими право Евразийского экономического союза.

8.1. Производство медицинских изделий, подлежащих государственной регистрации, а также медицинских изделий, которые изготовлены по индивидуальным заказам пациентов, к которым предъявляются специальные требования по назначению медицинских работников, должно соответствовать требованиям к внедрению, поддержанию и оценке системы управления качеством медицинских изделий в зависимости от потенциального риска их применения, утвержденным Правительством Российской Федерации.

Регуляторная стратегия (1)

1. Основные бизнес-задачи проекта:

- на какие рынки (ниши) предполагается выводить продукт (МИ), желаемые сроки;
- какие бизнес-проблемы может решить МИ;
- какие финансовые затраты ожидаются (возможные источники финансирования проекта);
- какие сроки окупаемости проекта ожидаются (другие финансовые показатели);
- какие конкуренты уже есть рынке или находятся в стадии разработки.

2. Описание разрабатываемого МИ:

- какие существующие медицинские проблемы поможет решить разрабатываемое МИ и предполагаемые показания для медицинского применения;
- предполагаемая целевая популяция (группа) пациентов;
- предполагаемый режим применения (введение, использования);
- возможные процедуры регистрации в зависимости от источника происхождения (использования);
- уникальные (конкурентные) характеристики МИ с указанием необходимых данных, которые должны быть получены в ходе разработки;
- опыт клинического применения отдельных видов МИ высокого класса потенциального риска применения.

Регуляторная стратегия (2)

3. Регуляторная среда на выбранных целевых рынках:

- основные регуляторные требования на выбранном рынке (НПА, особенно к содержанию регистрационного досье и разработке: например, обязательное проведение КИ, или запрещение использования отдельных красителей и материалов и т.д.);
- основные требования для доступа на выбранный рынок (например, необходимость включения МИ в протоколы лечения (и какие данные для этого необходимо представить) и т.п.);
- планируемые изменения в законодательстве, государственном регулировании рынка МИ;
- механизмы защиты прав на интеллектуальную собственность и эксклюзивность данных;
- текущие требования к проведению клинических испытаний;
- требования к пострегистрационным данным (мониторинг безопасности, качества и эффективности МИ).

4. План разработки:

- технические испытания (исследования) с целью оценки биологического действия МИ, клинические и клинико-лабораторные испытания (исследования), испытания в целях утверждения типа средств измерений;
- доказательства первой стороны - доказательные материалы производителя МИ (протоколы собственных испытаний (исследований), в том числе выданные испытательными лабораториями (центрами), результаты клинического применения МИ).

Основные направления развития Евразийского экономического союза

- Создание условий для стабильного развития экономик государств-членов в интересах повышения жизненного уровня населения; стремление к формированию единого рынка товаров, услуг, капитала и трудовых ресурсов в рамках ЕАЭС; всесторонняя модернизация, кооперация и повышение конкурентоспособности национальных экономик в условиях глобальной экономики (*Договор о ЕАЭС от 29.05.2014*).
- В качестве одного из основных направлений экономического развития ЕАЭС до 2030 г. определено инновационное развитие и модернизация экономики на основе нового технологического уклада (*Решение ЕАЭС от 16.10.2015 № 28*).
- Для повышения уровня локализации производства и импортозамещения необходимо дальнейшее развитие условий эффективного функционирования общих рынков лекарственных средств и медицинских изделий. А также расширение экономического сотрудничества в области образования и здравоохранения (*Решение ЕАЭС от 11.12.2020 № 12*).
- План мероприятий по реализации стратегических направлений развития Евразийской экономической интеграции до 2025 г. требует создание условий для эффективной работы общих рынков лекарственных средств и медицинских изделий в рамках ЕАЭС (*Решение ЕАЭС от 05.04.2021 № 4*).
- Задачей Евразийских технологических платформ является обеспечение системной работы по аккумулированию передовых национальных и мировых достижений научно-технического развития, мобилизации научного потенциала государств-членов для решения прикладных задач по разработке инновационных продуктов и технологий, а также их внедрению в промышленное производство (*Решение ЕАЭС от 30.04.2021 № 5*).

Основные понятия

Соглашение «О единых принципах и правилах обращения медицинских изделий (изделий медицинского назначения и медицинской техники) в рамках ЕАЭС» (Москва, 23.12.2014)

медицинские изделия (МИ) - любые инструменты, аппараты, приборы, оборудование, материалы и прочие изделия, которые применяются в медицинских целях отдельно или в сочетании между собой, а также с принадлежностями, необходимыми для применения указанных изделий по назначению (включая специальное программное обеспечение), предназначены производителем для профилактики, диагностики, лечения заболеваний, медицинской реабилитации и мониторинга состояния организма человека, проведения медицинских исследований, восстановления, замещения, изменения анатомической структуры или физиологических функций организма, предотвращения или прерывания беременности и функциональное назначение которых не реализуется путем фармакологического, иммунологического, генетического или метаболического воздействия на организм человека, однако может поддерживаться лекарственными средствами;

обращение медицинских изделий - проектирование, разработка, создание опытных образцов, проведение технических испытаний, исследований (испытаний) с целью оценки биологического действия, клинических испытаний, экспертизы безопасности, качества и эффективности медицинских изделий, регистрация, производство (изготовление), хранение, транспортировка, реализация, монтаж, наладка, применение (эксплуатация), техническое обслуживание, ремонт и утилизация медицинских изделий.

6

Формирование общего рынка медицинских изделий (1)

Соглашение «О единых принципах и правилах обращения медицинских изделий (изделий медицинского назначения и медицинской техники) в рамках ЕАЭС» (Москва, 23.12.2014)

1. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 22.12.2015 № 173 «Об утверждении Правил классификации медицинских изделий в зависимости от потенциального риска применения»
2. Решение Коллегии ЕЭК от 22.12.2015 № 174 «Об утверждении Правил проведения мониторинга безопасности, качества и эффективности медицинских изделий»
3. Решение Коллегии ЕЭК от 29.12.2015 № 177 «О Правилах ведения номенклатуры медицинских изделий»
4. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 46 «О Правилах регистрации и экспертизы безопасности, качества и эффективности медицинских изделий» (с изм. от 24.12.2021 № 144)
5. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 26 «О специальном знаке обращения медицинских изделий»
6. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 27 «Об утверждении Общих требований безопасности и эффективности медицинских изделий, требований к их маркировке и эксплуатационной документации на них»
7. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 28 «Об утверждении Правил проведения технических испытаний медицинских изделий»
8. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 29 «О Правилах проведения клинических и клинико-лабораторных испытаний (исследований) медицинских изделий» (с изм. от 24.12.2021 № 146)
9. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 30 «Об утверждении Порядка формирования и ведения информационной системы в сфере обращения медицинских изделий»
10. Решение Совета ЕЭК от 12.02.2016 № 42 «Об утверждении перечня видов медицинских изделий, подлежащих отнесению при их регистрации к средствам измерений»

Формирование общего рынка медицинских изделий (2)

11. Решение Совета ЕЭК от 16.05.2016 № 38 «Об утверждении Правил проведения исследований (испытаний) с целью оценки биологического действия медицинских изделий»
12. Решение Совета ЕЭК от 21.12.2016 № 141 «Об утверждении Порядка применения уполномоченными органами государств-членов Евразийского экономического союза мер по приостановлению или запрету применения медицинских изделий, представляющих опасность для жизни и (или) здоровья людей, недоброкачественных, контрафактных или фальсифицированных медицинских изделий и изъятию их из обращения на территориях государств-членов Евразийского экономического союза»
13. Решение Совета ЕЭК от 10.11.2017 № 106 «Об утверждении Требований к внедрению, поддержанию и оценке системы менеджмента качества медицинских изделий в зависимости от потенциального риска их применения»
14. Решение Коллегии ЕЭК от 26.09.2017 № 123 «О Положении о консультативном комитете по медицинским изделиям»
15. Решение Коллегии ЕЭК от 24.07.2018 № 116 «О Критериях разграничения элементов медицинского изделия, являющихся составными частями медицинского изделия, в целях его регистрации»
16. Решение Коллегии ЕЭК от 24.07.2018 № 123 «О Критериях включения в одно регистрационное удостоверение нескольких модификаций медицинского изделия, относящихся к одному виду медицинского изделия в соответствии с применяемой в Евразийском экономическом союзе номенклатурой медицинских изделий»
17. Распоряжение Коллегии ЕЭК от 12.11.2018 № 176 «О введении в действие общего процесса «Формирование, ведение и использование единого реестра уполномоченных организаций Евразийского экономического союза, осуществляющих проведение исследований (испытаний) медицинских изделий в целях их регистрации»
18. Распоряжение Коллегии ЕЭК от 12.11.2018 № 177 «О введении в действие общего процесса «Формирование, ведение и использование единой информационной базы данных мониторинга безопасности, качества и эффективности медицинских изделий»

Формирование общего рынка медицинских изделий (3)

Рекомендации Коллегии Евразийской экономической комиссии

1. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 04.09.2017 № 16 «О Порядке формирования перечня стандартов, в результате применения которых на добровольной основе полностью или частично обеспечивается соблюдение соответствия медицинских изделий Общим требованиям безопасности и эффективности медицинских изделий, требованиям к их маркировке и эксплуатационной документации на них»
2. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 04.09.2017 № 17 «О перечне стандартов, в результате применения которых на добровольной основе полностью или частично обеспечивается соблюдение соответствия медицинских изделий Общим требованиям безопасности и эффективности медицинских изделий, требованиям к их маркировке и эксплуатационной документации на них» (с изм. от 08.06.2021 № 10)
3. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 12.11.2018 № 25 «О Критериях отнесения продукции к медицинским изделиям в рамках Евразийского экономического союза» (с изм. от 29.06.2021 № 15)
4. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 21.05.2019 № 14 «О Методических рекомендациях по проведению экспертизы безопасности, качества и эффективности медицинских изделий в целях их регистрации в рамках Евразийского экономического союза»
5. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 08.10.2019 № 29 «О Методических рекомендациях по содержанию и структуре документов регистрационного досье медицинского изделия»
6. Рекомендация Коллегии ЕЭК от 13.09.2021 № 22 «О Руководстве по оценке и наделению организаций государств - членов Евразийского экономического союза полномочиями по проведению инспектирования производства медицинских изделий»

Оценка уровней готовности технологий научно-исследовательских работ для всех отраслей



Жизненный цикл медицинского изделия



Этапы жизненного цикла медицинского изделия (1) (термины в соответствии с ГОСТ 58454-2019)

TRL 1	Определение функции назначения МИ (предназначение, свойства, характеристики). Анализ рынков, предварительная разработка бизнес-плана. Разработка аванпроекта. Разработка технического задания
TRL 2	Разработка технического предложения (расчёт критических характеристик и рисков для бизнеса, экономическое обоснование). Разработка модели и модуля организации работ. Разработка макета и модели МИ. Проектирование с учетом эксплуатационной пригодности. Оценка РИД.
TRL 3	Разработка базового МИ. Разработка образца МИ. Разработка экспериментального (опытного / головного) образца МИ. Разработка технического задания и регистрационной карты на проведение опытно-конструкторских работ. Проведение ОКР. Разработка информационной карты ОКР.
TRL 4	Проведение опытно-технологической работы. Разработка эскизного проекта. Проведение исследовательских испытаний. Разработка предварительной спецификации. Анализ рисков. Оценка РИД.
TRL 5	Разработка контрольного образца (образца-эталона, образца-модели). Разработка технического описания. Разработка карты технического уровня и качества продукции. Технологическая подготовка производства. Трансфер. Проведение первичных (предварительных) испытаний. Предварительная валидация. Анализ рисков.

12

Этапы жизненного цикла медицинского изделия (2) (термины в соответствии с ГОСТ 58454-2019)

TRL 6	Проведение доводочных испытаний. Проведение приемочных испытаний. Проведение технических испытаний. Проведение токсикологических и доклинических исследований. Проведение санитарно-химических исследований, испытаний на стерильность, на пирогенность. Изучение канцерогенности, генотоксичности, влияния на репродуктивную функцию и развитие. Разработка дизайна КИ, брошюры исследователя, проекта инструкции. Анализ рисков.
TRL 7	Выбор производственной площадки. Разработка технического проекта. Оценка технологической готовности производства. Разработка промышленного образца. Разработка эксплуатационной документации и инструкции по эксплуатации. Проведение периодических испытаний. Получение разрешения на клинические исследования. Клинические и клинико-лабораторные исследования (испытания) с целью проверки его клинической результативности и клинической безопасности. Анализ рисков. Получение патента
TRL 8	Отчет по клинической оценке и протокол клинической апробации. Экспертиза технической документации. Проведение сертификационных, квалификационных и эксплуатационных испытаний. Постановка продукции на производство. Валидация. Анализ рисков. Разработка программы и методик технических испытаний (в аккредитованных лабораториях). Подготовка регистрационного досье
TRL 9	Производство МИ по окончательно отработанной конструкторской и технологической документации. Проведение испытаний на постоянство параметров. Контроль качества. Получение регистрационного удостоверения. Ввод в эксплуатацию

13



Спасибо за внимание!

pyatigorskaya_n_v@staff.sechenov.ru

+7-499-128-57-55

+7-916-123-33-94

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ: СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ

член-корреспондент РАН Е. С. Горнев

АО «Научно-исследовательский институт молекулярной
электроники»



Актуальность проблемы

- ✓ Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20.09.2016г. № 1984-р АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» определено научной организацией, ответственной за реализацию технологического направления «Электронные технологии».
- ✓ Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.01.2020г. № 20-р в разделе 2 «Мероприятия и целевые индикаторы реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации до 2030г.» запланировано разработать и промышленно освоить ключевые технологии и производства: «материалов для литографии, в том числе фото-, электронно- и рентгенорезистов, проявителей, планаризующих и антиотражающих покрытий; расходных технологических материалов, в том числе кислот, растроятелей, травителей...».
- ✓ Основами государственной политики Российской Федерации в области развития электронной и радиоэлектронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, утверждённых Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2023 года № 344, определены задачи (п.8) организации разработки и производства специальных и особо чистых материалов, газов и веществ для удовлетворения потребностей электронной и радиоэлектронной промышленности. Приоритетными направлениями реализации государственной политики в области развития электронной и радиоэлектронной промышленности являются «... обеспечение технологической независимости Российской Федерации от иностранных государств в области создания... специальные и особо чистые материалы, газы и вещества, необходимые для их разработки и производства».

ПРОИЗВОДСТВО МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



ПРОВЕДЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



* - Разработка систем автоматизированного проектирования (САПР) по всему технологическому маршруту.

Чтобы разработать и внедрить в производство технологический процесс и обеспечить серийное изготовление микроэлектронной продукции, необходимо, что бы производственная линия в полном объеме была оснащена всеми тремя составляющими.

3

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ



Современные технологии микроэлектроники предъявляют особые требования к материалам:

- концентрация металлов, способных создавать в кремниевом глубокие энергетические уровни, должна быть менее 10^{-9} относительно основного вещества;
- допустимый уровень загрязнений в точке подачи большинства жидкостей и газов не должен превышать миллиардных долей (ppb - $1 \cdot 10^{-9}$), а по некоторым материалам и триллионных долей (ppt - $1 \cdot 10^{-12}$);
- требования по отсутствию молекулярных загрязнений в воздушной среде чистой комнаты:
 - примесей высокомолекулярных групп СnНm и NH₃;
 - примесей летучих гидридов легирующих элементов - типа PH₃ или B₂H₆.

Для производства всей номенклатуры полупроводниковых приборов и интегральных схем используется примерно 20 тысяч наименований материалов. Из них критических, от которых зависят характеристики изделия, около 1 000 наименований. Материалы отечественного производства составляют менее 1% от общего количества.



Разработка особочистых материалов напрямую связана со смежными направлениями: разработка и аттестация методов измерений параметров, разработка материалов для специальной технологической тары и оснастки, производство транспортной и потребительской тары для химических материалов, прекурсоров и газов, создание соответствующей инфраструктуры.

4

Требования к примесной чистоте жидких технологических сред микроэлектроники



№ п/п	Наименование среды	Применение	Требования		Метод контроля	Требуемый предел обнаружения метода
			Достигнуто 2023 г.	IRDS (для уровня < 28 нм)		
1	Деионизованная вода	Производство АО «Микрон»	34 контр. элементов ≤ 5 ppt каждый Бор ≤ 100 ppt	30-35 контр. элементов ≤ 1 ppt каждый Бор ≤ 30 ppt	ИСП МС	≤0,2-0,5 ppt
		Ультраследовые лабораторные анализы АО «НИИМЭ»	35 контр. элементов ≤ 2 ppt каждый Бор ≤ 35 ppt	40 контр. элементов ≤ 1 ppt каждый Бор ≤ 20 ppt		
2	Критические хим. реагенты (HF, HCl, H ₂ O ₂ , NH ₄ OH, IPA)	Производство АО «Микрон»	33 контр. элементов ≤100 ppt каждый	40-45 контр. элементов 1-10 ppt каждый	ИСП МС	<1-5 ppt
3	Остальные хим. реагенты (H ₂ SO ₄ , HNO ₃ , H ₃ PO ₄ , растворители, проявители и др.)	Производство АО «Микрон»	20 контр. элементов 1-10 ppb каждый	30-35 контр. элементов ≤ 1 ppb каждый	ИСП МС ИСП АЭС	<0.5 ppb
4	Хим. реагенты для ультраследовых лабораторных анализов	Аналитическая лаборатория АО «НИИМЭ»	35-40 контр. элементов ≤ 10 ppt каждый	40-50 контр. элементов ≤ 1-5 ppt каждый	ИСП МС	<0.1 ppt

ИСП МС – масс-спектрометр с индуктивно связанный плазмой

ИСП АЭС – атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанный плазмой.

5

Обеспечение особо чистыми материалами по отрасли (в том числе СВЧ)*



Материалы не производимые на территории РФ:

1 Высокочистые химические вещества и реагенты (специальные газы и смеси газов, металлоорганические соединения, прекурсоры).	2 Литографические материалы (фотополимеры, антистикажающие покрытия, проекционные пленки и т.д.).	3 Высокочистые химические вещества и реагенты (кислоты, неорганические реагенты, суспензии).	4 Высокочистые химические вещества и реагенты (растворители, очищающие растворы).
Всего по отрасли: 47 Микрон + НМ-Тех: 42 Исток (дополнительно): 2 Другие предприятия: 3 В разработке: 5	Всего по отрасли: 45 Микрон + НМ-Тех: 22 Исток (дополнительно): 7 Другие предприятия: 16 В разработке: 3 (номенклатура фотополимеров требует уточнения с целью исключения дублирования)	Всего по отрасли: 39 Микрон + НМ-Тех: 24 Исток (дополнительно): 2 Другие предприятия: 13 В разработке: 2	Всего по отрасли: 15 Микрон + НМ-Тех: 7 Исток (дополнительно): 1 Другие предприятия: 7 В разработке: 2

* - без учета кремниевых пластин, АЗВ5 пластин, эпоксидных структур, металлических мишеней, магистральных газов, дешевизированной воды, кварцевых материалов, клеев, различных комплектующих и т.д.

Материалы

Итого:

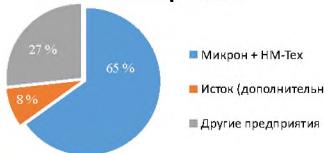
146 наименований

из них:

95 применяются Микрон + НМ-Тех

12 применяются Исток (дополнительно)

39 применяются другими предприятиями



6

Обеспечения материалами для микроэлектроники

Апрель 2023г.



Специальная жидкостная химия

Общее количество используемых материалов (жидкая химия) для технологий 180-90 нм:

45 наименований



Специальные газы

Общее количество используемых материалов (газы) для технологий 180-90 нм:

40 наименований

- ✖ Разработка и освоение производства 31 из 85 материалов для технологий 180-90 нм с помощью действующих механизмов финансирования (НИОКР, субсидии) не решается;
- ✖ Научно-технический задел для перспективных технологий 65-28 нм не формируется.

7

Сдерживающие факторы



- ✖ Малые объемы потребления материалов и как следствие длительная окупаемость затрат или их нерентабельность. Размер необходимых капитальных вложений может превышать стоимость компаний, которые могут заниматься разработкой и производством.
- ✖ Отсутствие соответствующей материальной базы (инфраструктура и оборудование). Недостаточная оснащенность технологическим и аналитическим оборудованием материаловедческих предприятий и как следствие неготовность к разработке и производству материалов. Действующие механизмы поддержки материаловедения для микроэлектроники (НИОКР) не всегда эффективны, так как для разработки и производства современных и перспективных высокочистых материалов необходимы соответствующие современные: инфраструктура, технологическое оборудование и оснастка, контрольно-измерительное и аналитическое оборудование. Большая часть материаловедческих предприятий не могут позволить себе закупить за счет собственных средств такое оборудование.
- ✖ Отсутствие специализированного аналитического центра для контроля высокочистых материалов для микроэлектроники, в том числе для функционального тестирования и испытаний материалов.
- ✖ Отсутствие научно-технического задела. Для большинства материалов отсутствует научно-технический задел. Компетенциями по разработке и производству современных материалов обладает ограниченное число организаций.

Вариантом малотоннажного производства полного ассортимента материалов и транспортной тары для создаваемых производств ИС, исключающее импортозависимость может быть создание предприятий:

- по очистке, фильтрации и поставке сверхчистых кислот и травителей на их основе;
- по очистке, фильтрации и поставке органических веществ и растворителей;
- изготовления сверхчистых технологических газов и металлоорганических соединений;
- производство транспортной и потребительской тары для химических материалов, прекурсоров и газов.

8

Китайские материалы как альтернатива.

После ухода с российского рынка западных поставщиков в освободившиеся ниши хлынули поток продукции из Азии, преимущественно из Китая.

Китайские материалы, естественно, требуют опробования и сертификации, и не все из них имеют шанс найти применение в наших техпроцессах.

Внедряя их на замену западным материалам, нашим потребителям предстоит длительный процесс проведения технологических проб.

Кроме того, необходимо будет решать вопрос с поддержкой от поставщика и поиском локального партнера. Исследуя весь арсенал доступных на российском рынке материалов, мы не можем игнорировать китайскую продукцию. В некоторых случаях, пока это очень вероятный вариант – по крайней мере, пока отечественные производители не доработают свои продукты или создадут новые.

9

Направления работ по обеспечению сырьем и материалами

1. Разработка и производство материалов имеющих экономическую эффективность - государственные субсидии на разработку и производство.
(ТЭОС, фтористоводородная к-та, соляная к-та, азотная к-та, серная к-та)
2. Создание стратегического запаса материалов, имеющих длительные сроки хранения. В том случае, если материалы могут храниться в течение 2-х и более лет, а их разработка и освоение производства многократно превышает стоимость закупки для хранения в запасе, то целесообразно создать обновляемые запасы таких материалов.
(ремниновые пластины, мишени для наныления металлов)
3. Разработка и освоение производства материалов стратегически важных для производителей микроэлектроники. Данное направление требует срочной постановки комплекса НИОКР. Срок годности особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники, имеет существенные ограничения и составляет, как правило, не более 6 месяцев, требуются особые условия транспортирования и хранения, в связи с чем организация поставок по схеме параллельного импорта неэффективна.
(фоторезисты, антиотражающие покрытия, супензии и другие)
4. Разработка нового механизма организации работ по разработке и производству сырья и материалов, для которых действующие механизмы не работают (субсидии, НИОКР). Механизм должен включать в себя государственное стратегическое планирование работ и государственный заказ. Планируется pilotный проект с ФЦИ ПХФ и МХ РАН стоимостью 700 млн. руб., по организации разработки и производства литографических материалов и их компонентов.

10

Координационно-аналитические центры высокочистых материалов.

Зарубежные поставщики материалов приносили нам не только продукты, но и технологии их применения: как выстраивать логистику, создавать системы автоматической доставки требуемых количеств технологических сред до точек использования, обеспечения чистоты химреактивов без изменений по сравнению с исходным уровнем, обеспечения автоматического контроля герметичности трубопроводов и соединений, как оптимизировать производственную деятельность и т.д.

Сейчас всё это резко прекратилось, и компании пытаются организовывать собственную разработку необходимых систем.

Но есть одна проблема: они понимают (правда, не всегда достаточно), как работает, условно говоря, производство микросхем, но как работает доставка химических сред и реагентов, и как им управлять – это большая проблема. В компаниях подразделений разработчиков. Привлечение к этим сложным задачам только внутреннего персонала, скорее всего, не принесет желаемого результата.

Поэтому сейчас появится много запросов на услуги выделенных центров высокочистых материалов.

Очевидно, что в этих случаях логичнее использовать профессиональную внешнюю команду для того, чтобы решить проблемы с импортозамещением.

В химико-аналитической лаборатории АО «НИИМЭ» разработаны и аттестованы в организациях Росстандарта полные комплексы методик анализа для 10 химреактивов российского производства для изготовления ИС с проектными нормами 180-65 нм.

Зарубежный и опыт создания лаборатории АО «НИИМЭ» показывает, что организация и наработка соответствующей компетенции для лаборатории такого уровня занимается в среднем не менее 5 лет. В течение этого времени аналитическое сопровождение работ по импортозамещению химических реагентов может обеспечивать лаборатория АО «НИИМЭ».

Для обеспечения аналитических потребностей при полномасштабном производстве в России элементной базы уровня 180 нм и менее потребуется создать дополнительно 2-3 лаборатории с соответствующим уровнем компетенции и оснастить их аналитическим оборудованием и приборами российского производства.

11

Физико-химическая аналитическая лаборатория АО «НИИМЭ»



- Цель деятельности: Обеспечение потребностей технологии производства ИС с наноразмерными проектными нормами в анализах десионизированной воды и химреактивах(около 30-40 наименований).
- Нижний предел определения концентрации примесей в ДВ и химреактивах - единицы ppb и доли ppb.
- Анализ для всех х/р, применяемых в производстве ИС с наноразмерными проектными нормами. Аттестация методик, аккредитация лаборатории и развитие мощностей для выполнения анализов сторонним заказчикам. Разработка и внедрение методик контроля ВМЗ, анализа чистоты поверхности пластин. Разработка и освоение нового поколения методик с измерениями примесей на уровне единиц ppb.
- Уникальность лаборатории: в России, странах СНГ и Восточной Европе подобных лабораторий нет



Хромато-масс-спектрометрическая система 7890 A/5975C для определения органической составляющей в ВМ



Ионные хроматографы ICS-2100 для определения примесей на уровне ppb и ppt



Автоматические титраторы для анализа основного вещества в химических реактивах в т.ч органики с низким содержанием воды, от 0,0001% (pptm) до 5%



Атомно-абсорбционный спектрометр AA2402 A
Анализ кремния в ДВ и элементов в химреактивах



Масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ИСП-МС (ICP-MS)

12

Системы доставки веществ АО «Микрон» с заданными параметрами



Параметр	Микрон	ASTM5127 Тип E-1.2	SEMI F63-0701	STI 180nm	STI 90nm
Сопротивление, мом.см	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2
TOC, ppb	1	1	1	5	1
Растворенный кремний, ppb	0.5	0.5	0.2-1	2	1
Растворенный кислород, ppb	5	3	0.5-20	5	5
Бактерии, кол/л	1	10	0.5	1	1
Микрочастицы, ч/л, мкм					
0,05-0,1	400	200	100-1000	750	400
0,1-0,15	100	100(0.1-0.2)	50-500(0.1-0.2)	150	100
0,15-0,2	100	10(0.2-0.5)	20-100(0.2-0.3)	100	100
>0,2	100	5(0.5-1.0)	10-50(0.3-0.5)	100	100
Катионы (16), ppt	5	1-5	20-100	5	5
Анионы (8), ppt	20	20-50	20-100	20	20
Бор, ppt	100	50*	20-200	400	100

Разработанная АО «НИИМЭ» и используемая в АО «Микрон» СДВ не уступает лучшим мировым показателям.

Если учсть, что по некоторым параметрам фактические значения ниже, чем указано в таблице (TOC, растворенный кремний, растворенный кислород), то основными направлениями работ по улучшению СДВ для производства изделий с проектными нормами 65-40нм. и меньше является снижение уровня содержания микрочастиц и ионных примесей.

13

СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕПОЧЕК



Для развития отрасли необходимо создавать технологические цепочки по разработке и освоению в производстве новых технологических процессов, специализированных материалов и технологического оборудования.



* - НИИ, находящиеся под научно-методическим руководством РАН

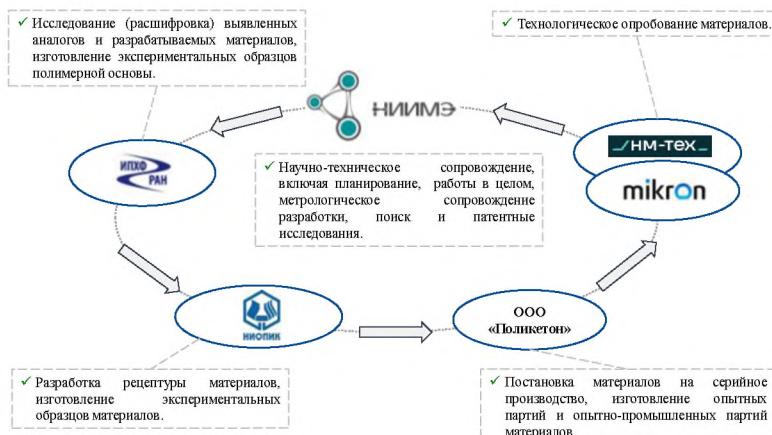
Требуются механизмы приоритетного финансирования подобных технологических цепочек.

14

Технологическая цепочка взаимодействия по импортозамещению высокочистых материалов



Цепочка взаимодействия на примере разработки литографических материалов:
(фоторезисты, антиотражающие покрытия)



15

Основные проблемы и возможное развитие производства особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники



Основные проблемы

Отсутствие возможности закупки импортных материалов, органических и неорганических композиций и их компонентов, не являющихся коммерческими продуктами

Проводимая западными странами санкционная политика существенно ограничивает и не позволяет оперативно осуществлять поставки импортных особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники

Срок годности особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники, имеет существенные ограничения и составляет, как правило, не более 6 месяцев, в связи с чем организация поставок по схеме параллельного импорта неэффективна

Возможные пути развития

Разработка технологии и организация микротоннажного производства особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники, в том числе:

1. Литографических материалов и их компонентов
2. Органических материалов
3. Неорганических материалов
4. Сверхчистых технологических газов и металлоорганических соединений;
5. Суспензий для химико-механической планаризации
6. Полимерных конструкционных материалов и изделий из них
7. Фильтровальных материалов

16

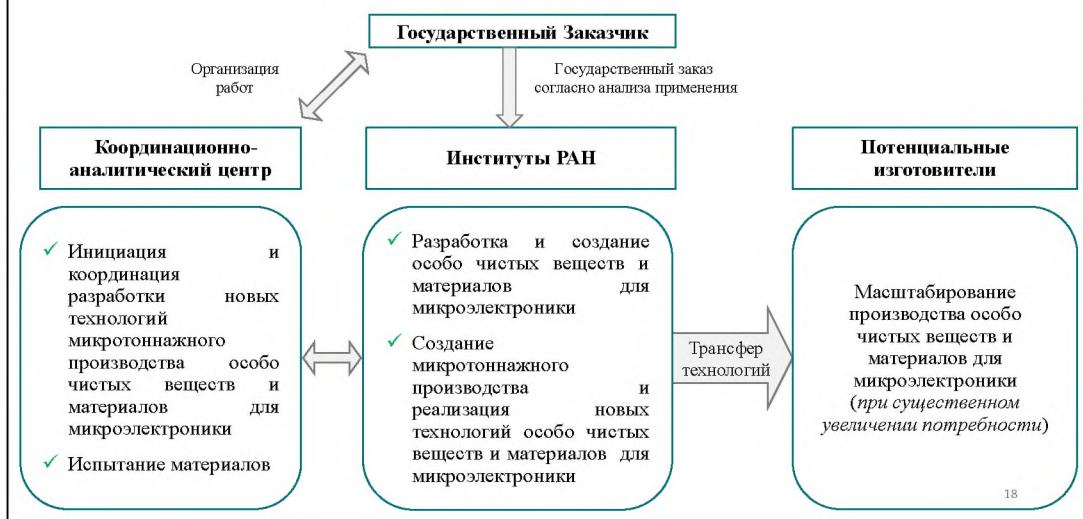
Преимущества предлагаемого решения



- ✓ Организация микротоннажного производства и реализация новых технологий особо чистых веществ и материалов на базе институтов РАН для действующего производства микроэлектроники;
- ✓ Наличие квалифицированных кадров в академических институтах РАН;
- ✓ Научно-технический потенциал профильных институтов РАН;
- ✓ Создаваемая инфраструктура, технологическое и аналитическое оборудование, будут использоваться для решения фундаментальных и прикладных задач по созданию материалов для технологий 65-28 нм.

17

Координационно-аналитический центр особо чистых материалов Организация взаимодействия



Создание координационно-аналитического центра особо чистых материалов



Предложение:

Создать на базе АО «НИИМЭ» координационно-аналитический центр разработки технологии особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники (далее - координационно-аналитический центр).

Цель:

Инициация и координация разработки новых технологий микротоннажного производства особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники и последующего масштабирования производства в обеспечение разработки и изготовления серийных и перспективных изделий специального и гражданского назначения.

Задачи:

1. Разработка требований, предъявляемых к качеству материалов и особо чистых веществ, предназначенных для создания новых технологий микротоннажного производства отечественных особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники.
2. Создание научно-технического задела для перспективных технологий 65-28 нм.

19

Задачи координационно-аналитического центра высокого чистоты материалов на базе АО «НИИМЭ»



1. Организация исследований, обоснование и разработка требований к параметрам технологических сред в обеспечение разработок новых изделий и технологий;
2. Анализ существующих методов обеспечения требуемых параметров технологических сред. Организация и координация разработок технологий и технических средств подготовки технологических сред с заданными параметрами на основе выбранных решений
3. Организация и координация разработок методов квалификации и управления параметрами технологических сред.
4. Организация исследований и координация разработок технических решений и технологий по:
 - резкому снижению удельных расходов технологических сред на выпуск 1 платы, повышению эффективности использования первичных ресурсов;
 - достижению международного уровня по выбросам и влиянию на окружающую природу, внедрение «зеленых технологий».
5. Разработка учебных программ и организация обучения персонала (в т.ч. и студентов базовых кафедр) новым технологиям в области разработки и создания и эксплуатации систем инфраструктуры микроэлектроники.

20

Координационно-аналитический центр Особо чистые вещества и материалы для микроэлектроники

Первоочередные продуктовые направления – особо чистые вещества и материалы для производства кристаллов:

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Литографические материалы и их компоненты | 3 | Суспензии для химико-механической планаризации |
| 2 | Органические материалы | 4 | Полимерные конструкционные материалы и изделия из них |
| 3 | Неорганические материалы | 5 | Фильтровальные материалы |

21

Литографические материалы и их компоненты

- Резисты
- Фотогенераторы кислоты
- Ингибиторы диффузии кислоты
- Поверхностно-активные вещества
- Мономеры для синтеза полимеров
- Антиотражающие покрытия
- Планаризующие покрытия

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:
ФИЦ проблем химической физики
и медицинской химии РАН
(г. Черноголовка)

22

Цели и задачи

Цель - обеспечение технологического суверенитета России в области литографических материалов для существующих (180-90 нм) и новых (65-28 нм) технологий для производства серийных и перспективных изделий специального и гражданского назначения.

Задача - создание микротоннажного производства и реализация новых технологий литографических материалов в категорированных чистых производственных помещениях (ЧПП), в том числе:

- готовых композиций резистов и антиотражающих покрытий (АОП) малого объема применения;
- полимерных основ резистов для литографии на длинах волн 248 нм и 193 нм с целью реализации технологии с топологической нормой 65 нм (в перспективе до 28 нм);
- полимерных основ для АОП;
- фотохимических генераторов кислоты для позитивных/негативных резистов, термогенераторов кислоты для АОП;
- функциональных добавок для литографических материалов (в т.ч. поверхностно-активных веществ (ПАВ) для АОП, резистов, безметаллического проявителя; замедлителей диффузии и др.).

23

Научно-технический задел по направлению тематики



Лабораторные помещения, технологические и производственные площадки, оснащенные разнообразным оборудованием – совокупный парк дорогостоящих реакторов, уникальных установок, приборов физико-механического и физико-химического анализа (в т.ч. анализа полимеров и композиционных материалов) насчитывает более 250 единиц.

- ✓ Центр коллективного пользования «Аналитический центр коллективного пользования»;
- ✓ Химико-технологический комплекс (натурные химико-технологические установки, 1900 м²);
- ✓ Центр коллективного пользования «Новые нефтехимические процессы, полимерные композиты и адгезивы»;
- ✓ Высокопроизводительный вычислительный центр.



Выполняемые работы:

- СЧ ОКР «Разработка технологии получения полимеров для полимерных пленкообразующих композиций (антиотражающих покрытий)», шифр «Композиция-Б-ХФ»
- СЧ ОКР «Разработка синтеза полимера для фоторезиста, чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм», шифр «Резист-ИИ»
- СЧ НИР «Теоретические и экспериментальные исследования процессов получения полимеров для фоторезистов и антиотражающих покрытий для использования в процессе фотолитографии с длинной волны актиничного лазерного излучения 248 нм (KrF)», шифр «Фотолиз-ХФ»



24

Органические материалы



Органические растворители их смеси

Различные продукты органического синтеза

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:

Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН
(г. Москва)

Нерганические материалы

Кислоты:

- Азотная
- Плавиковая
- Серная
- Соляная

Аммиак водный

Электролиты

Спецгазы

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:

ИХВВ РАН
(г. Нижний Новгород)

25

Суспензии для химико-механической планаризации



Суспензии для диэлектрических покрытий

Суспензии для металлизированных покрытий

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:

Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН
(г. Санкт-Петербург)

Фильтровальные материалы

Фильтровальные материалы

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:

Институт высокомолекулярных соединений РАН
(г. Санкт-Петербург)

26

- Фторопласт PFA (перфторалюкс)
- Фторопласт PVDF (поливинилиденфторид)
- Полиэтилен низкого давления HDPE (ПНД)
- Полипропилен PP (ПП)
- Пластики для технологической оснастки, транспортной тары и др.
- Тара для хранения и транспортировки особо чистых веществ, материалов и комплектующих

Координационно-аналитический центр

Потенциальный исполнитель:
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН
(г. Москва)

Кадровое обеспечение

В «Квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих» (утвержден постановлением Минтруда РФ от 21 августа 1998 г. N 37) определены основные квалификационные требования к инженерному персоналу.

С точки зрения подготовки инженеров, эти требования сводятся к следующему. Инженер должен знать:

- системы и методы проектирования
- технические требования, предъявляемые к разрабатываемым конструкциям, порядок их сертификации
- типовые технологические процессы и режимы производства;
- применяемые материалы и их свойства;
- технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, готовой продукции;
- стандарты и технические условия;
- основы систем автоматизированного проектирования;
- руководящие материалы по разработке и оформлению технической документации;
- нормативы расхода сырья, материалов, топлива, энергии;
- виды брака и способы его предупреждения;
- порядок оформления технической документации;
- организации производства, труда и управления;
- основы трудового законодательства;
- правила и нормы охраны труда.

Кадровое обеспечение

2/2



На сегодня образовательные стандарты подготовки бакалавров и магистров не предусматривают комплексного изучения вышеуказанного.

Поэтому, образовательные стандарты инженеров электронной промышленности должны в себя обязательно включать, как минимум, следующие предметы:

- Материаловедение и сопротивление материалов
- Детали машин и устройств (применительно к нашей отрасли от резистора, конденсатора, диода, транзистора до процессоров, микросистем, МЭМС и т.д.)
- Теоретические основы электротехники, радиотехники и информатики
- Технология обработки и изготовления, включая сборочные процессы
- Преобразование информации и методы ее цифровой обработки
- САПР
- Системы и методы моделирования конструкций и процессов
- Системы технической документации, стандарты и т.п.
- Основы надежности систем и методы ее обеспечения
- Системы управления качеством разработки и производства
- И, конечно, основы трудового законодательства, охраны труда и ТБ

Нужно также организовать подготовку инженеров – аналитиков, знающих устройство и умеющих работать на основных приборах и оборудовании современных аналитических лабораторий микроэлектронных производств т.к. таких специалистов в настоящее время не выпускает ни один ВУЗ России.

29

Координация работ по особо чистым материалам.



Целесообразно и необходимо сформировать при президиуме Российской академии наук научный совет по проблеме особо чистых материалов, обеспечивающих развитие приоритетного направления критических и сквозных технологий «Микроэлектроника и фотоника» и являющегося основой для всех без исключения высокотехнологичных отраслей экономики Российской Федерации, принципы и цели развития которых определены Концепцией технологического развития на период до 2030 год, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315- р.

Задачей этого совета должно быть целеполагание, мониторинг и проведение экспертизы научных исследований и разработок по импортозамещению особо чистых материалов микроэлектроники, формирование методических рекомендаций с функциональными требованиями к отдельным классам продуктов.

Этот совет предлагается создать на базе Научного совета ОНИТ РАН ««Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляемых систем и материалов для ее создания», Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и включить в него главных конструкторов и главных технологов по технологическим направлениям создания особо чистых материалов, разработки и аттестации методик измерений параметров и технических средств их реализации, разработки материалов для специальной технологической тары и оснастки, создания транспортной и потребительской тары для химических материалов, прекурсоров и газов, создание соответствующей инфраструктуры.

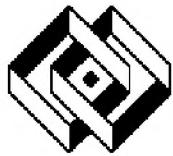
30

Приложение 6.

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ: СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ**

член-корреспондент РАН Д. В. Рошупкин

*Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых
материалов РАН (ИПТМ РАН)*



*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем технологий микроэлектроники и особочистых
материалов Российской академии наук (ИПТМ РАН)*

*Федеральный исследовательский центр проблем химической
физики и медицинской химии РАН (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)*



**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ И ИОННО-ЛУЧЕВОЙ
ЛИТОГРАФИИ, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

член-корреспондент РАН Рощупкин Дмитрий Валентинович, д.ф.-м.н. Зайцев Сергей
Иванович, к.ф.-м.н. Князев Максим Александрович, к.ф.-м.н. Ильин Александр Иванович, к.х.н.
Карандашев Василий Константинович (ИПТМ РАН)

к.х.н. Малков Георгий Васильевич, к.х.н. Грачев Вячеслав Петрович (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

План презентации

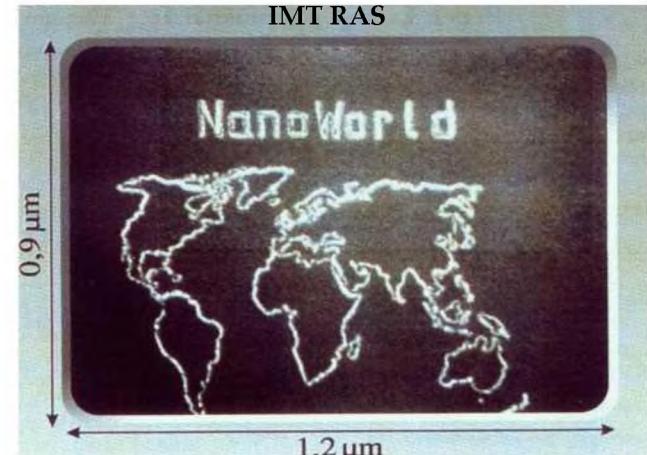
1. Резисты для электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии
2. Чистые металлы
3. Рентгеновские методы диагностики
4. Масс-спектрометрия

1. Резисты для электронно-лучевой и ионно-лучевой литографии

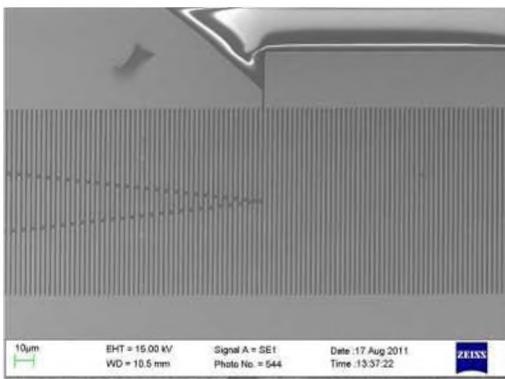
Электронно-лучевая литография



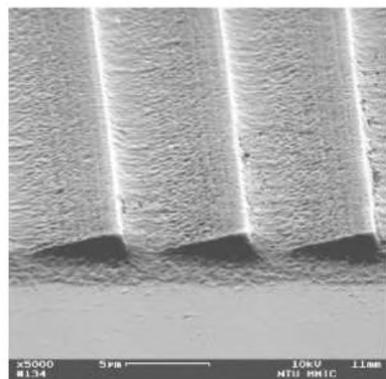
РЭМ ZEISS EVO-50 + аппаратно-программный комплекс
NanoMaker (E-beam lithography)



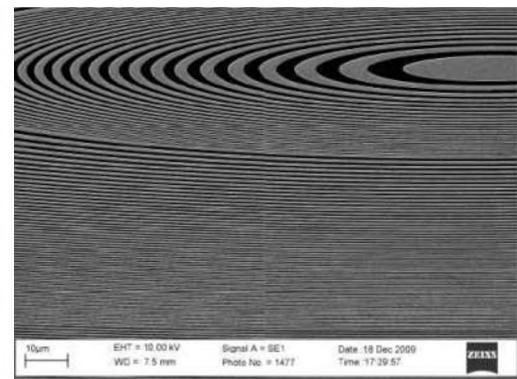
1992 год. Карта мира. Ширина контурных
линий 5 нм. E=100 кВ



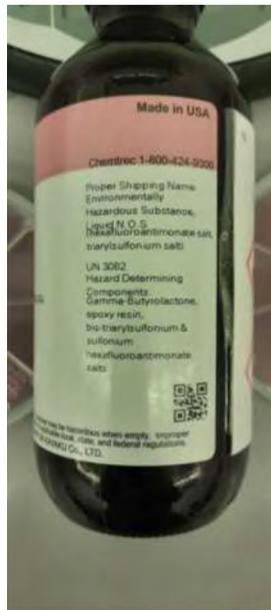
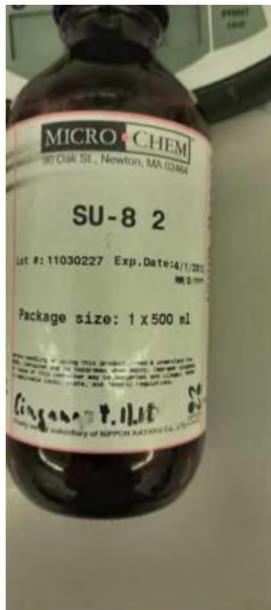
Структура аподизированного ВШП
акустоэлектронного устройства на
поверхностных акустических волнах.
Л=5.948 мкм.



Эшелетная дифракционная
решетка



Зонная пластинка Френеля для
фокусировки рентгеновского
излучения. Ширина крайних зон 20
нм.



Фоторезисты
лучевой,
литографии

для фотолитографии, электронно-
ионно-лучевой и рентгеновской

Резисты для электронно-лучевой литографии

Два типа резистов № 2 и № 3.

№ 2 аналог резиста PMMA 950к,

а № 3 аналог резиста PMMA

495к от компании MicroChem.

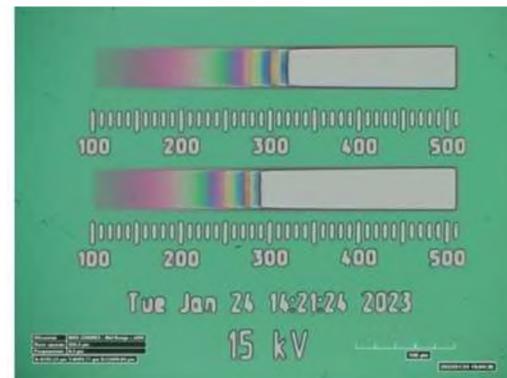
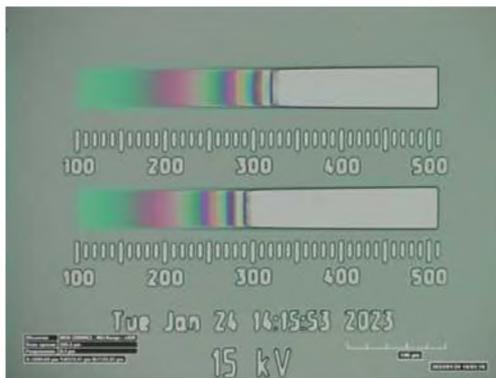
Резисты растворены в

хлорбензоле.

Образец	Mn	Mw	Mp	PD	Концентрация %
2	327000	728000	798300	3.2	3.99
3	141820	401200	404100	4.0	4.0

Образец	Скорость нанесения об/мин	Толщина нм
2	3000	150-175
3	3000	375-412
образец контрастность		
2	3.4	

Для проявления использовался раствор ИПС-Н2О 8:1

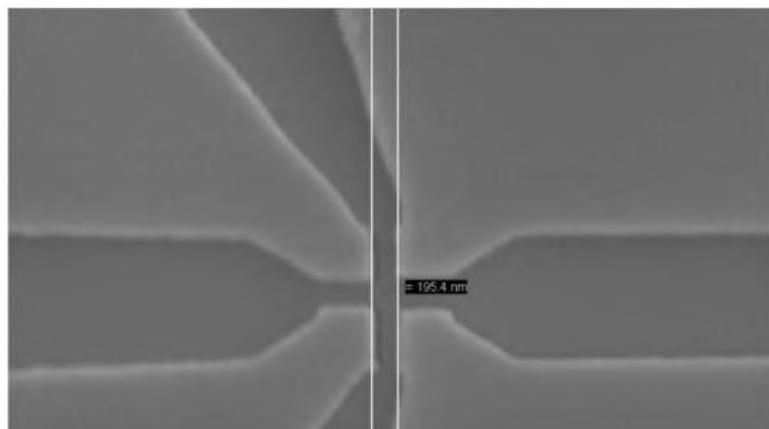


образец	Время проявления сек	Чувствительность мкКл/см2	U кВ
2	15	100	15
3	15	76	15

Толщины пленок резистов, нанесенных методом центрифугирования на скорости 3000 об/мин для разных концентраций резиста в растворителе хлорбензоле. Толщины были определены с помощью элипсометра.

концентрация

толщина пленки
образца №2
толщина пленки
образца №3

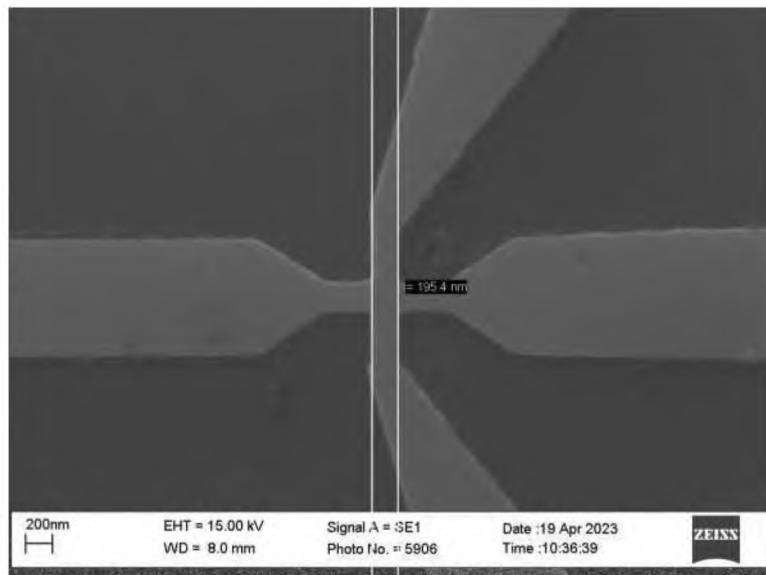


200nm EHT = 15.00 kV Signal A = SEI Date : 5 Apr 2023 | WD = 8.0 mm Photo No. = 5804 Time : 14:06:19 ZEISS

Пример наноструктуры, созданной в двухслойном электронном резисте (нижний слой №3 верхний - №2).

1%	2%	3%
45 нм	121 нм	241 нм

32 нм	82 нм	136 нм
-------	-------	--------

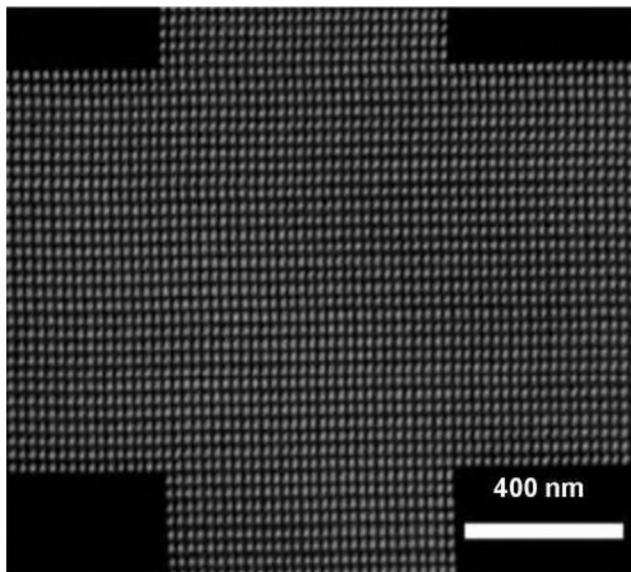


Наноструктура, полученная после напыления 50 нм Ni и операции lift-off из структуры в резисте.

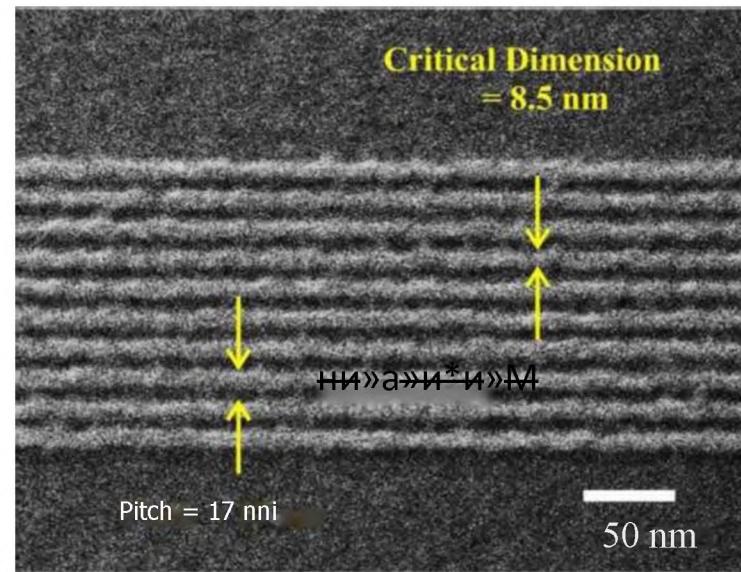
Ионно-лучевая литография



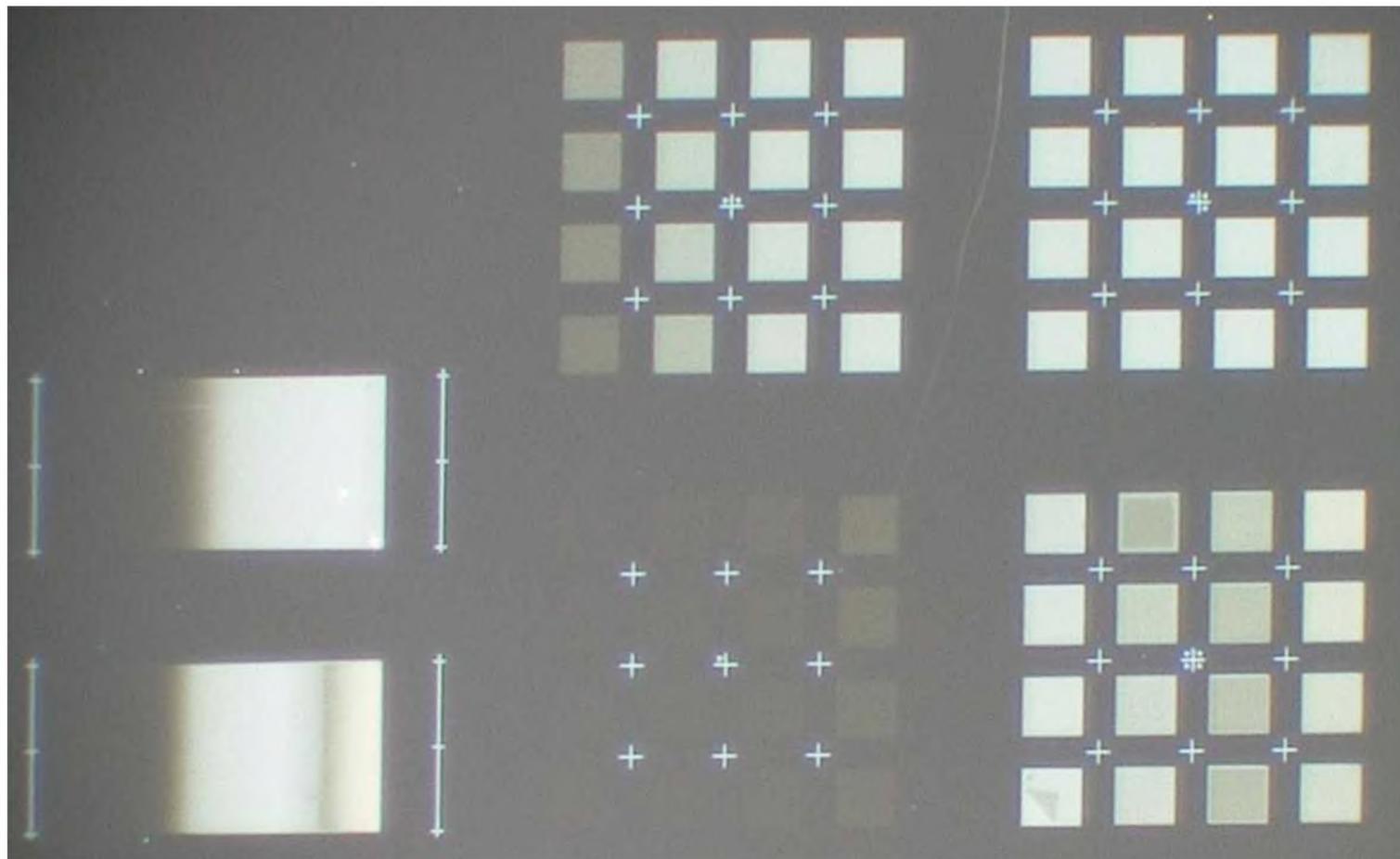
AURIGA Cross-beam. Электронный и ионные пучки



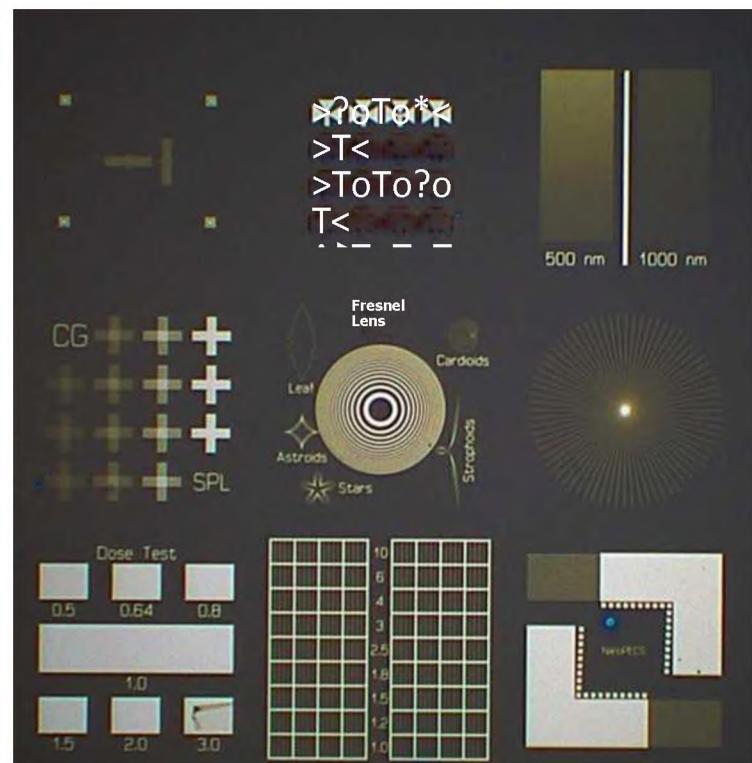
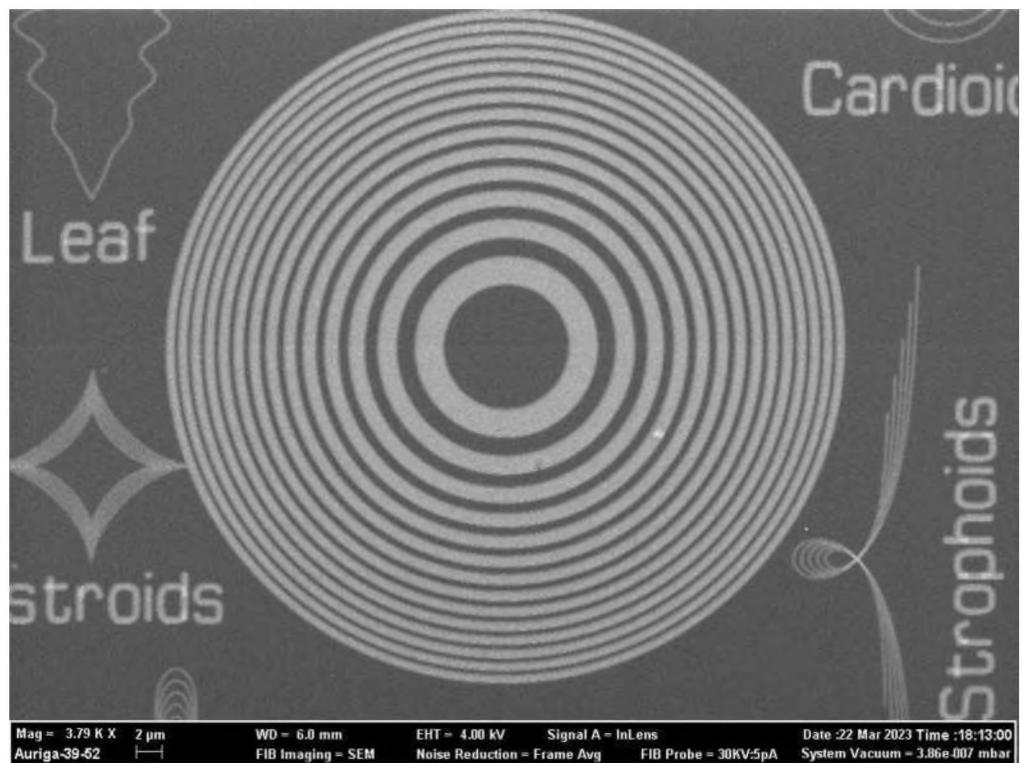
Массив отверстий диаметром 12.5 нм



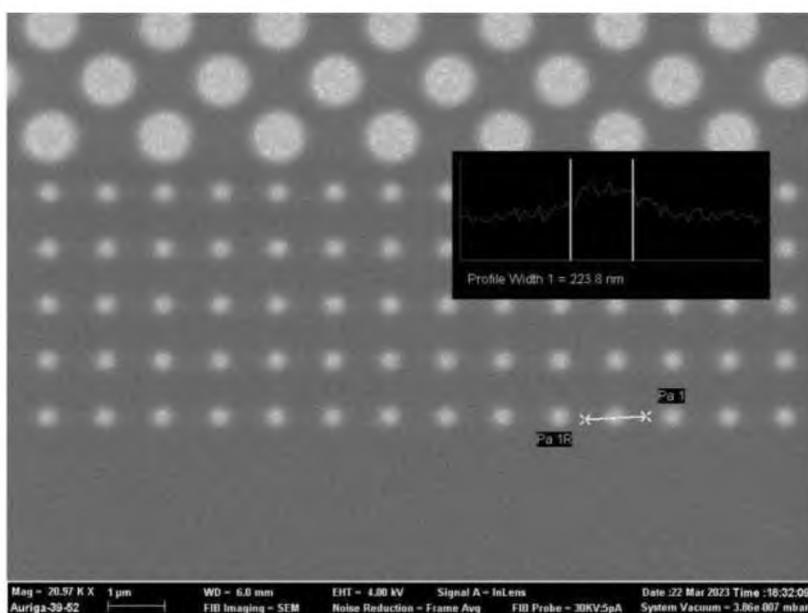
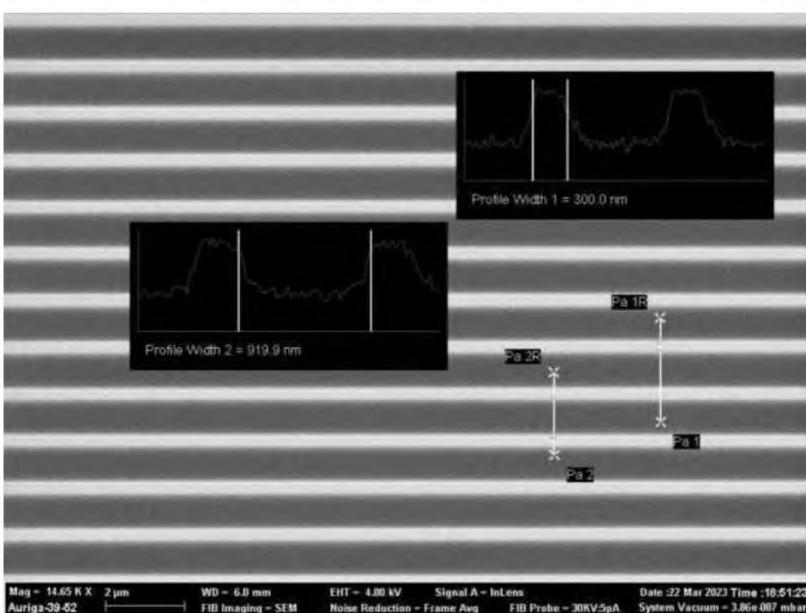
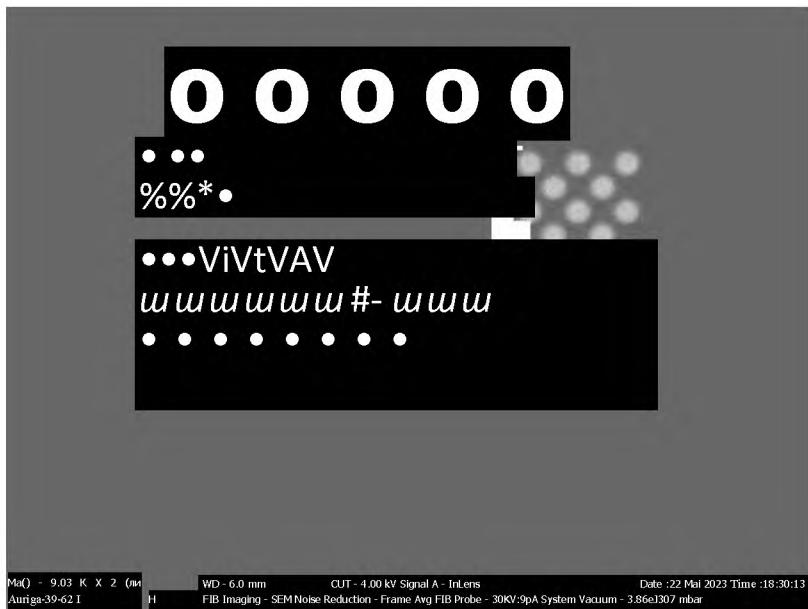
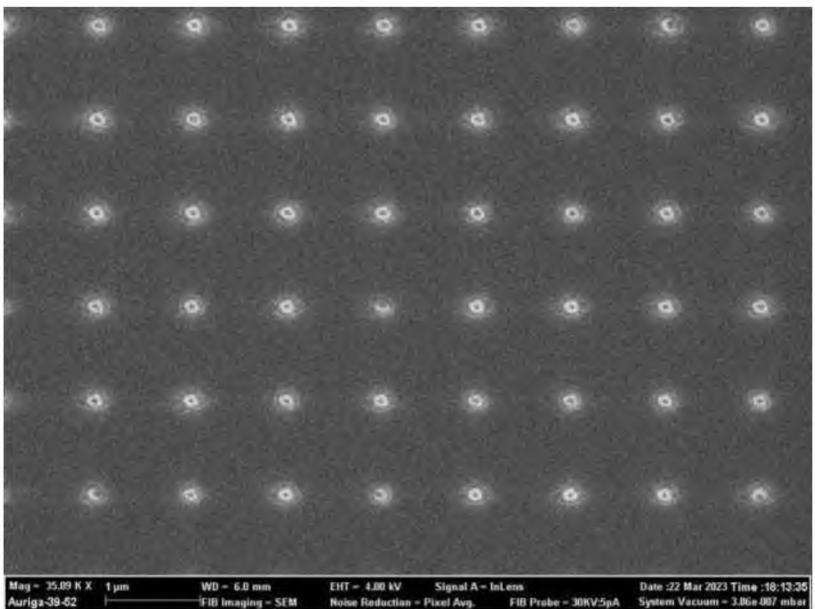
Решетка



Тестовая структура после экспонирования и проявления. Пленку резиста PMMA 950 2% на азилоле толщиной 100 нм экспонировали лучом ионов Ca^+ при ускоряющем напряжении 30 кВ. Квадраты с разными дозами экспонирования имеет размер 10x10 мкм.



Тестовая структура после экспонирования и проявления. Экспонирование пленки резиста PMMA 950 2% на анизоле толщиной 100 нм осуществлено при ускоряющем напряжении 30 кВ лучом ионов Ca^+ с дозой 2 мкКл/см².



Тестовая структура после экспонирования и проявления. Экспонирование пленки резиста PMMA 950% на азилоле толщиной 100 нм осуществлено при ускоряющем напряжении 30 кВ лучом ионов Сa+ с дозой 2 мкКл/см².

2. Чистые металлы



Монокристалл Си Монокристалл Mo



Монокристалл Al Монокристалл РЬ

3. Рентгеновские методы диагностики

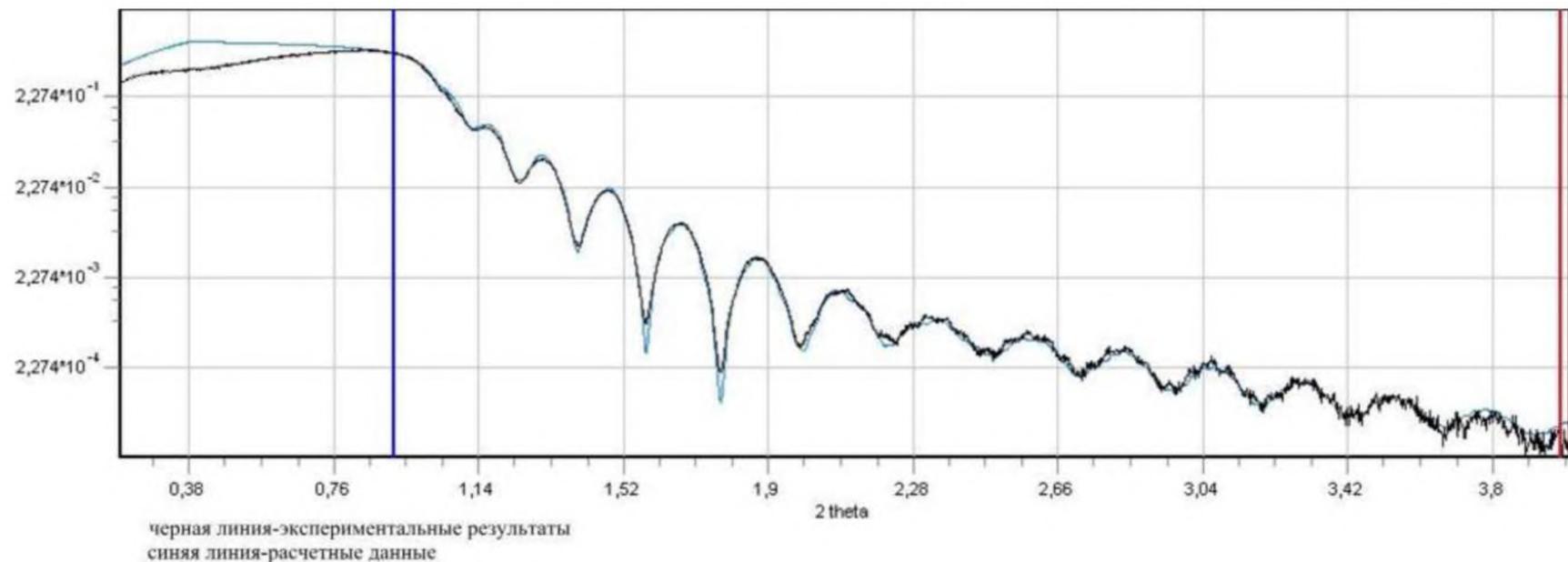


Рентгеновский двухосевой дифрактометр

4-х кружный дифрактометр
Bruker D8 DISCOVER

Рентгеновская дифрактометрия и рефлектометрия

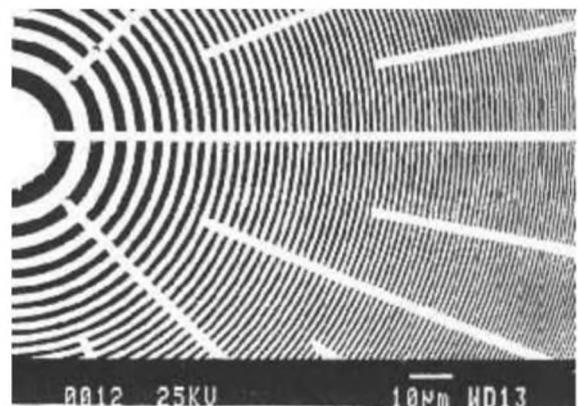
Кривая отражения многослойной структуры



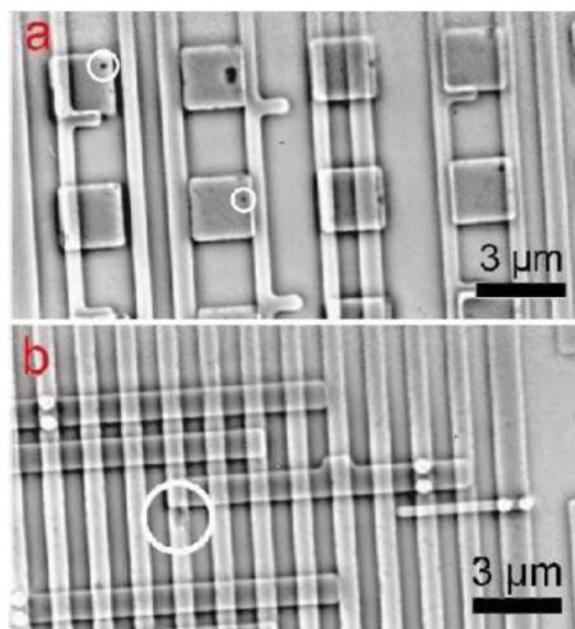
Многослойная структура образца

№ слоя 5	Материал	Толщина (нм)	Шероховатость (нм)	Плотность ($\text{г}/\text{см}^3$)
	Ta_2O_5	1,90	1,26	14,06
4	Ta_am	1,95	0,57	17,94
3	Ta_am	33,12	1,26	16,21
2	Э1зМ4	91,77	0,48	2,84
1	$\text{SiO}_2\text{ am}$	205,01	1,17	2,15
Подложка	Si	0,00	0,25	2,32

Рентгеновская микроскопия



Ф3П нормального падения для мягкого рентгеновского излучения, изготовленная в виде свободно висящая "паутинки" или на тонкой мембране



Разводка в процессоре

1.4 mm diameter
monochromatic 4 keV beam

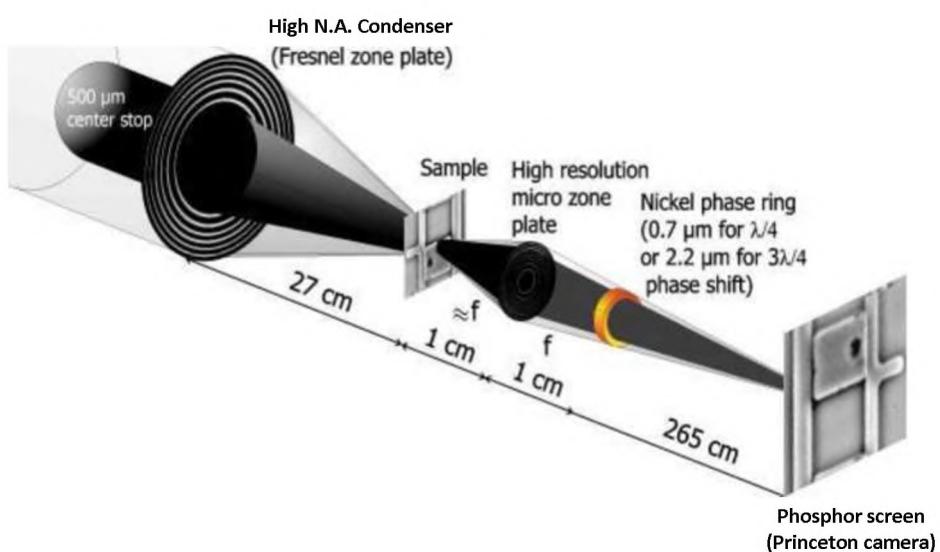
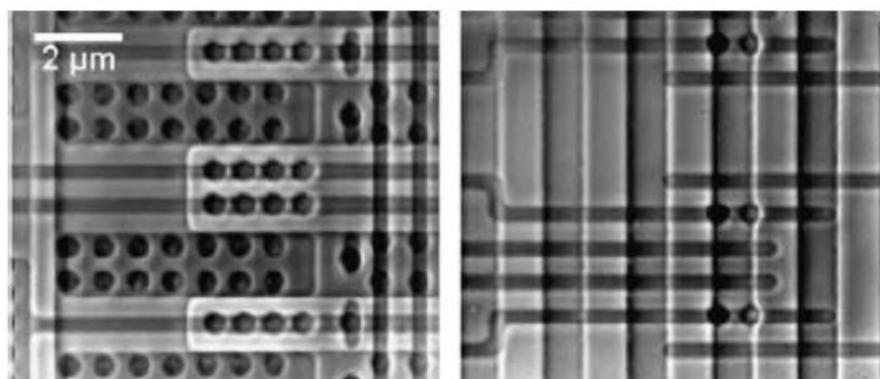
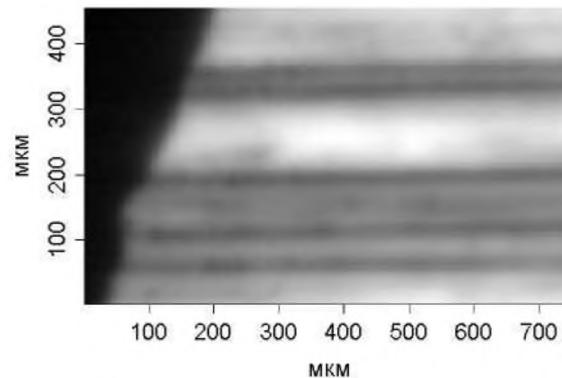
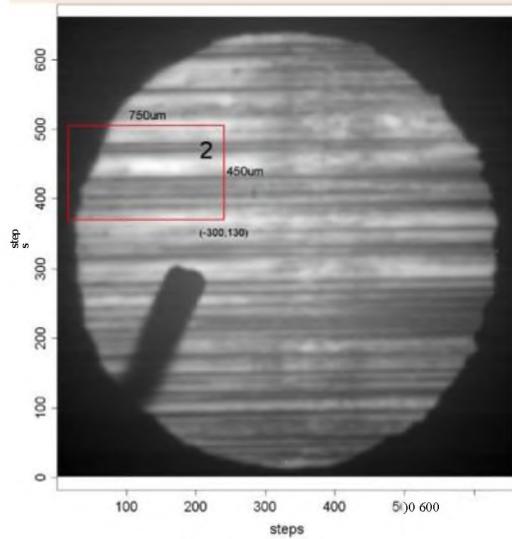


Схема просвечивающего рентгеновского микроскопа

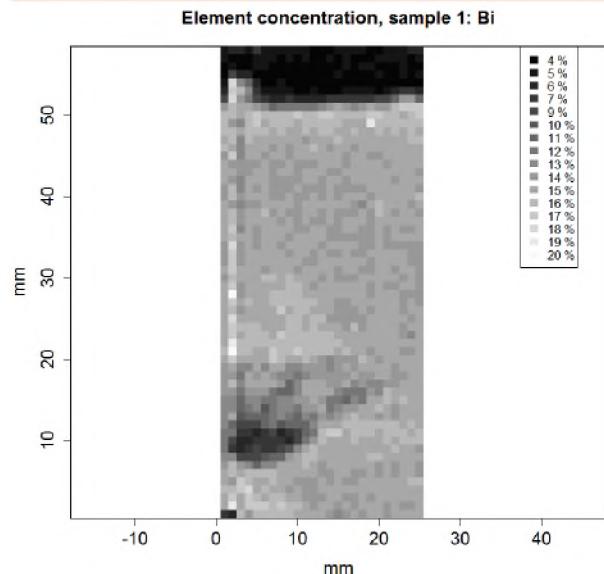


Структура процессора

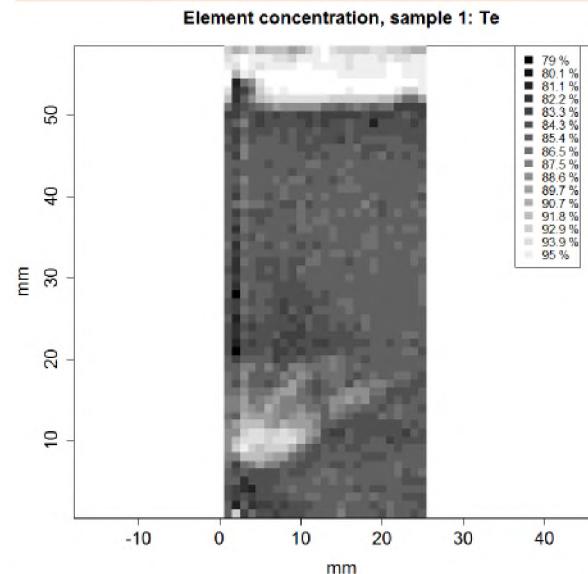
XBIC: дислокации в монокристалле Si



X-Ray микрофлуоресцентный анализ кристалла $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$, выращенного методом Бриджмена



Распределение Bi в кристалле $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$



Распределение Te в кристалле $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$

4. Масс-спектрометрия

1

Cl

1

Cl

Cl

Аналитический сертификационный испытательный центр

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ОСОБОЧИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

АСИЦ ИПТМ РАН

142432 г. Черноголовка Моск. обл. Тел.: 8 (49652) 4-42-69; Факс: (495) 962-80-47; E-mail: karan@iptm.ru

**Аналитический сертификационный центр ИПТМ РАН был организован в 1993 г.
В декабре 2002 г проведена его реорганизация с изменением названия центра.**

С 2003 г по 2021 АСИЦ был аккредитован на компетентность и независимость в системе СААЛ (2003-2013), Федеральной службой по аккредитации РОСАККРЕДИТАЦИЯ (2013-2021).

С августа 2021 и по настоящее время АСИЦ аккредитован в международной системе аккредитации лабораторий ILAC (ААЦ «Аналитика», № AAC.A.00561) и в системе УКАРГЕО.



Association of the Analytical Centers "Analitica"
Accreditation Body
Full Member and Signatory to ILAC and APAC
Mutual Recognition Arrangements
Accreditation certificate

№ AAC.A.00561

Valid till
August 6, 2026

Accreditation body AAC "Analitica" certifies that
**Analytical Centre of Institute of Microelectronics
Technology and High-Purity Materials Russian
Academy of Sciences (AC of IMT RAS)**

Legal and actual address: 6 Academician Osipyan str., Chernogolovka, Russia, 142432
is accredited in accordance with
the requirements of International Standard

ISO/IEC 17025:2017

(GOST ISO/IEC 17025-2019).

This accreditation confirms technical competence
and operation of the center management system.

The scope of the center accreditation is described in the
Appendix, which is an integral part of this Certificate.

Head of
Accreditation body



I. Boldyrev
August 6, 2021

117218, Moscow, Krahizhanovskogo str., 14, bld. 3, floor 2, apt. XVI, room 6
+7(495)108-68-37
e-mail: info@aac-analitica.ru



Оборудование АСИЦ ИПТМ РАН

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС)

- 2 квадрупольных масс-спектрометра XSeriesII (*Thermo Fisher Scientific, США*)
- 1 масс-спектрометр высокого разрешения Element II (*Thermo Fisher Scientific, США*)



Атомная эмиссия с индуктивно связанной плазмой (АЭС-МС)

ICAP-61 и iCAP-6500 Duo
(*Thermo Fisher Scientific, США*)



Вспомогательное оборудование

3 системы автоклавного разложения с резистивным нагревом

Разработан в ИПТМ РАН,
Патент на изобретение
№ 2599526 от.



Приставка для лазерного пробоотбора UP266 (*New Wave Research, США*)



Электронные весы, сушильные шкафы, муфельные печи, аппараты для встряхивания при Т от 20°С до 70°С, и т.д.

Возможности АСИЦ ИПТМ

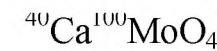
РАН В металлах, сплавах и полупроводниках

возможно определение до 70 элементов в одной пробе массой более 20 мг.

**Вещества, анализ которых выполнен в АСИЦ ИПТМ РАН
2007 - 20223 г**

периоды	ряды	группы химических элементов														
		II	III	IV	V	VI	VII	VIII								
I	1	H 1,00795 водород														He 4,002602 гелий
II	2	Li 6,9412 литий	B 9,01218 бериллий	B 10,812 бор	C 12,0108 углерод	N 14,0067 азот	O 15,9994 кислород	F 18,99840 фтор								Ne 20,179 неон
III	3	Na 22,98977 натрий	Mg 24,305 магний	Al 26,98154 алюминий	Si 28,086 кремний	P 30,97376 фосфор	S 32,06 серы	Cl 35,453 хлор								Ar 39,948 аргон
IV	4	K 39,0983 калий	Ca 40,08 кальций	Sc 44,9559 скандий	Ti 47,90 титан	V 50,9415 ванадий	Cr 51,996 хром	Mn 54,9380 марганец	Fe 55,847 железо	Co 58,9332 cobальт	Ni 58,70 никель					Kr 83,80 криптон
V	5	Rb 85,4678 рубидий	Zn 65,38 цинк	Ga 69,72 гадлий	Ge 72,59 терманий	As 74,9216 мышьяк	Se 78,96 селен	Br 79,904 бром				Tc 98,9062 технеций	Ru 101,07 рутений	Rh 102,9055 родий	Pd 106,4 палладий	Xe 131,30 ксеноон
VI	6	Ag 107,868 серебро	Cd 112,41 cadmий	In 114,82 индий	Sn 118,69 олово	Sb 121,75 сурыма	Te 127,60 теплур	I 126,9045 иод								Rn 222 радон
VII	7	Cs 132,9054 цезий	Ba 137,33 барий	La 138,9 лантан	Hf 178,49 гафний	Ta 180,9479 тантал	W 183,85 вольфрам	Re 186,207 рений	Os 190,2 осмий	Ir 192,22 иридий	Pt 195,09 платина					
		Au 196,9665 золото	Hg 200,59 ртуть	Tl 204,37 таллий	Pb 207,2 свинец	Bi 208,9 висмут	Po 209 полоний	At 210 астат								
		Fr 223 франций	Ra 226,0 радий	Ac 227 актиний	Rf 261 резерфордий	Db 262 дубний	Sg 266 сиборгий	Bh 269 борий	Hs 269 хассий	Mt 268 мейтнерий	Ds 271 дармштадтий					
		La 138,9 лантан	Ce 140,1 цирконий	Pr 140,9 преводий	Nd 141,2 нейодий	Pm 145 прометий	Sm 150,4 самарий	Eu 151,9 европий	Gd 157,3 гадолиний	Tb 158,9 тербий	Dy 162,5 дилютродилютний	Ho 164,9 холмий	Er 167,3 эрбий	Tm 168,9 тимий	Yb 173,0 итербий	Lu 174,9 лютений
		Ac 227 актиний	Th 232,0 торий	Pa 231,0 протактиний	U 238,0 ураний	Np 237 нептуний	Pu 244 плутоний	Am 243 америй	Cm 247 карий	Bk 247 берклий	Cf 251 калифорний	Es 252 эшингтоний	Fm 257 фермий	Md 258 мезцелезий	No 259 нобелий	Lr 262 лоуренций

Государственный контракт № 02.513.11.3398 «Изотопно-обогащенные монокристаллы молибдата кальция для детекторов низкоэнергетических элементарных частиц»



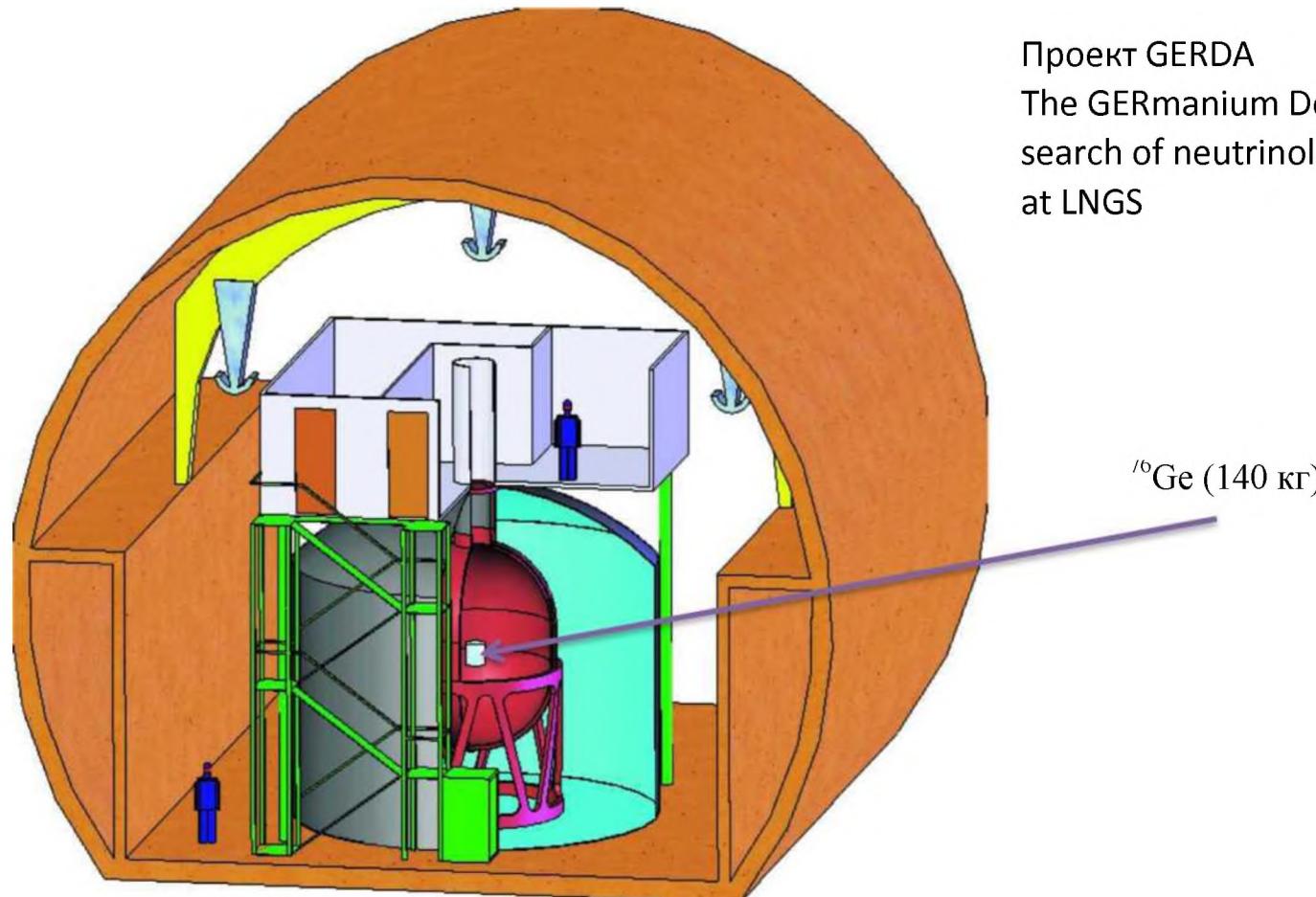
(50 кг)



Чувствительность установки с 50 кг изотопа за 5 лет измерений должна достигнуть $5 \cdot 10^{25}$ лет



Анализ материалов для установок, предназначенных для поиска безнейтринного двойного бета-распада (БДБР)



Проект GERDA

The GERmanium Detector Array for the search of neutrinoless 0ν decays of ^{76}Ge at LNGS

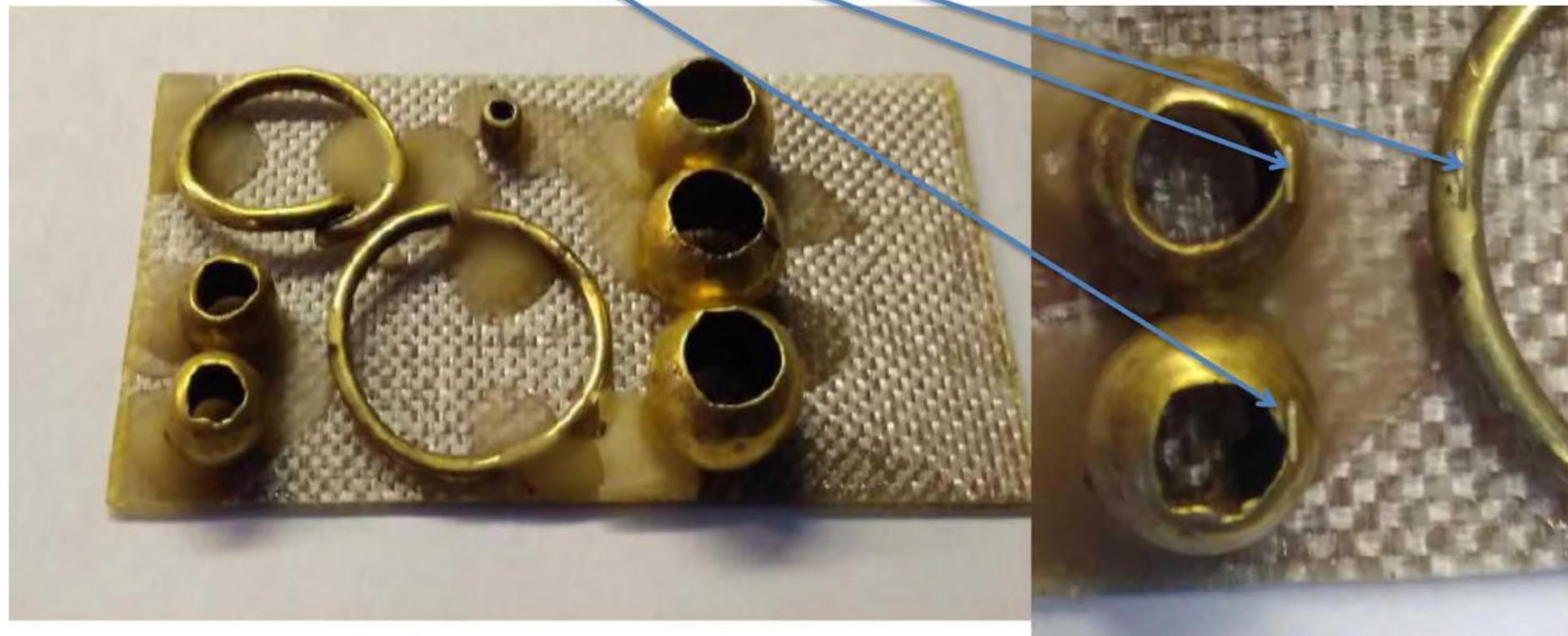
Методика анализа: автоклавное растворение образца Ge с одновременной отгонкой основы и последующий МС-ИСП анализ концентратов примесных элементов

Пределы определения при МС-ИСП анализе образцов ^{76}Ge и $^{40}\text{Ca}^{100}\text{MoO}_4$

Определяемые элементы	Пределы определения
B, Ti, Cr, Ni, Zn, Sn	0.1 + 0.3 мкг/г
Mn, Co, Cu, Se, Sr, Mo, Ba, Pb	$10 \wedge 50$ нг/г
Li, Sc, V, Ga, As, Rb, Y, Zr, Nb, Pd, Ag, Cd, In, Sb, Te, La, Ce, Pr, Nd, W Bi	$1 \wedge 3$ нг/г
Be, Rh, Cs, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Re, Ir, Pt, Au, Tl	$0.1 \wedge 0.3$ нг/г
Th, U	0.3 пг/г

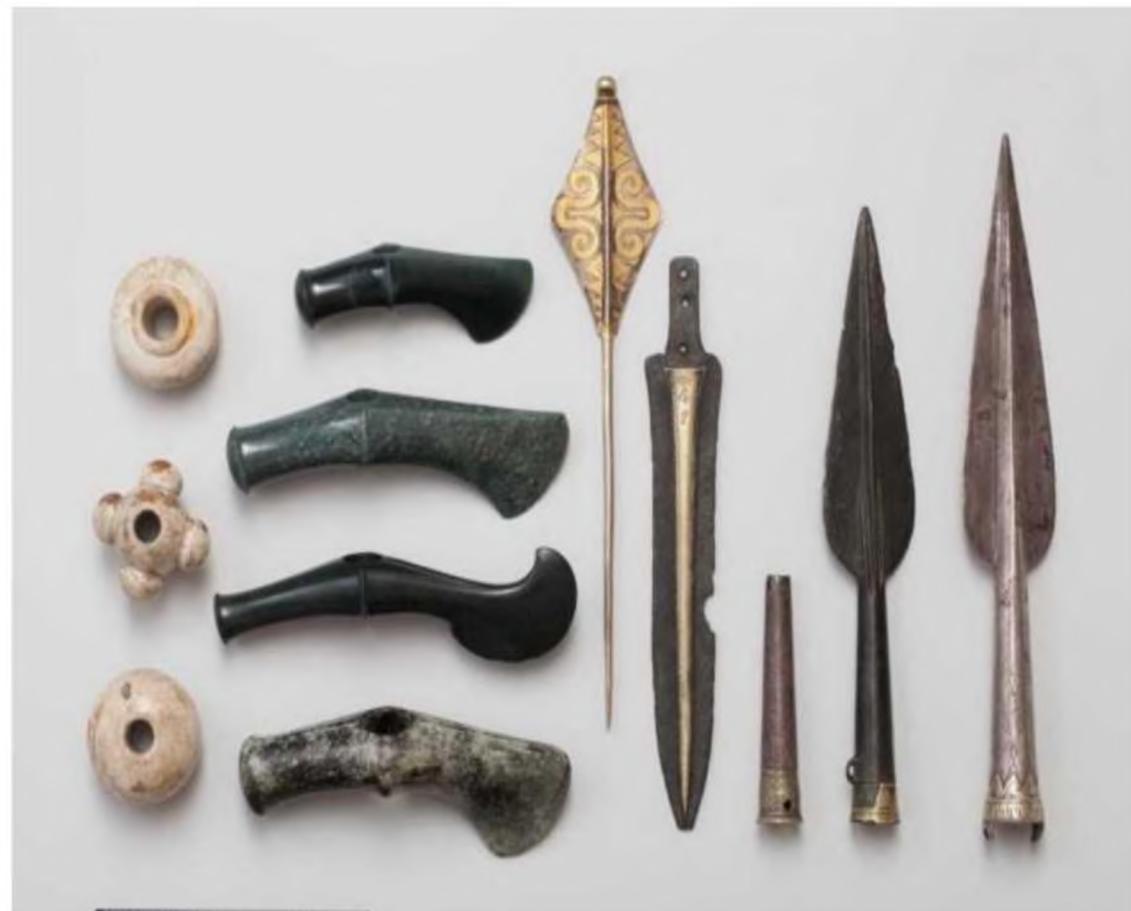
Анализ археологических образцов в АСИЦ ИПТМ РАН

МС-ИСП с лазерным пробоотбором для анализа золотых украшений



БОРОДИНСКИЙ КЛАД

Найден в 1912 г. крестьянами села Бородино Аккерманского уезда
бывшей Бессарабской губернии и с 1914 г находится в ГИМ, Москва



Приложение 7.

**РОСТ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО КАРБИДА КРЕМНИЯ НА КРЕМНИИ МЕТОДОМ
СОГЛАСОВАННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ**

д.ф.-м.наук. С. А. Кукушкин, д.ф.-м.н. А. В. Осипов

Институт проблем машиноведения РАН

Приложение 7.



*Институт Проблем Машиноведения РАН
Лаборатория структурных и фазовых
превращений
в конденсированных средах*

Общество с Ограниченнной Ответственностью «Научно Технический Центр «Новые технологии» (ООО «НТЦ НТ»)

**РОСТ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО КАРБИДА
КРЕМНИЯ НА КРЕМНИИ МЕТОДОМ
СОГЛАСОВАННОГО ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ**

КУКУШКИН С.А., ОСИПОВ А.В.

Санкт-Петербург , 2023

1. Основные подложки для GaN

Подложки сапфира (Al_2O_3)

Недостатки

1. Разница в параметрах решеток порядка 19%.
2. Сапфир – диэлектрик.
3. Коэффициент температуропроводности сапфира низкий ~ 0.25 Вт/смК при 100°C.
4. Кислород из сапфира может проникать в GaN.

Подложки SiC - наиболее подходящие. Различие в параметрах решеток 3.1.%

Недостатки

1. Небольшая разница в параметрах решеток все равно приводит к образованию дефектов.
2. Высокая цена.
3. Иногда бывает необходимо стравить подложку. Для SiC это большая проблема

Подложки Si. Основное достоинство - является возможность монолитной интеграции структур на основе GaN в кремниевую технологию.

Недостатки

1. Разница в параметрах решеток порядка 21%.
2. Большое различие в тепловых коэффициентах расширения между Si и GaN.
3. Происходит химическое взаимодействие между Si и Ga

Обзор по подложкам для GaN

Kukushkin S.A., Osipov A.V., Bessolov V.N., Medvedev B.K., Nevolin V.K., Tcarik K.A. *Substrates for epitaxy of gallium nitride: new materials and techniques. A Review* // *Review of Advanced Materials Science*. 2008, V.17, №1/2, 31-62.

1.1. Архитектура формирования гетероструктур широкозонных полупроводников (GaN и AlN) на кремнии и, возникающие при этом проблемы

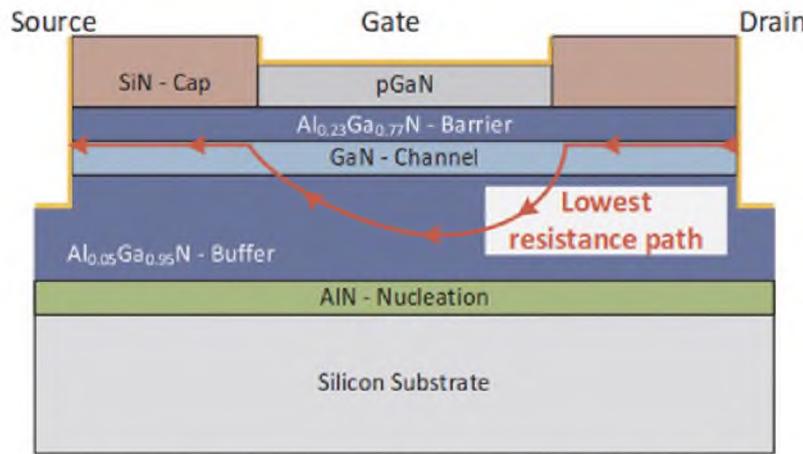
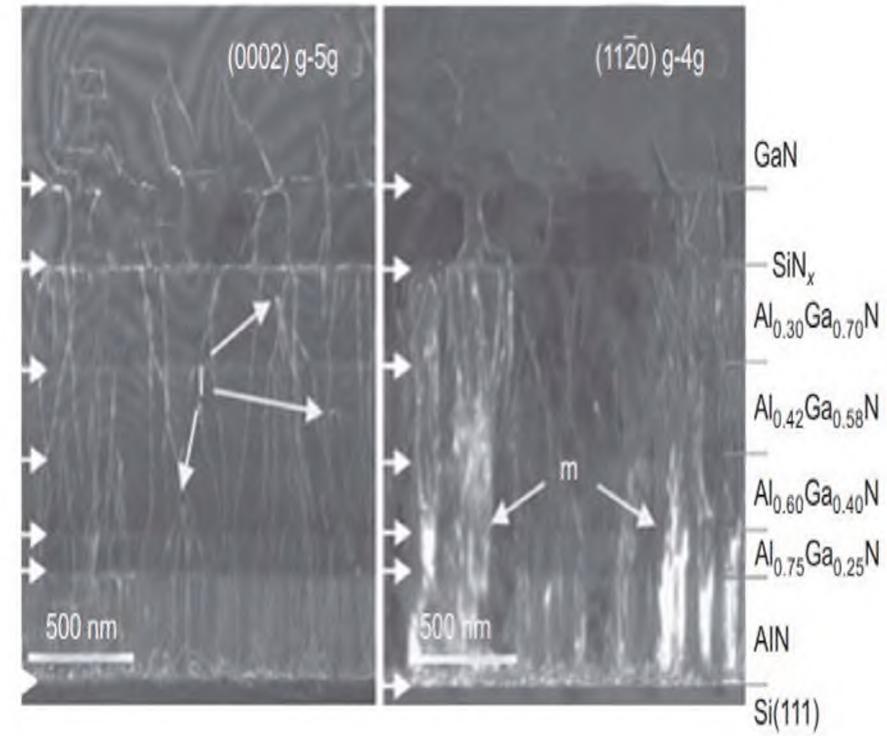
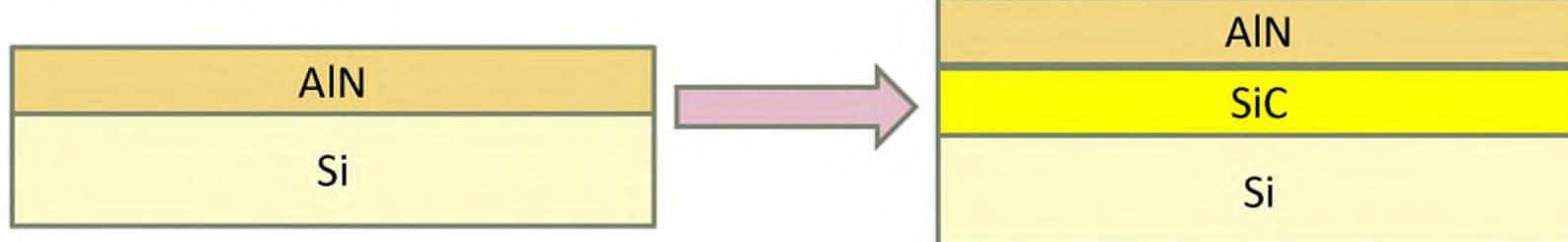
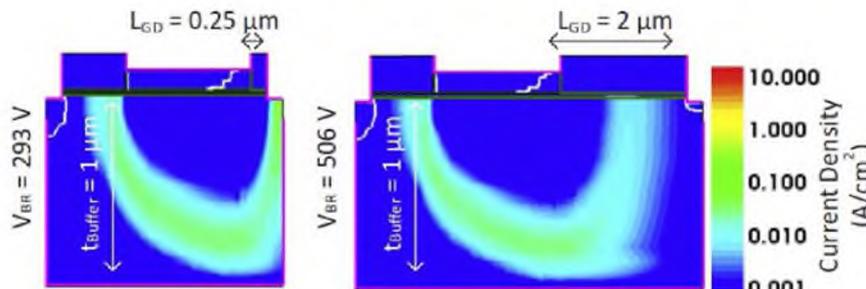
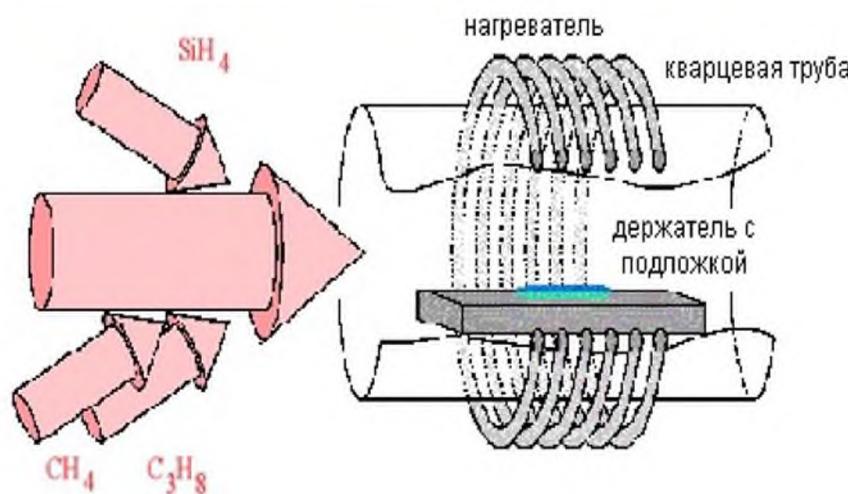


Fig. 11. Lowest resistance current leakage path for device in off-state.

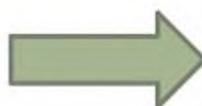


2. Существующие стандартные способы получения пленок SiC на Si

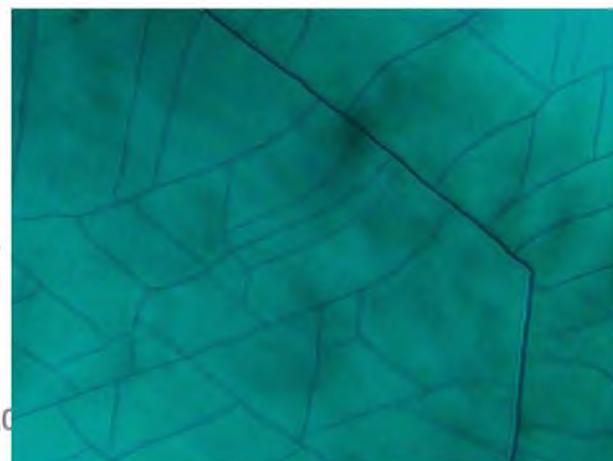


CVD метод.

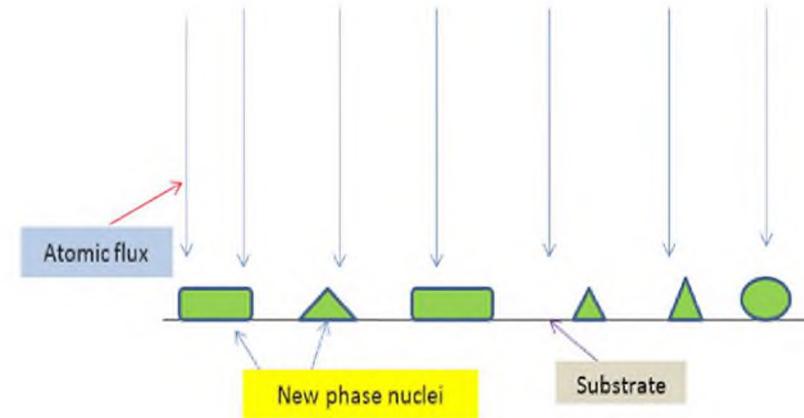
Трешины в пленке AlN, выращенной на поверхности (111) Si



07.06.20



Стандартные методы роста пленок



Это приводит к образованию трещин и дислокаций в слое при большей разнице в параметрах решеток подложки и пленки. Трещины могут и не образоваться, но подложка с пленкой сильно искривляются, что делает невозможным ее дальнейшее использование.



3.. Поиск метода, позволяющего обойти высокие механические напряжения при росте SiC на Si. (Gabriel Ferro. 3C-SiC Heteroepitaxial Growth on Silicon: The Quest for Holy Grail. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 40:1, 56-76 (2015)). В поисках Священного Грааля! Более 60 лет исследователи, технологии, промышленный компании всего мира безрезультатно ведут поиск метода, позволяющего получить низкодефектные слои SiC на Si!

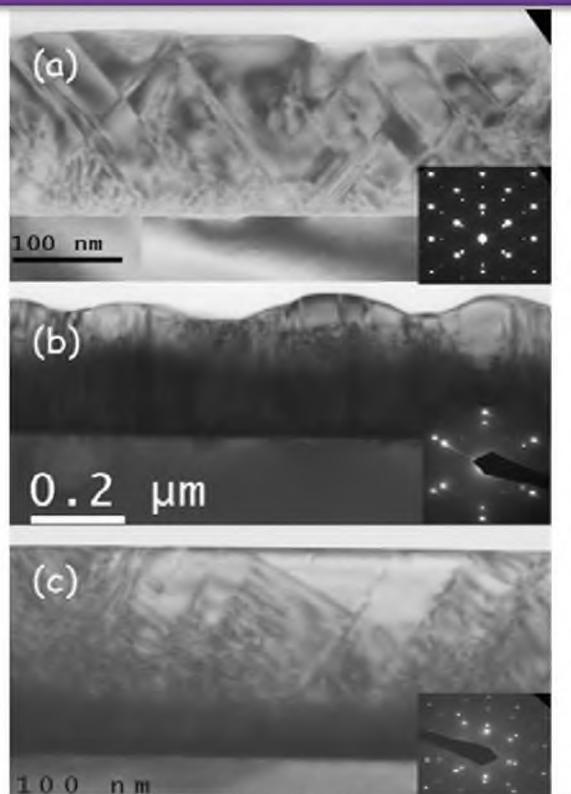


Figure 6. Cross-section TEM of 3C-SiC films (about 250 nm thick) grown on (a) (100) Si, (b) (110) Si and (c) (111) Si. In the insets, selected area diffraction patterns are reported.

A. Severinoa, C. Lockeb, R. Anzalonea, M. Camardaa, N. Pilusoaa,
A. La Magnaa, S.E. Saddowb, G. Abbondanzac, G. D'Arrigoa, F.
La Viaa. 3C-SiC film growth on Si substrates ECS Transactions
35, 99 (2011)

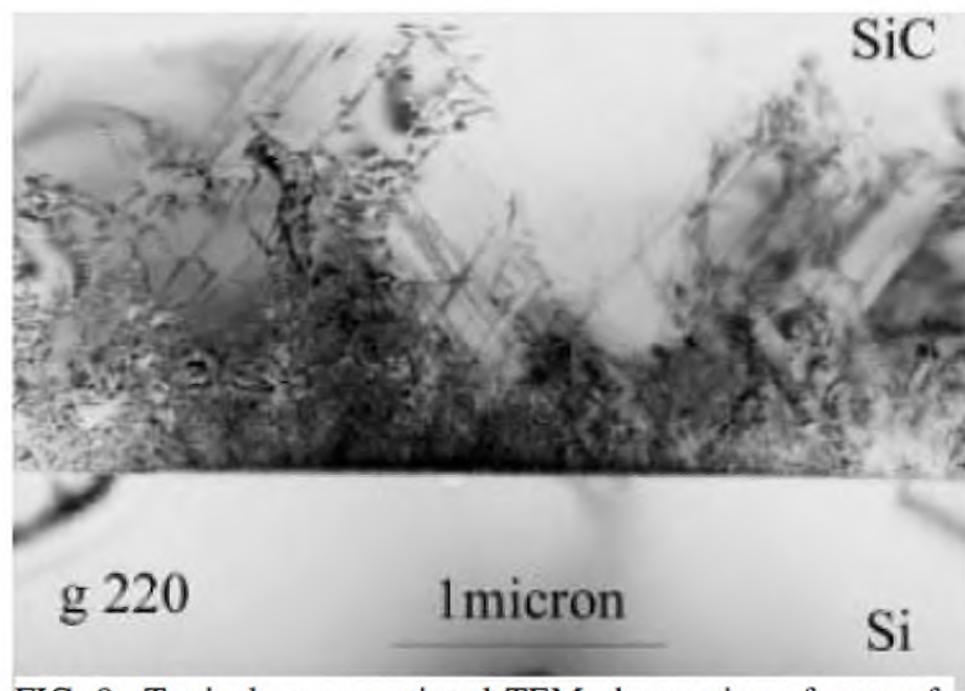


FIG. 9. Typical cross-sectional TEM observation of state-of-the-art 3C-SiC single-crystalline layer grown on Si(100).

Gabriel Ferro. 3C-SiC Heteroepitaxial Growth on Silicon: The Quest for Holy Grail. Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences, 40:1, 56-76 (2015).

3.1. Основные проблемы роста SiC на Si

Первая (и основная) проблема.

Параметры решеток Si и SiC отличаются примерно на 19%.

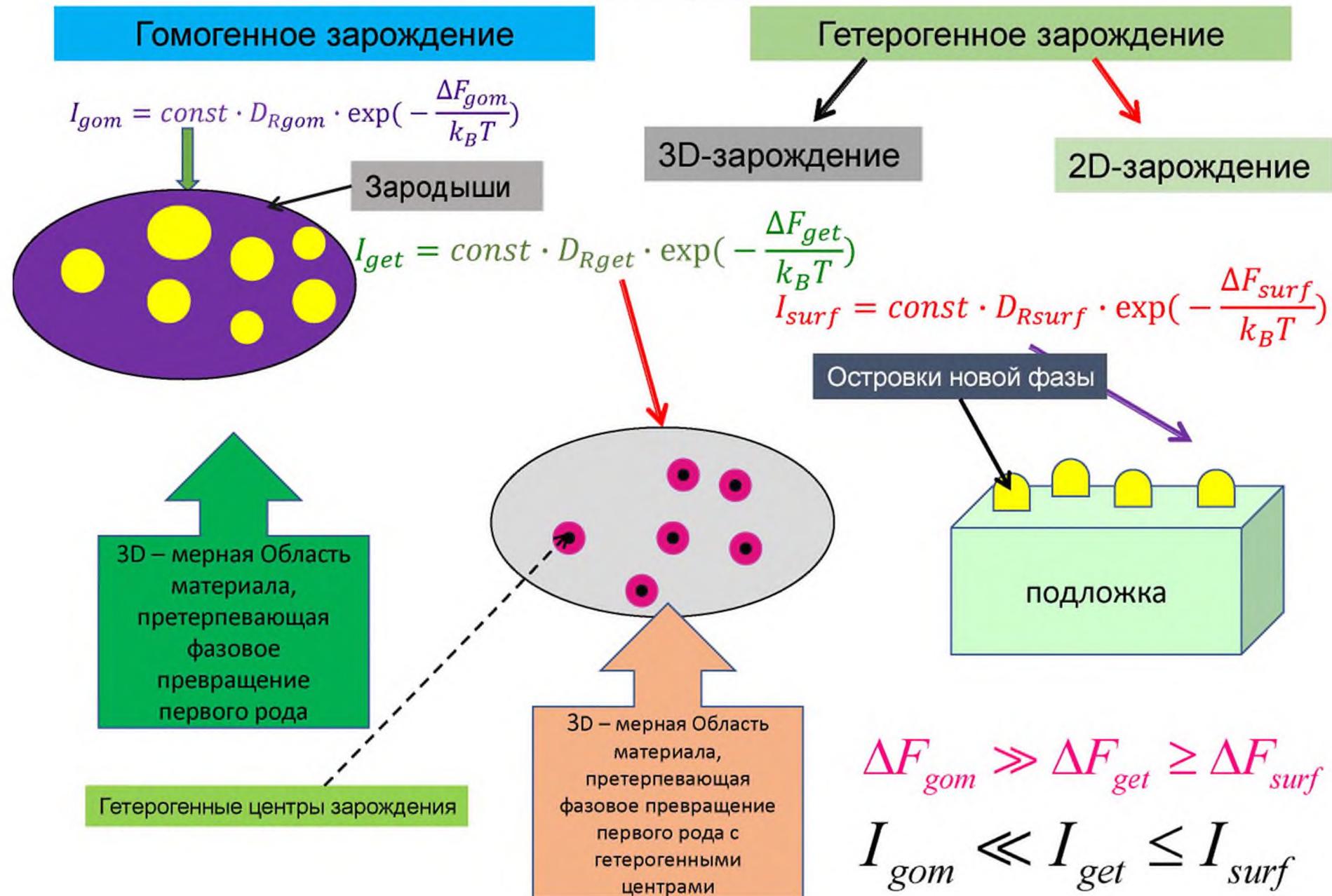
Вторая проблема

Большое различие в тепловых коэффициентах расширения между Si и 3C-SiC. Так, линейный коэффициент термического расширения 3C-SiC равен $3,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, в то время как линейный коэффициент расширения Si, принимает значение равное $2,6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. В результате при охлаждении пластины Si со слоем SiC от температуры роста до комнатной температуры возникает сильный изгиб пластины и трещины.

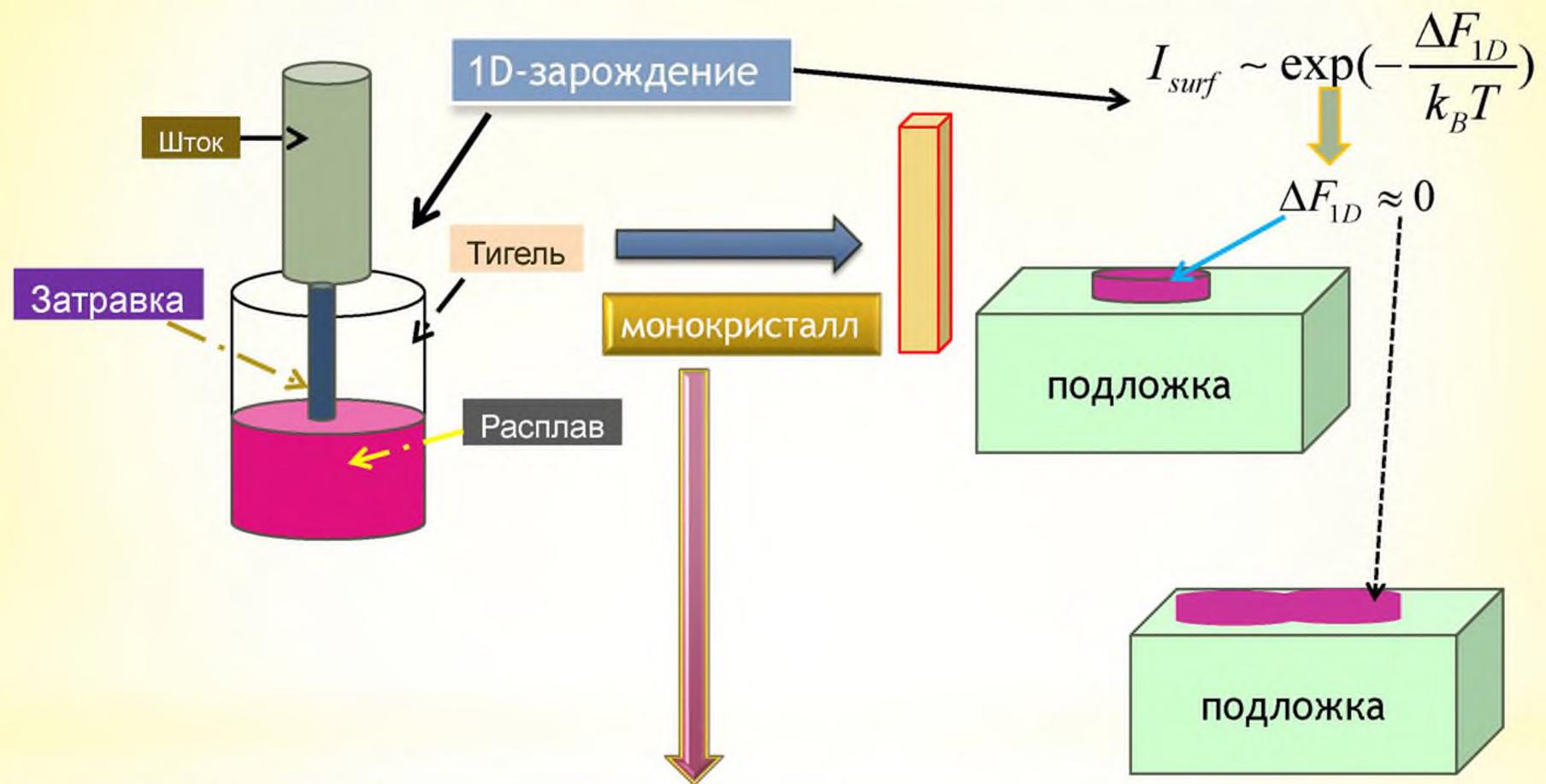
Третья проблема

Низкой температурой плавления Si (Si плавится при температуре 1412 °C). Невозможно выращивать пленки SiC, синтезированные на Si, при температурах равных и выше 1500 °C. При температурах выше 1500 °C диффузионная подвижность компонентов и скорость химической реакции между компонентами, из которых выращивают SiC, достаточно высокие. Это позволяет реализовать ориентированное зарождение двумерных зародышей SiC. Поэтому, для того чтобы росли пленки SiC при температурах ниже 1412 °C исследователям приходится применять различные методы предварительной модификации поверхности Si.

4. Процесс фазового превращения первого рода - случайный процесс



5. Зарождение на затравке (рост монокристаллов) – 1D-зарождение



Цель- организовать рост пленок подобно
росту
монокристаллов из затравки, т.е.
реализовать 1D рост!

Каким образом это реализовать
для случая гетерогенного
зарождения
на инородной подложке?

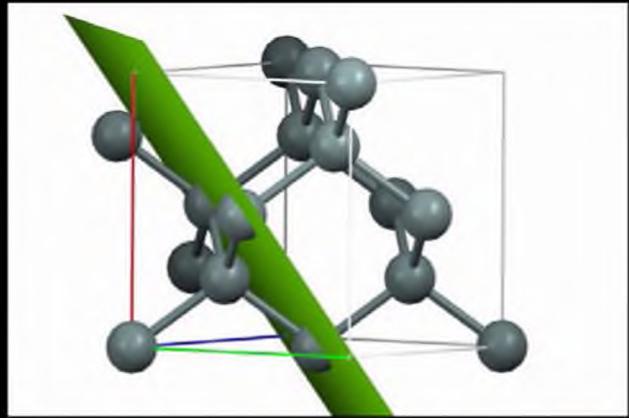
6. Окаменевшее дерево пролежавшее в морской воде около 250 миллионов лет.



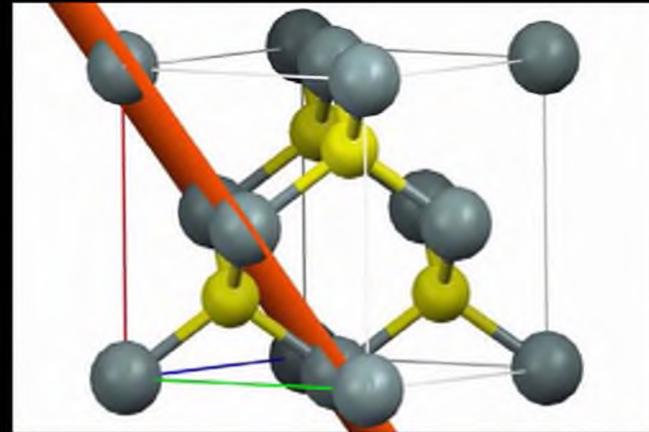
Окаменелое дерево. Фотографии из личного архива автора.

Окаменевшее дерево, которое в находилось в горячей воде морской воде, насыщенной минеральными солями. Живые клетки этого дерева были полностью заменены неорганическими минералами в результате медленного процесса обмена.

7. Основная идея нового метода роста – замещение в решетке кремния атомов Si на атомы C.

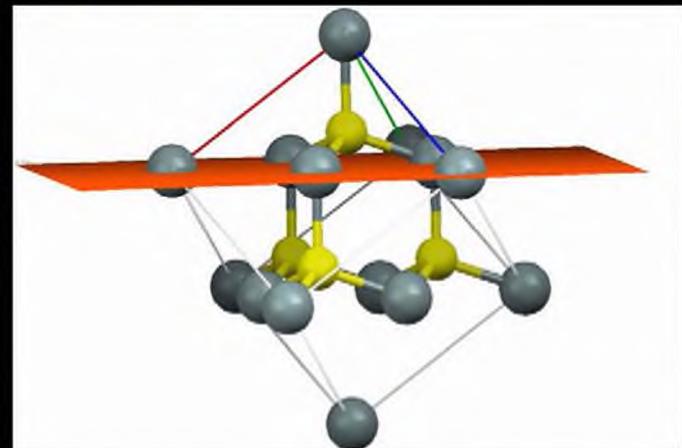
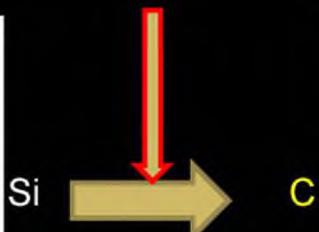
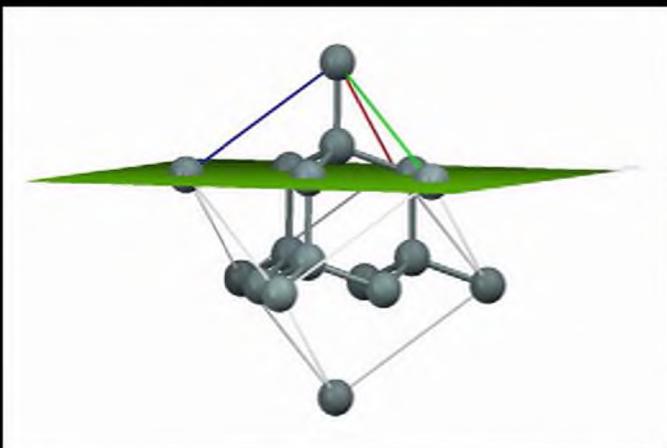


The crystal Si
 $a=5,431 \text{ \AA}$; $V=160,1 \text{ \AA}^3$

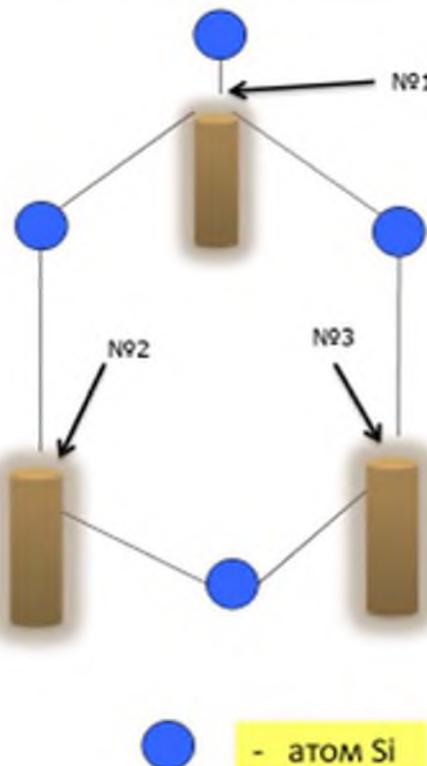


The crystal SiC
 $a=4,3596 \text{ \AA}$; $V=81,5 \text{ \AA}^3$

Замещения



8. Создание молекулярной затравки



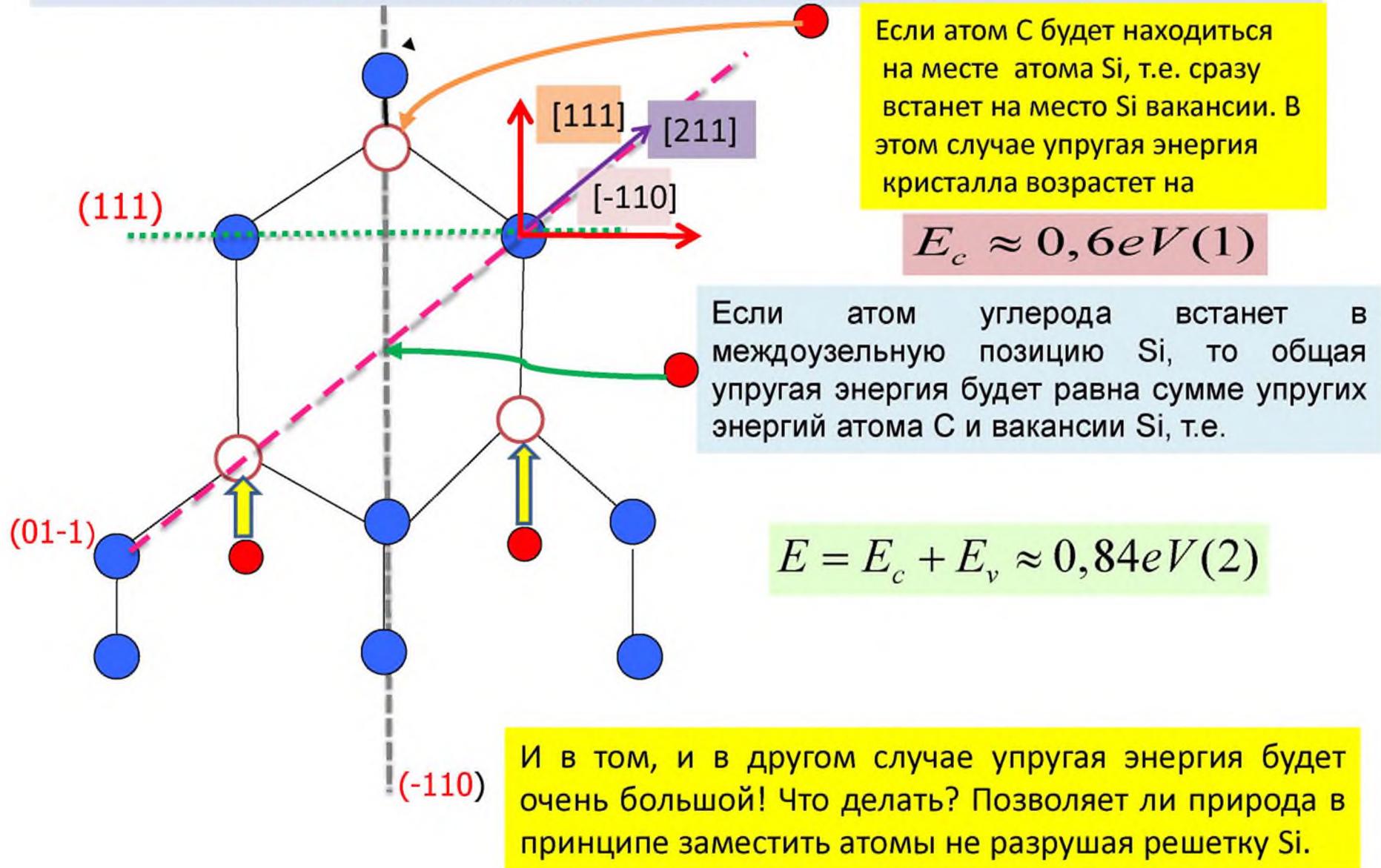
-Молекулярная затравка, содержащая С и помещающаяся в межузельную позицию Si без упругой деформации. Молекулярная затравка это не молекула SiC. Молекулярная затравка – это промежуточное состояние между молекулой SiC и атомами Si и C

Атомный радиус С ($\approx 0,77\text{\AA}$) в решетке Si – октаэдрический радиус $\approx 0,94\text{\AA}$, для Si октаэдрический радиус $\approx 1,37\text{\AA}$ (атомный $\approx 1,17\text{\AA}$). Радиус пустоты $\approx 1,17\text{\AA}$.

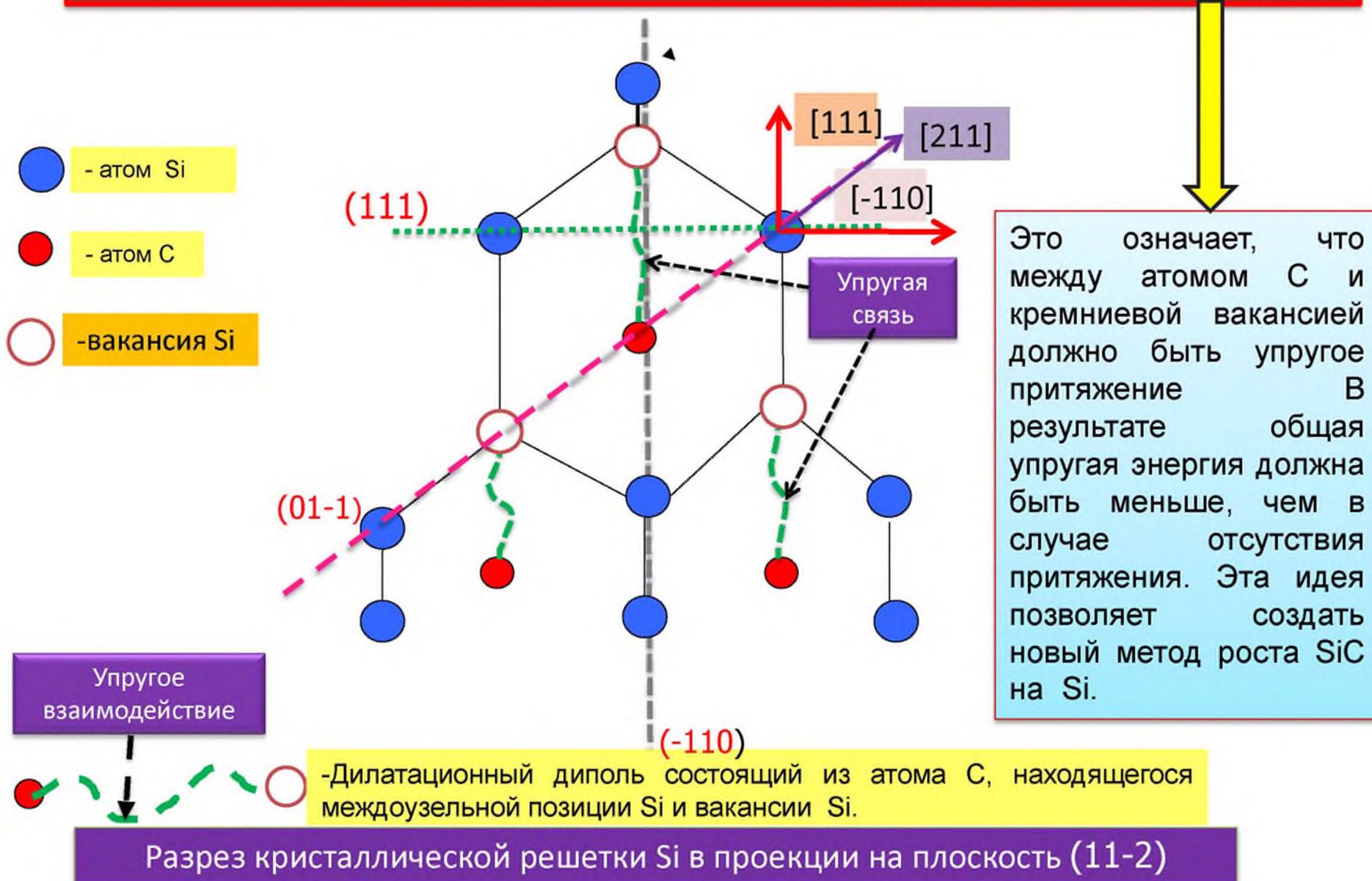
Разрез кристаллической решетки Si в проекции на плоскость (11-2)

9. Итак, нужно удалить часть атомов Si из решетки Si, а на их место поставить атомы C.

Как это сделать не разрушив кристаллическую ячейку Si?



10. Имеется только один путь – образование дилатационных диполей, т.е. образование объектов в которых атомы С в междуузельной позиции и вакансии V_{Si} взаимодействуют друг с другом посредством упругой энергии.



11. Точечные дефекты в кристаллах упруго взаимодействуют друг с другом! (Большой вклад внес Р.С. Телятник)

Энергия упругого взаимодействия точечных дефектов в кубических кристаллах.

$$E_{int} = \frac{15K^2 c_{44} \Omega^I \Omega^{II} \eta}{8\pi(c_{12} + 2c_{44})^2 r^3} [\cos_x^4 + \cos_y^4 + \cos_z^4 - \frac{3}{5}]$$

$\cos x_i = x_i / r$ направляющие косинусы кристаллографических координат

$K = (c_{11} + 2c_{12}) / 3$ - модуль всестороннего сжатия

$$\Omega^{1,2} = \frac{(3K^{Si} + 4\mu^{Si})K^d}{(3K^d + 4\mu^{Si})K^{Si}} (V^d - V^{Si}),$$

$\eta = \frac{(c_{11} - c_{12} - 2c_{44})}{c_{44}}$ - параметр анизотропии кристалла.

$$\Omega^C \approx 0,29V^{Si}$$

$c_{11}^0 = \lambda + 2\mu$ λ, μ - коэффициенты Ламэ

$$c_{11} = 1,66 \cdot 10^{11} Nm^{-2}$$

$$\Omega^V \approx -0,68V^{Si}$$

Для кристалла Si

$$c_{12} = 0,633 \cdot 10^{11} Nm^{-2}$$

$$\Gamma = (\cos_x^4 + \cos_y^4 + \cos_z^4 - 3/5)$$

$$c_{44} = 0,796 \cdot 10^{11} Nm^{-2}$$

$$\eta \approx -0,71$$

(100) $\Gamma = 0,4$ (110) $\Gamma = -0,1$

(100)

(111)

(111) $\Gamma = -0,27$

$$E_{int} \approx 1,3eV$$

$$E_{int} \approx -0,3eV$$

$$E_{int} \approx -0,84eV$$

Зависимость скорости химической реакции от расположения упругих нанодиполей. Образование активационного комплекса.

$$k_{SiC} = \text{const} \exp(-(ΔG_{SiC} + W(\cos(\varphi(x, y, z))))/k_B T))$$

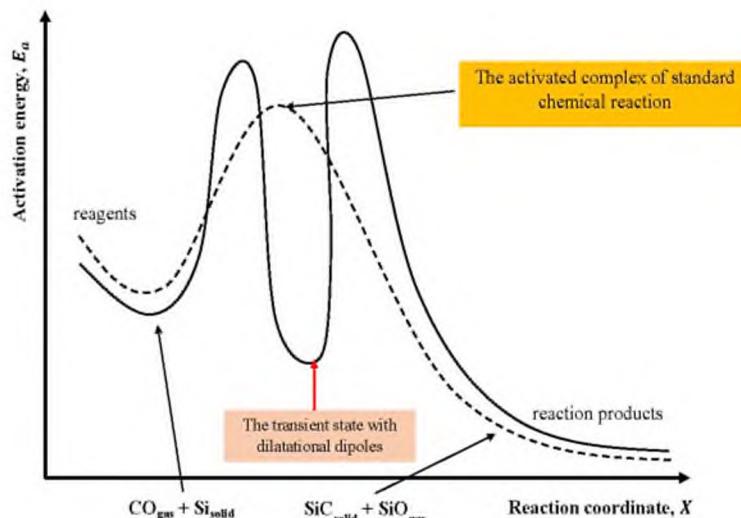
$$W(\cos(\varphi(x, y, z))) = E_C + E_v + E_{int}(\cos(\varphi(x, y, z))),$$

$$E_{C,v} = \frac{2\mu^{Si} K^d}{(3K^d + 4\mu^{Si})} \frac{(V^d - V^{Si})^2}{(3V^{Si})},$$

$$W(\cos(\varphi(1, 0, 0))) = 1,86 eV$$

$$W(\cos(\varphi(1, 1, 0))) = 0,26 eV$$

$$W(\cos(\varphi(1, 1, 1))) = 0 eV$$



При

$$T = 1200^\circ C$$

$$\text{const} = \frac{k_B T}{h}$$

$$k_{SiC} = \frac{k_B T}{h} \cdot e^{-\frac{\Delta G_{SiC} + W(\cos(\varphi(x, y, z)))}{k_B T}}$$

$$k_{SiC(111)} = \frac{k_B T}{h} \cdot e^{-\frac{\Delta G_{SiC}}{k_B T}}$$

$$k_{SiC(110)} = 10^{-1} \cdot \frac{k_B T}{h} \cdot e^{-\frac{\Delta G_{SiC}}{k_B T}}$$

$$k_{SiC(100)} = 10^{-7} \cdot \frac{k_B T}{h} \cdot e^{-\frac{\Delta G_{SiC}}{k_B T}}$$

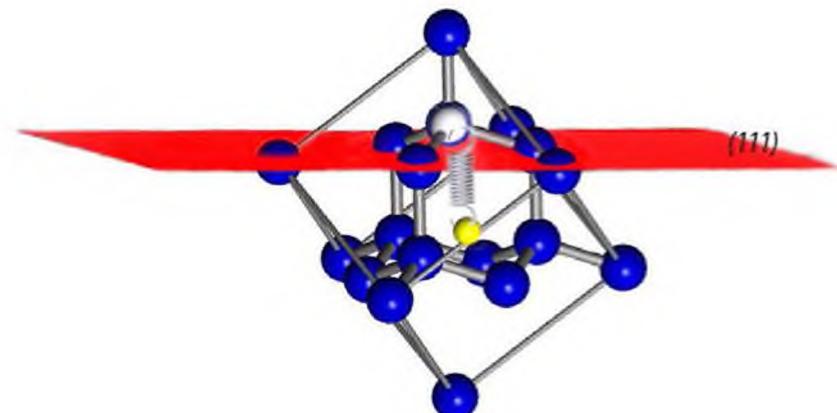
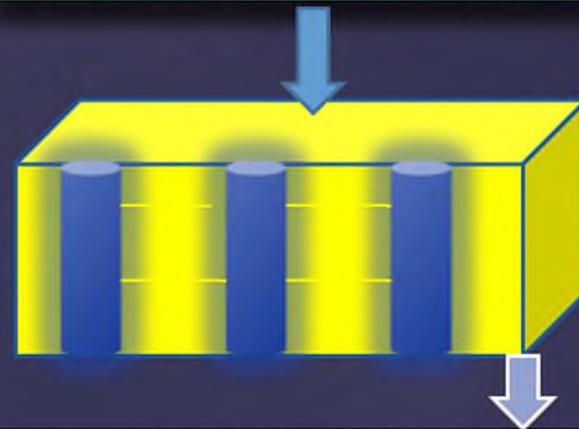
$$\Delta G_{SiC} \approx 0,7 eV$$

h – постоянная

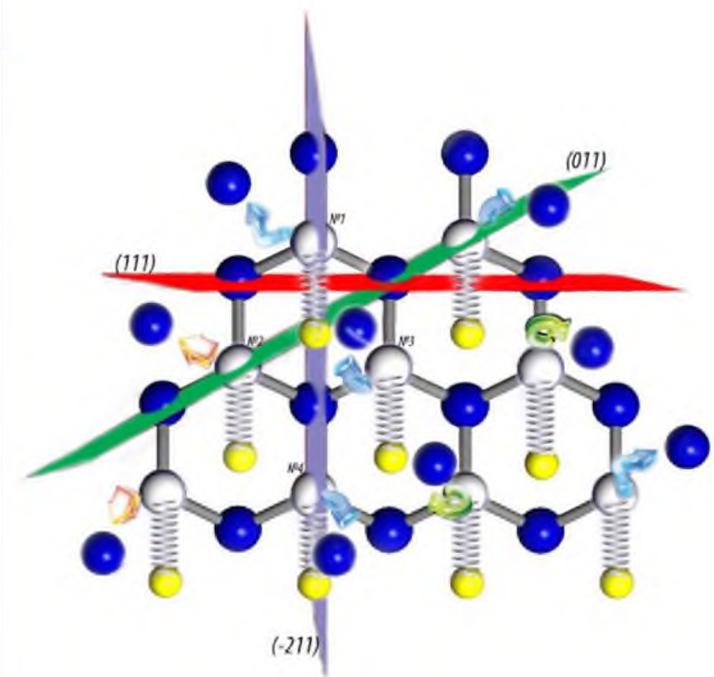
Планка

13. Основная идея нового способа получения высокосовершенных ненапряженных, бездефектных полупроводниковых пленок

Создание молекулярных затравок



Дилатационные диполи - новый механизм релаксации упругой энергии при гетероэпитаксии монокристаллических пленок



14. Для замены атомов кремния атомами углерода и создания упругих диполей мы должны использовать только следующую химическую реакцию



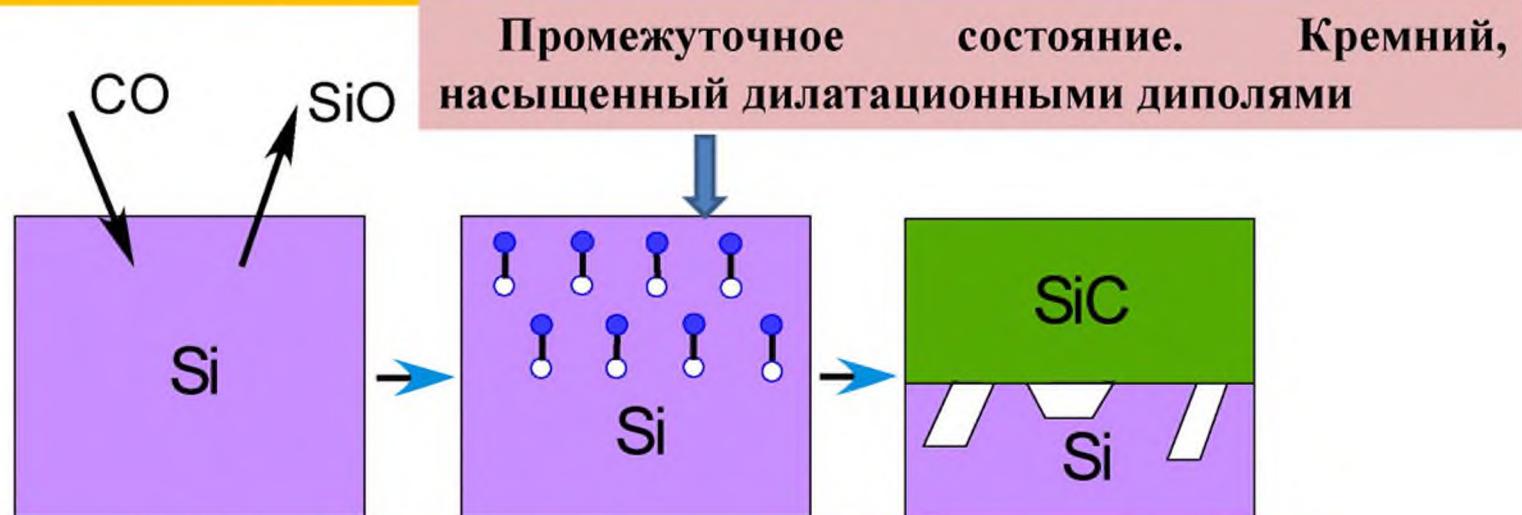
Почему?



Потому, что данная реакция протекает в несколько стадий.

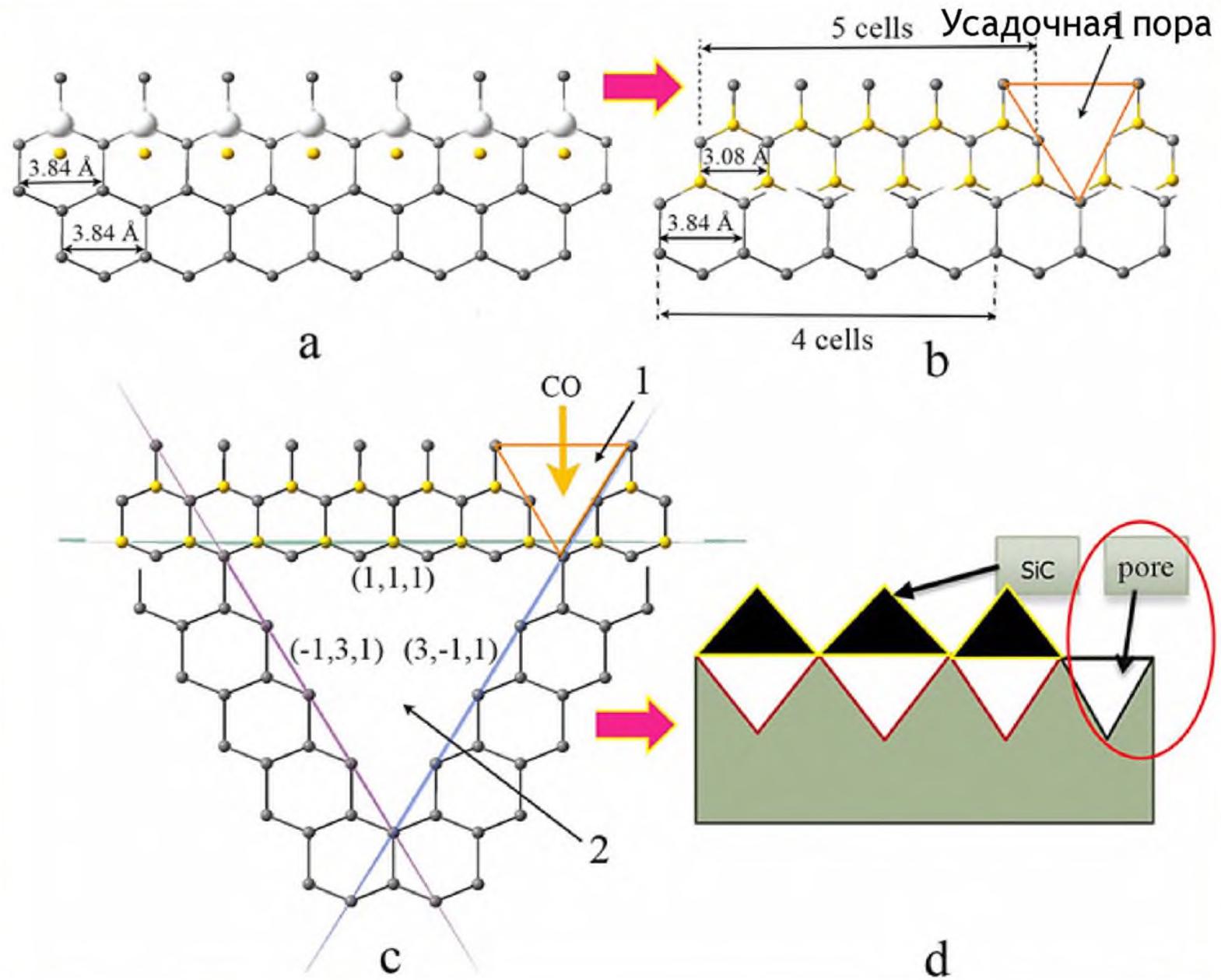
Последовательные стадии реакции(1)

1. $\text{Si}(\text{sol}) + \text{CO}(\text{gas}) = \text{C}(\text{sol}) + \text{SiO}(\text{gas}) \uparrow + V_{\text{Si}} \quad (2)$
2. $\text{Si}(\text{sol}) + \text{C}(\text{sol}) + V_{\text{Si}} = \text{SiC}(\text{sol}) \quad (3)$

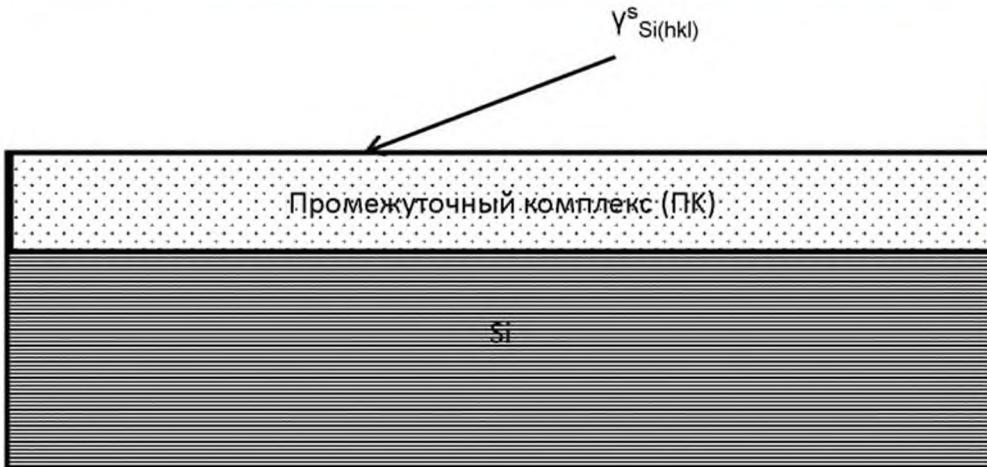


Таким образом, чтобы уменьшить упругую энергию, необходимо формировать пары точечных дефектов. Сильное упругое взаимодействие между ними обеспечивает эффективный механизм релаксации упругой энергии.

15. Фазовый переход типа смещения с образованием усадочной поры



16. Схема образования зародыша SiC, зародыша вакансационной поры и зародыша усадочной поры. Межфазные энергии .



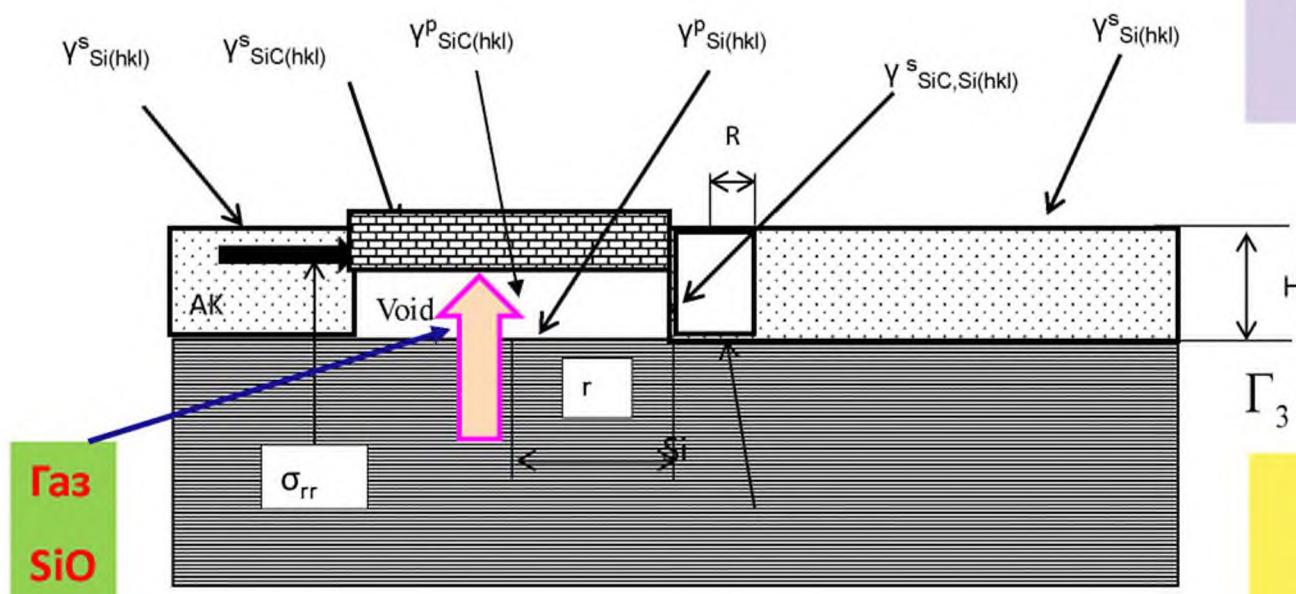
$$\Gamma_1 = (\gamma_{SiC(hkl)}^S + \gamma_{SiC(hkl)}^P - \gamma_{Si(hkl)}^S + \gamma_{Si(hkl)}^P)$$

Суммарная поверхностная энергия верхних и нижних граней дискообразных зародыша и поры.

$$\Gamma_2 = (\gamma_{SiC,Si} + \gamma_{Si(hkl)}^P - a(\gamma_{SiC} - \gamma_{SiC,Si})) / (2\pi r)$$

$$\Gamma_2 \simeq (\gamma_{SiC,Si} + \gamma_{Si(hkl)}^P)$$

Суммарная поверхностная энергия зародыша, и ямки травления, граничащих с усадочной порой.

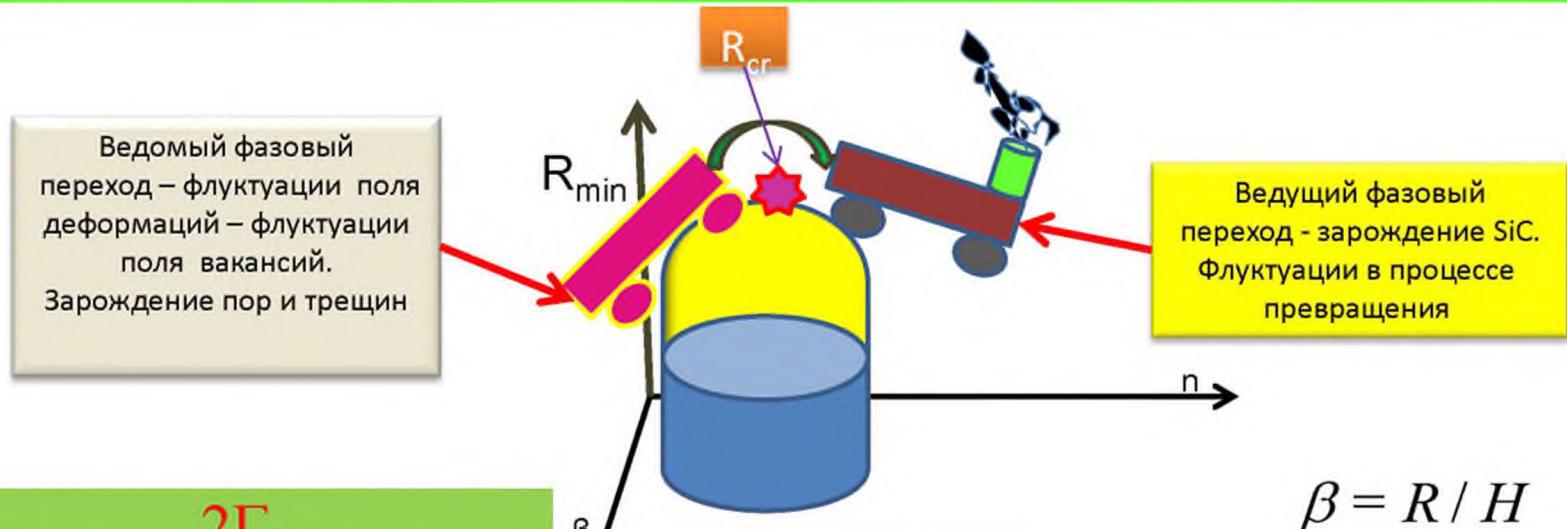


$$\Gamma_3 = 1/2(\gamma_{SiC} + \gamma_{Si(hkl)}^P - 2\gamma_{SiC,Si} / \pi)$$

Описывает прирост поверхностной энергии в системе при образовании усадочной поры.

17. Свободная энергия образования зародыша SiC поры из вакансий Si и усадочной поры. Ведомый и ведущий фазовые переходы

$$\Delta F_{cr}(\cos(\varphi(x, y, z))) = \frac{\Gamma_1 \Gamma_2 (4\pi \Gamma_2 - \Gamma_3 \varepsilon)}{[\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]^2} + \frac{\pi \Gamma_2 \Gamma_3^2}{\mu^{Si} \varepsilon [\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]}.$$



$$r_{cr} = \frac{2\Gamma_2}{[\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]};$$

$$H_{cr} = \frac{2\Gamma_1}{[\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]};$$

$$\zeta = k_B T (1/V^{Si} + 1/V^{SiC}) \ln \frac{p_{CO} K^{eq}}{p_{SiO}}$$

$$\Lambda(\cos(\varphi(x, y, z))) = W(\cos(\varphi(x, y, z))) N_d + Y_{SiC}$$

$$\beta = R / H$$

$$R_{cr} = \frac{\Gamma_3}{2\mu^{Si} \varepsilon};$$

$$\beta_{cr} = \frac{[(\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z))))] \Gamma_3}{4\mu^{Si} \varepsilon \Gamma_1},$$

$$\alpha_{cr} = \frac{\Gamma_2}{\Gamma_1};$$

$$\alpha = r / H$$

$$Y_{SiC} = \frac{\mu^{Si} K^{SiC}}{2(K^{SiC} + \mu^{Si})} \varepsilon^2$$

Критический радиус зародыши SiC

$$r_{cr} = \frac{2\Gamma_2}{[\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]};$$

Критический радиус усадочной поры

$$R_{cr} = \frac{\Gamma_3}{2\mu^{Si}\varepsilon};$$

Критическая толщина пленки SiC

$$H_{cr} = \frac{2\Gamma_1}{[\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z)))]};$$

19. Необходимые условия
для образования
зародыша SiC

$$\ln \frac{p_{CO} K^{eq}}{p_{SiO}} > \frac{\left[W(\cos(\varphi(x, y, z)) N_d + \frac{\mu^{Si} K^{SiC}}{2(K^{SiC} + \mu^{Si})} \varepsilon^2 \right] V^{SiC} V^{Si}}{(V^{SiC} + V^{Si}) k_B T}.$$

Время начала образования
слоя SiC

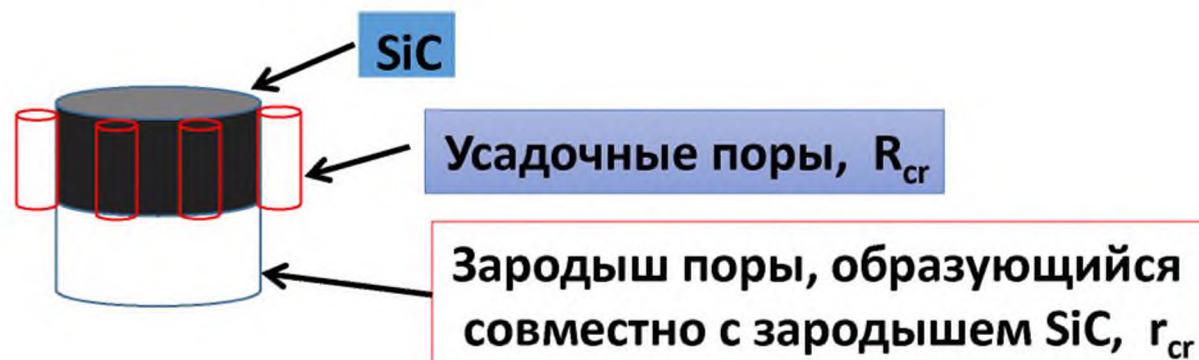
$$t_{cr} = \frac{4\Gamma_1 N_0 k_B T}{3\alpha_2 p_{CO} K^{eq} \xi [\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z))]},$$

$$K^{eq} = 30 \quad \alpha_2 \approx 10^{-4} m/s; \quad \alpha_2 \sim h/\tau \quad h - \text{толщина слоя реакции},$$

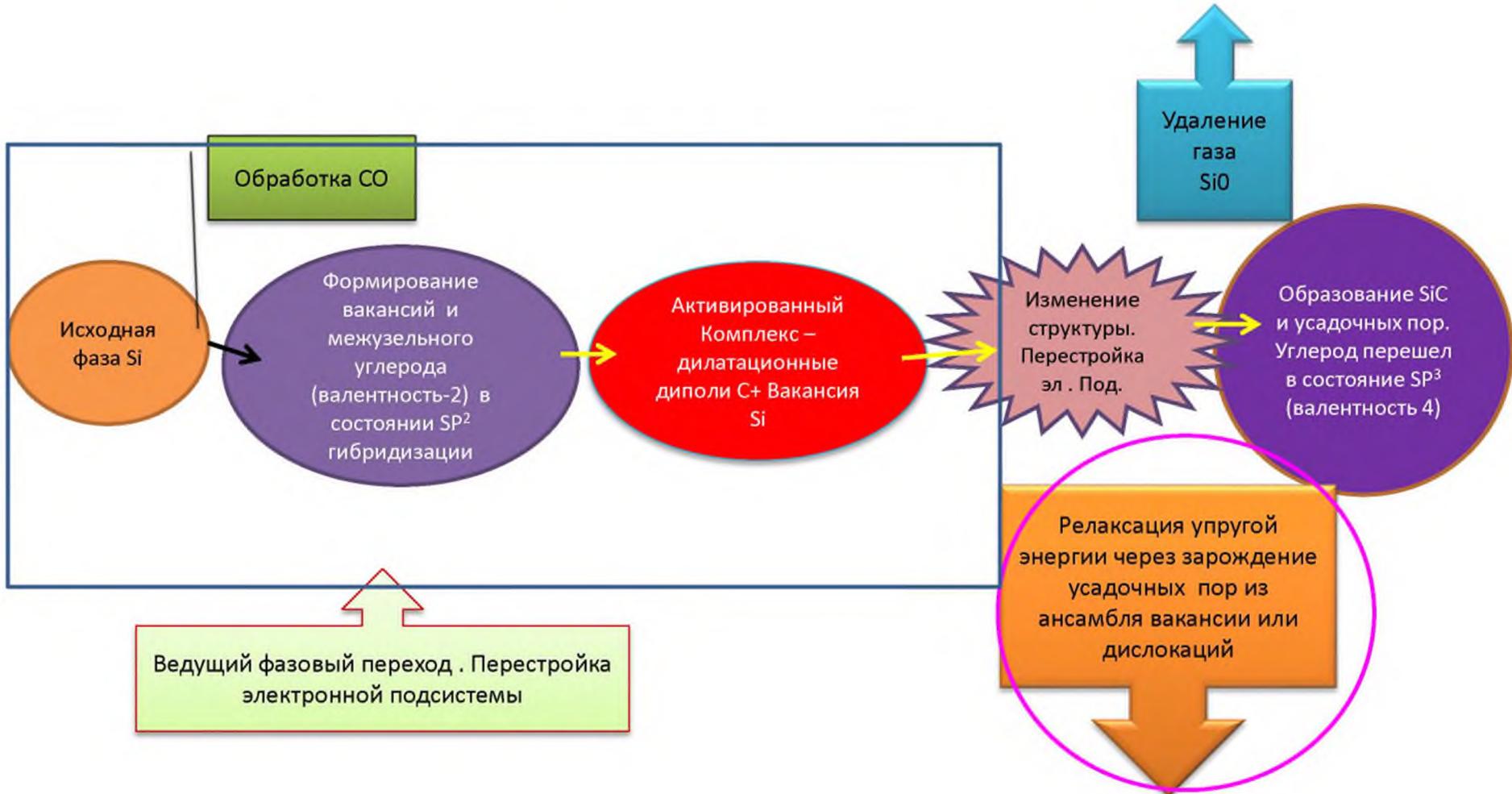
τ --- характерное время жизни молекул SiO в зоне реакции

Соотношения между критическими размерами зародыша и усадочной поры

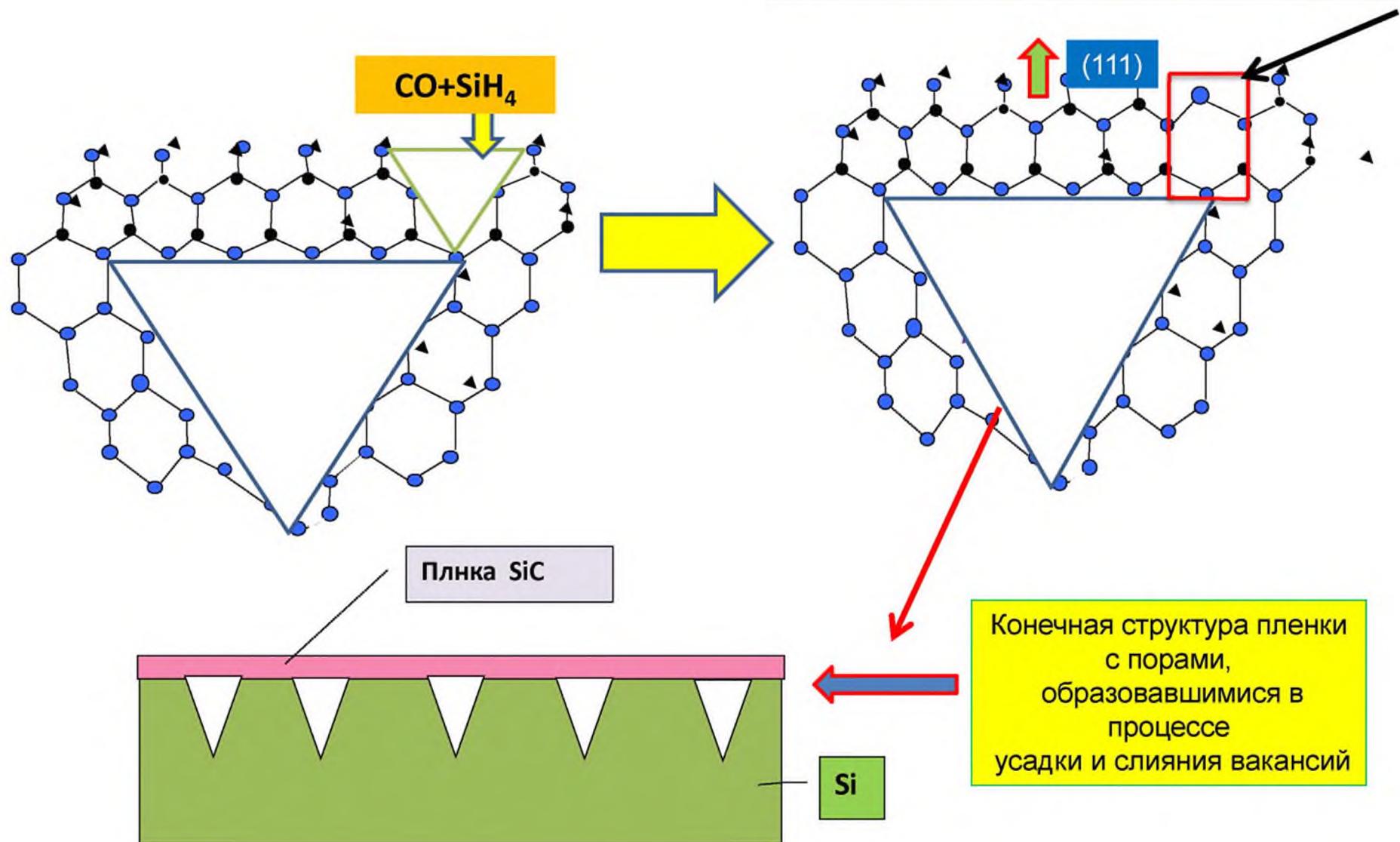
$$R_{cr} / r_{cr} = \Gamma_3 [\zeta - \Lambda(\cos(\varphi(x, y, z))] / 4\Gamma_2 \mu^{Si} \varepsilon < 1 / 40$$



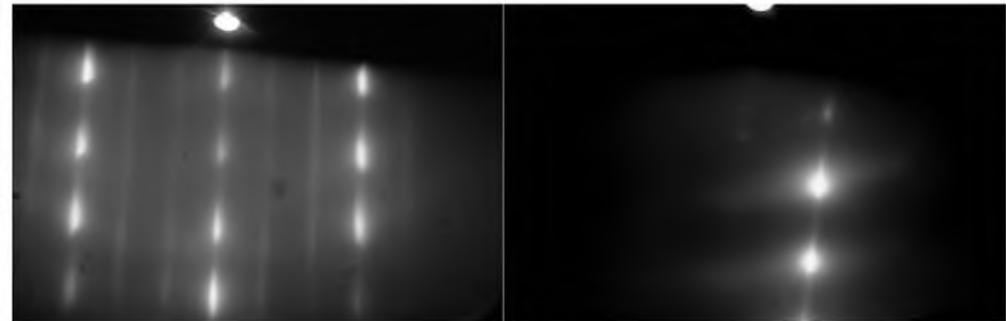
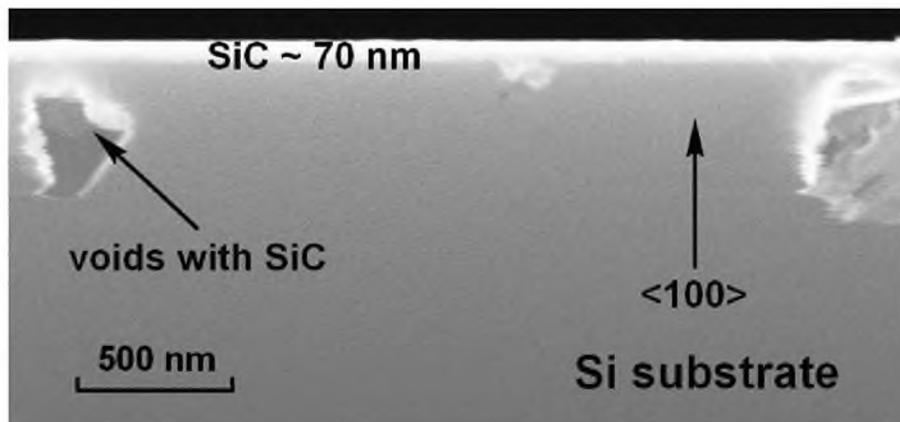
20. Образование SiC в Si



21. Рост бездефектных слоев карбида кремния на кремнии

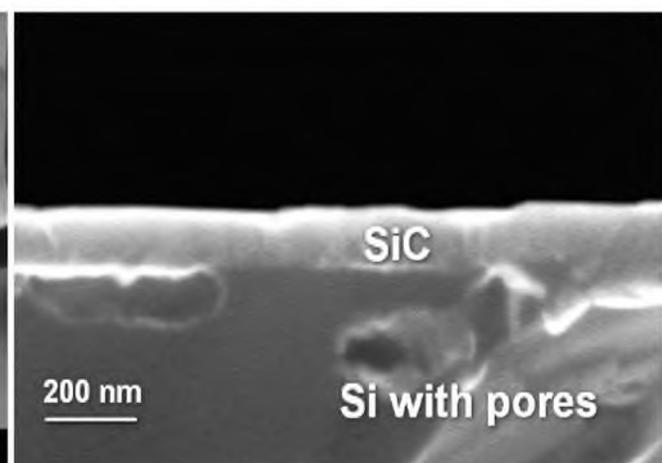
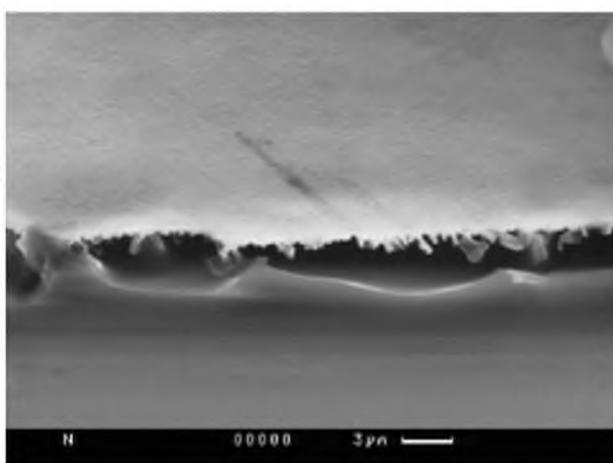
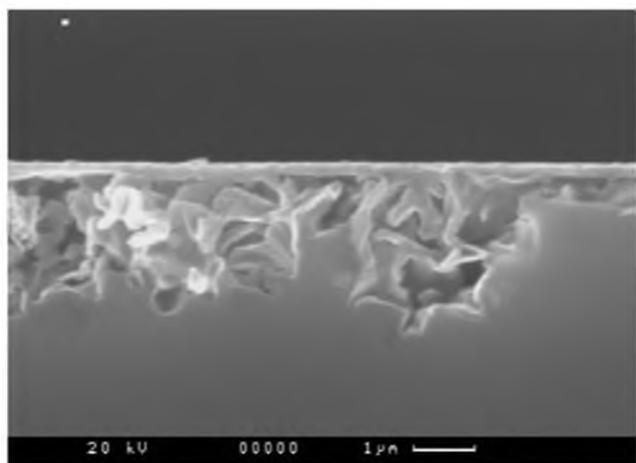


22. Экспериментальные исследования роста карбида кремния на кремнии.
Кристаллическая структура пленок SiC на Si.

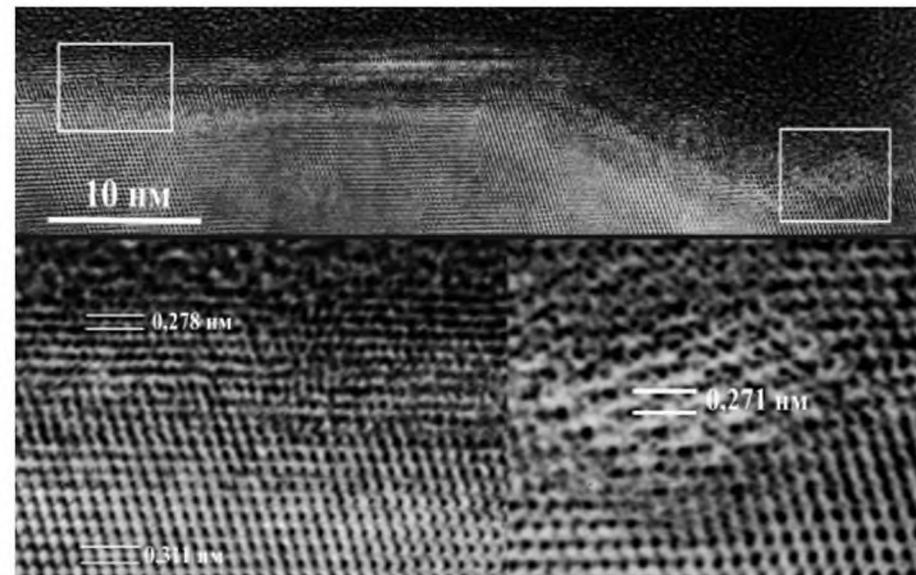
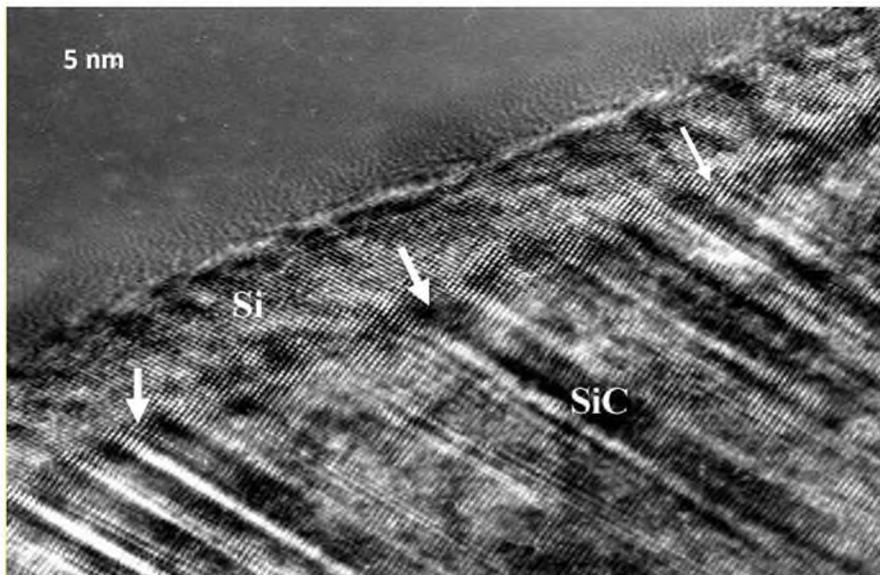


Структура похожая на мост на сваях

Типичные электронограммы пленки
SiC на Si



23. Электронная микроскопия высокого разрешения



Поперечный срез гетеросистемы SiC/Si . Горизонтальная линия – масштаб: 5 нм. Стрелками указаны граница кремния с карбидом кремния. В SiC имеются политипы, которые доходят до границы SiC/Si , поскольку это изображение поперечного среза. Граница неровная. Это и понятно, поскольку образовавшиеся неровности из-за сублимации кремния при высокой температуре застали карбидом кремния, т.е. шло встраивание атомов углерода в решетку кремния. Мне представляется, что здесь мы имеем уникальный случай, когда видно зарождение монокристаллической эпитаксиальной пленки, а не зеренной структуры. Проф. Л.М. Сорокин

24. Отличительные признаки различия в механизмах роста SiC на Si методом согласованного замещения атомов от стандартного механизма роста SiC на Si методом CVD

Метод замещения атомов

1. Слой SiC растет внутри приповерхностного слоя подложки Si, за счёт взаимодействия атомов подложки Si с газом CO.

2. Реакция образования SiC протекает в две стадии.

2.1. Первая стадия---образование дилатационных диполей (C---в межузельной позиции и вакансии Si) вдоль направления $<111>$ SiC.

2.2. Вторая стадия образование зародыша SiC путем его отслоения от матрицы Si, его усадка и образование сплошного слоя SiC и пор под ним.

3. Дислокаций несоответствия не образуется, поскольку каждая 5-я кристаллическая ячейка SiC с большой степенью точности совпадет с каждой 4-ой кристаллической ячейкой Si. Остальные связи разрываются. Реализуется механизм согласованного замещения атомов.

Классический метод CVD

1. Слой SiC растет за счёт взаимодействия, поступающих из внешней среды газов на поверхность Si.

2. Реакция образования SiC протекает в одну стадию на поверхности Si.

3. В процессе поступления на поверхность Si, газов происходит химическая реакция, в результате которой образуются зародыши SiC. Между ними и подложкой возникают упругие деформации, приводящие к возникновению дислокаций. Частично Si подложки, поступает на ее поверхность и соединяется с одним из прекурсоров, но диполи при этом не образуются. Иногда образуется только поры, которые только “портят” слой SiC. Реализуется обычный механизм зародышеобразования из многокомпонентного пара.

25. Отличительные, основные, особенности структуры SiC на Si, выращенного методом согласованного замещения атомов от SiC на Si, выращенного стандартным методом CVD

Метод замещения атомов

1. Поскольку диполи направлены вдоль направления $<111>$, то при росте на SiC на любой грани Si, например, (110), (100), (210) и т.п. всегда, образуются грани (111)!

2. SiC, либо стехиометрический, либо насыщен вакансиями Si.

3. Содержит углеродно-вакансационные структуры.

4. В основном образуется кубический 3C-SiC политип, но возможно получить политипы (4H-SiC, 6H-SiC, 15R-SiC), в частности, образуется редкий политип 2H-SiC; это плитип на сегодняшний день образуется только у нас.

5. Упругие деформации либо полностью отсутствуют, либо возникают сжимающие упругие напряжения; подложка становится слегка выпуклой.

6. В процессе синтеза, часть атомов Si на гранях (111) и (110) на межфазной границе, подвергаются кратковременному (порядка 10^{-4} сек) сжатию (удару) с давлением порядка 200 GPa (около 2мл. атмосфер), возникающему в процессе усадки материала.

Классический метод CVD

1. Ориентация грани задается ориентацией грани Si!

2. SiC насыщен вакансиям углерода.

3. Углеродно-вакансационные структуры отсутствуют.

4. Образуется только кубический политип 3C-SiC.

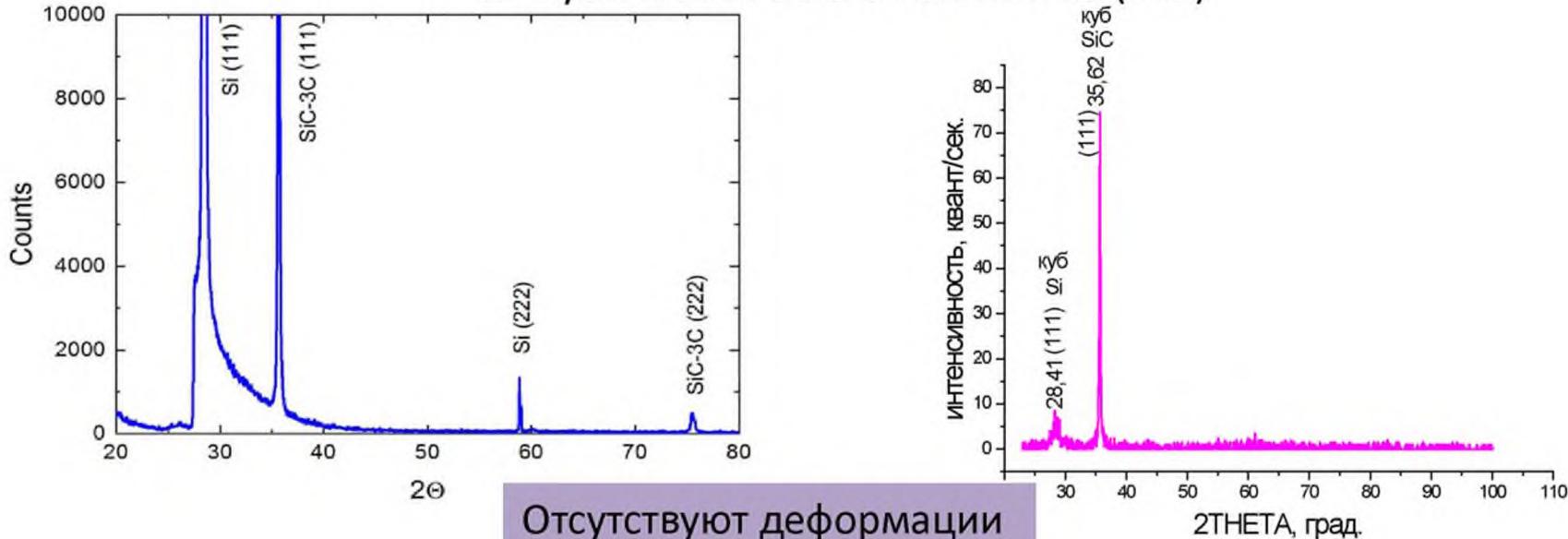
5. Возникают растягивающие упругие напряжения; подложка становится вогнутой.

6. На границе возникают обычные упругие стационарные упругие напряжения.

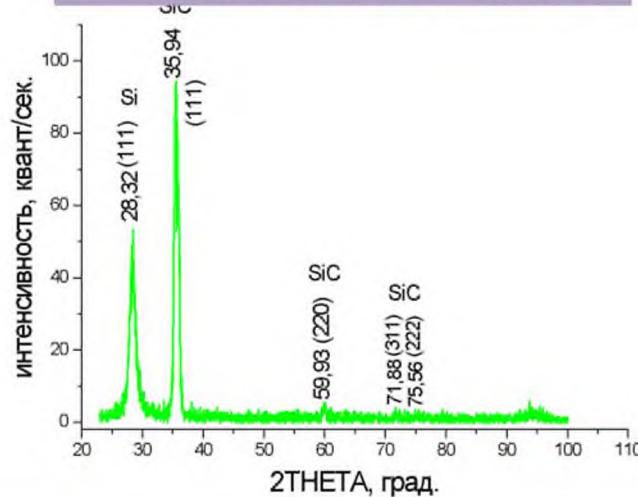
26. Отличительные, уникальные свойства SiC на Si, выращенного методом согласованного замещения атомов. Рентгенография (XRD)

Метод замещения атомов

1. Кубический 3C-SiC политип на (111)



Отсутствуют деформации

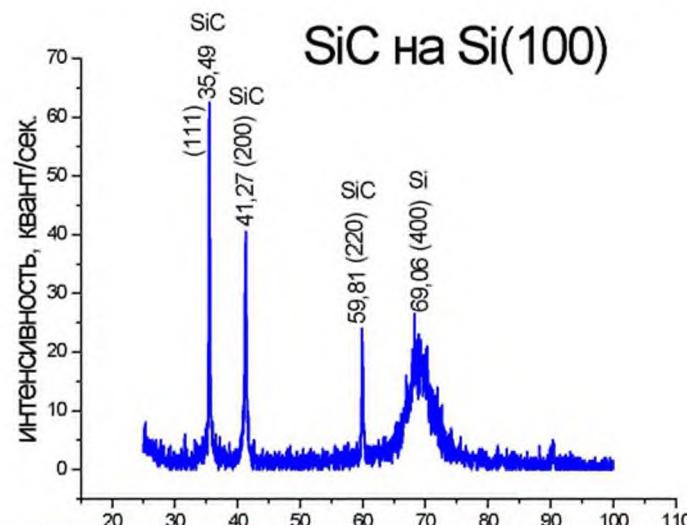


Или присутствуют деформации сжатия

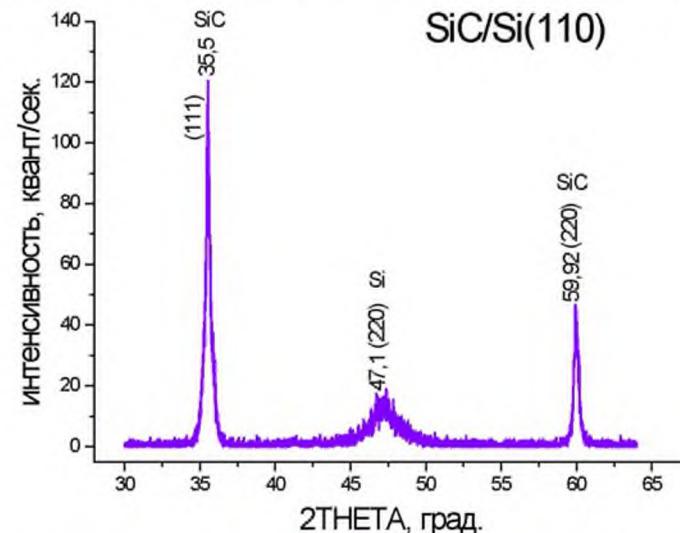
27. Отличительные, уникальные свойства SiC на Si, выращенного методом согласованного замещения атомов. Рентгенография (XRD)

Метод замещения атомов

1. Кубический 3C-SiC политип на (100)

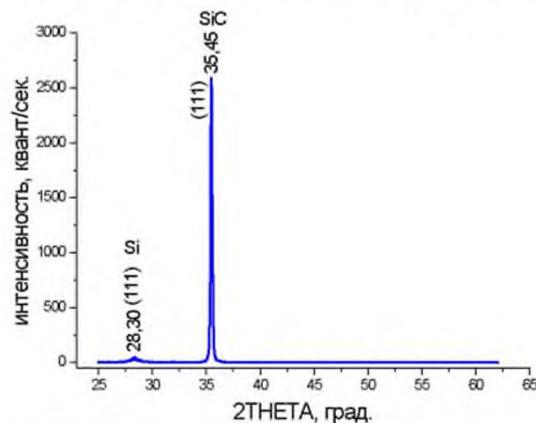


2. Кубический 3C-SiC политип на (110)



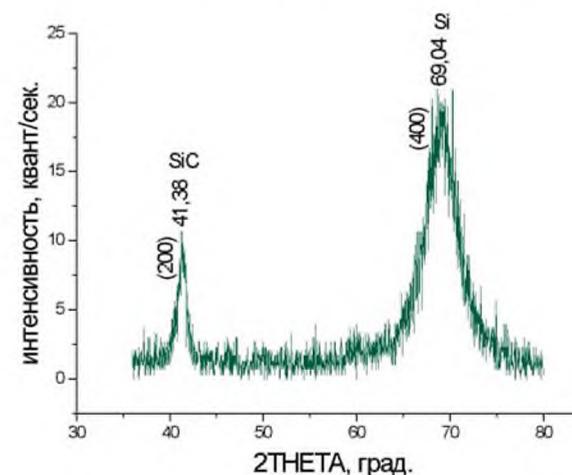
Классический метод CVD. Образцы фирмы Advanced Epi (<https://advancedepi.com.>)

3C-SiC политип на (111)



Деформации растяжения

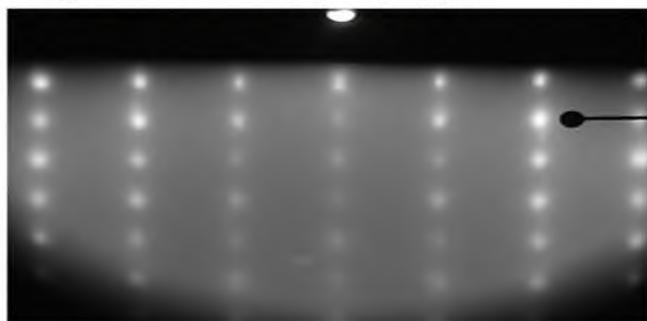
3C-SiC политип на (100)



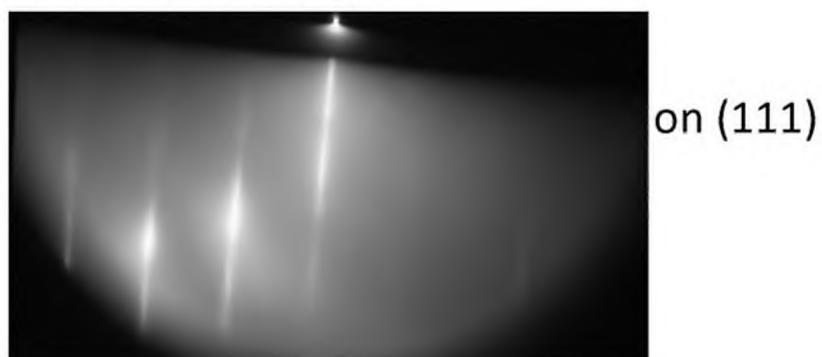
28. В основном образуется кубический полиграфит 3C-SiC, но возможно получение полиграфитов (4H-SiC, 6H-SiC, 15R-SiC), в частности, образуется редкий полиграфит 2H-SiC

Atomic substitution method

1. Hexagonal 2H-SiC полиграфит



2. Cubic 3C-SiC полиграфит

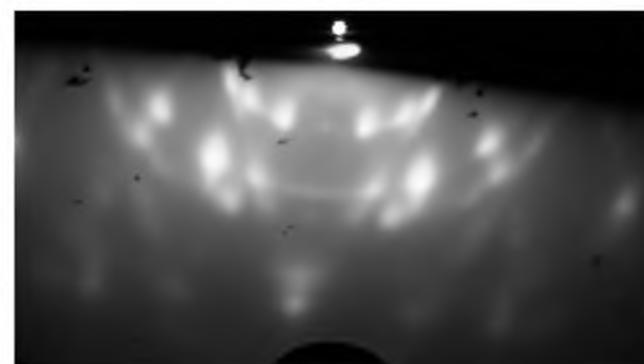


The classic CVD method. Samples of the firm Advanced Epi
(<https://advancedepi.com.>)

1. Only cubic 3C-SiC полиграфит is formed



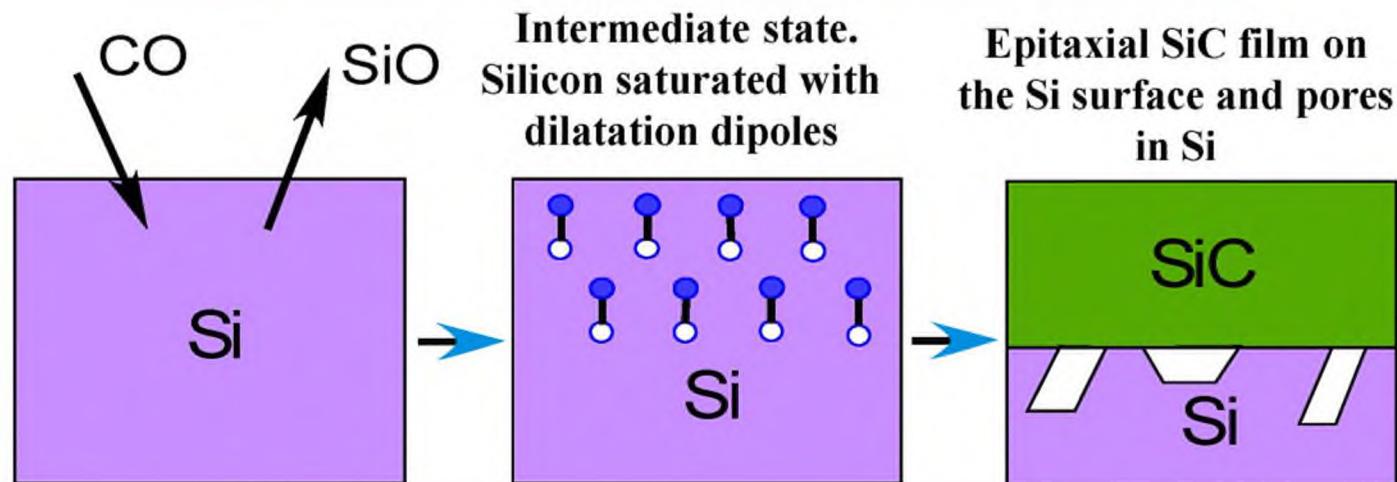
on (111)



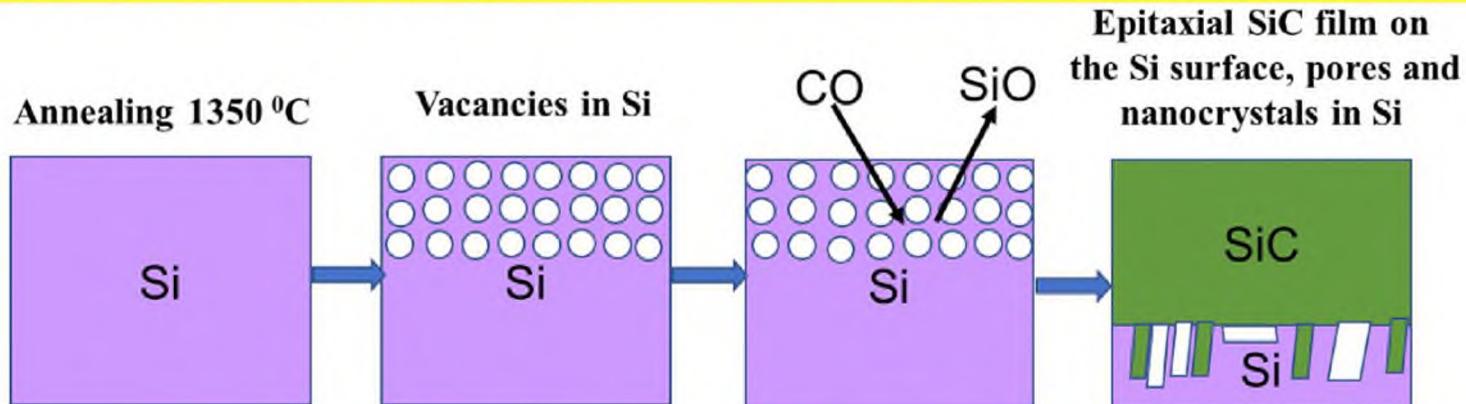
on (100)

29. Развитие метода самосогласованного замещения атомов - открылась возможность полной трансформации пластины Si-SiC! Разработан новый метод – метод вакационного согласованного замещения атомов (А.С. Гращенко, С.А. Кукушкин, А.В. Осипов, А.В. Редков)

1. Метод согласованного замещения атомов (метод MCSA)

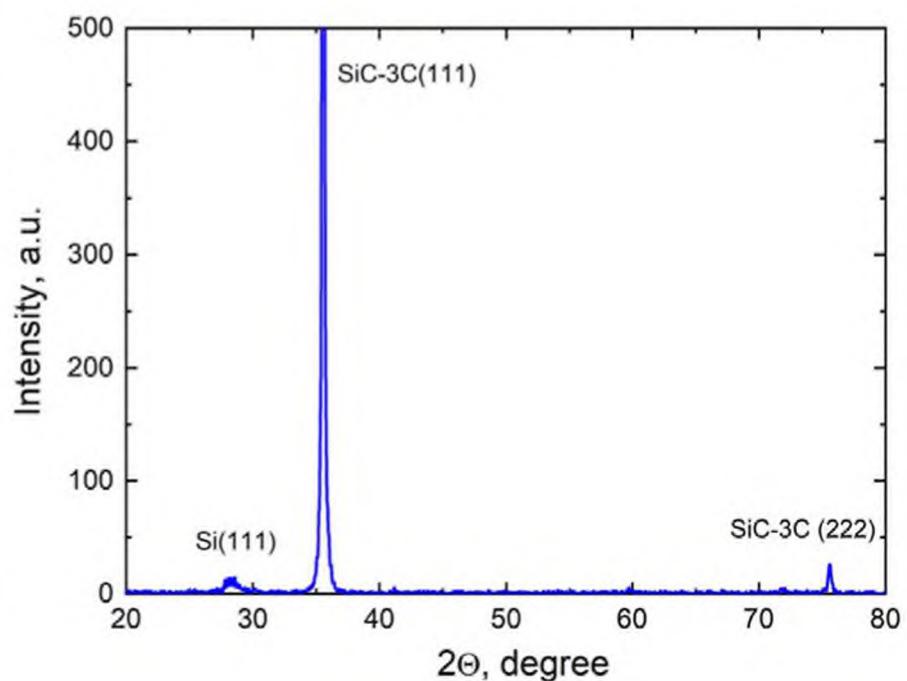
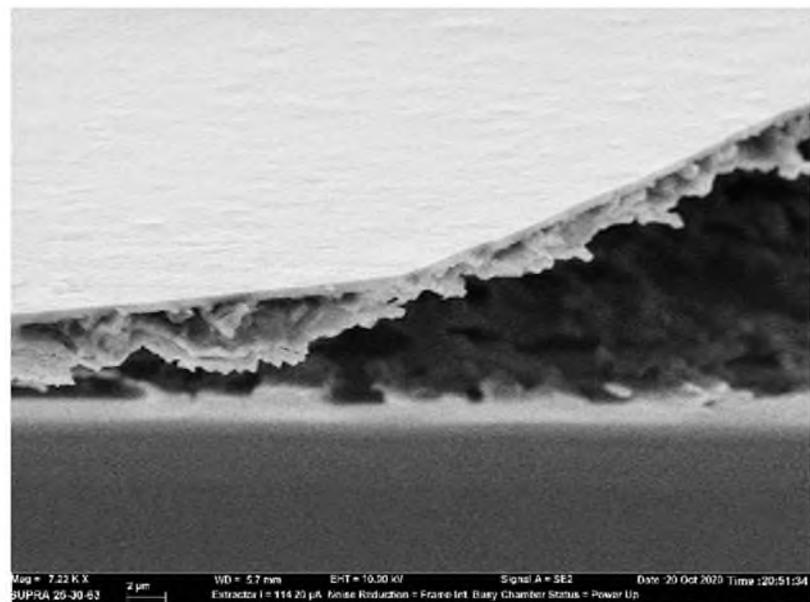
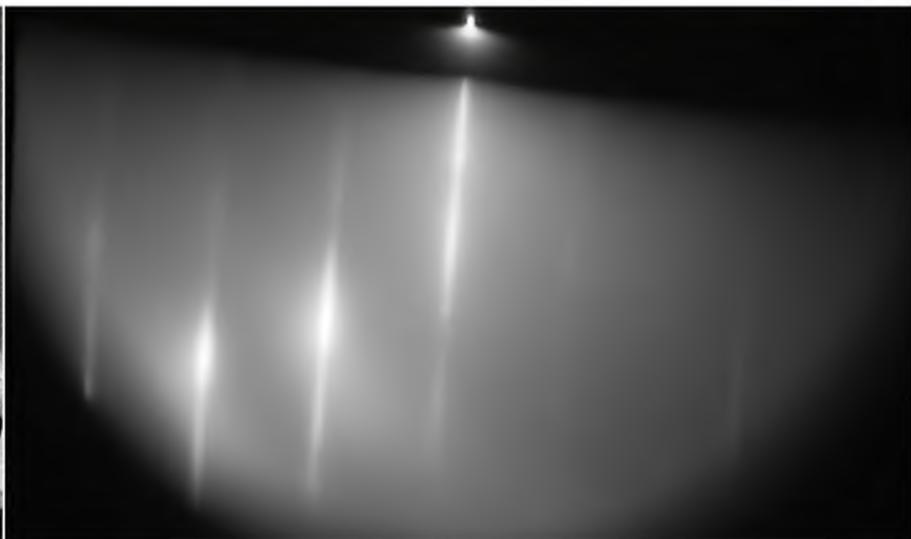
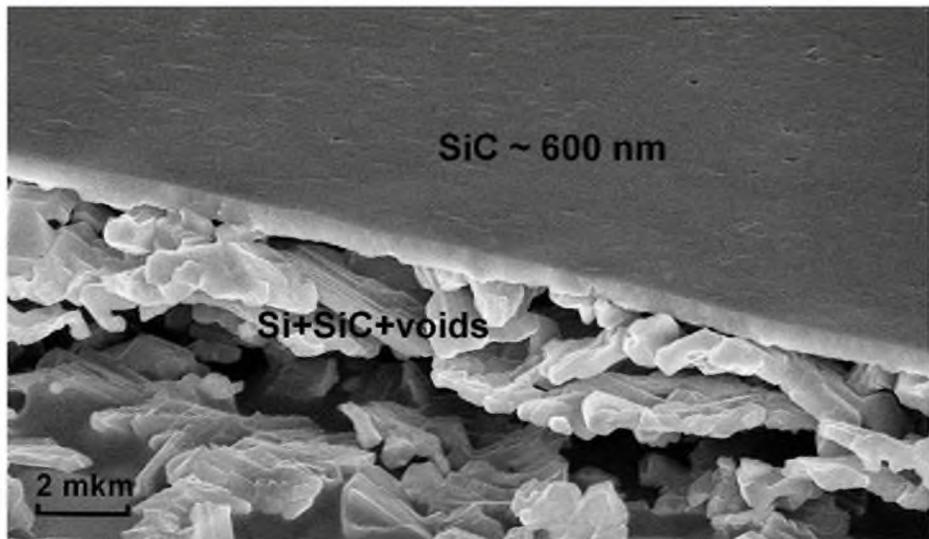


2. Вакансийный метод согласованного замещения атомов (Метод VMCSA)



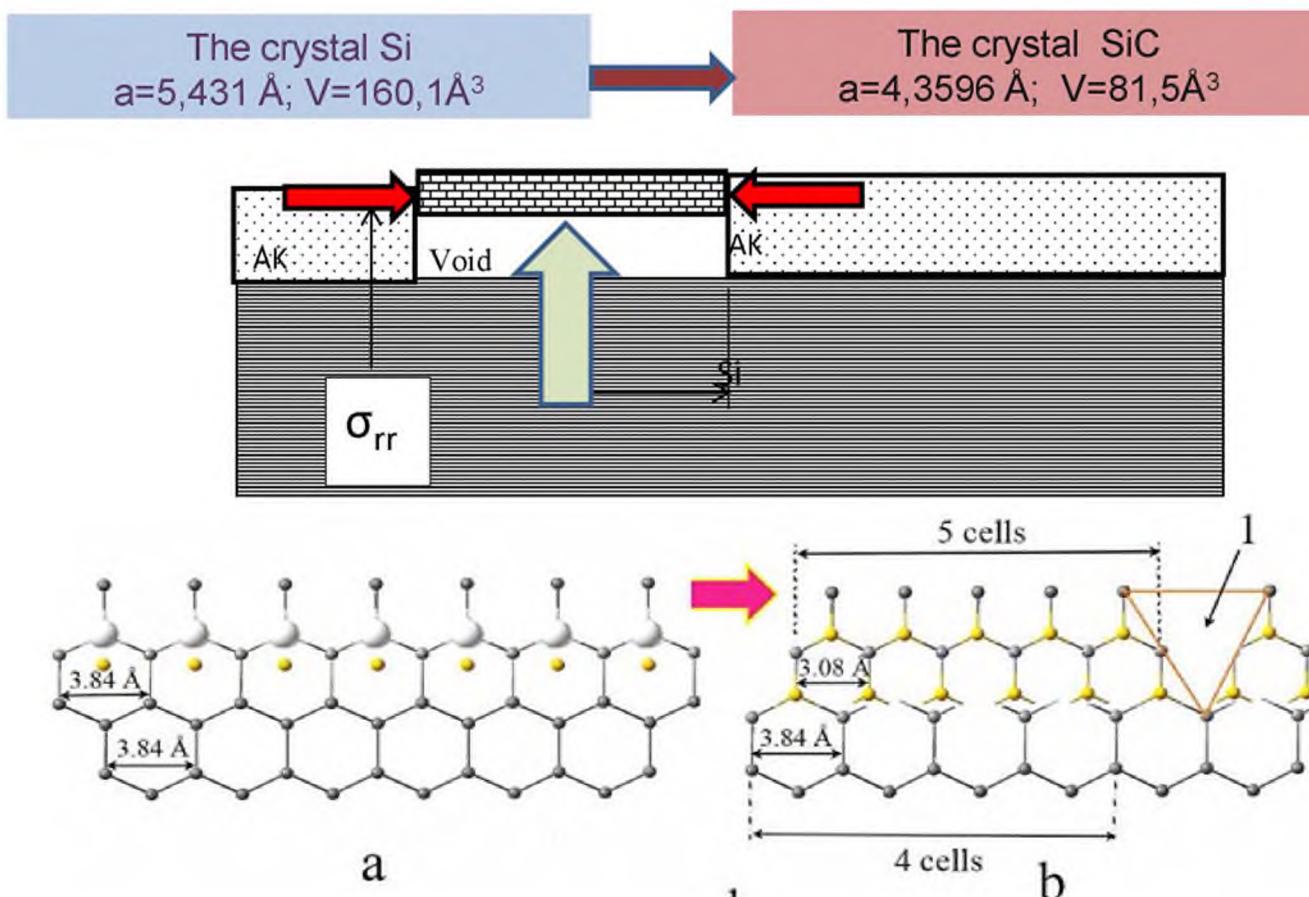
Grashchenko A. S., Kukushkin S. A., Osipov A. V., Redkov A. V. Vacancy growth of monocrystalline SiC from Si by the method of self-consistent substitution of atoms. // *Catalysis Today*. 2022;397–399: 375–378.

30. Метод вакансационного самосогласованного замещения атомов

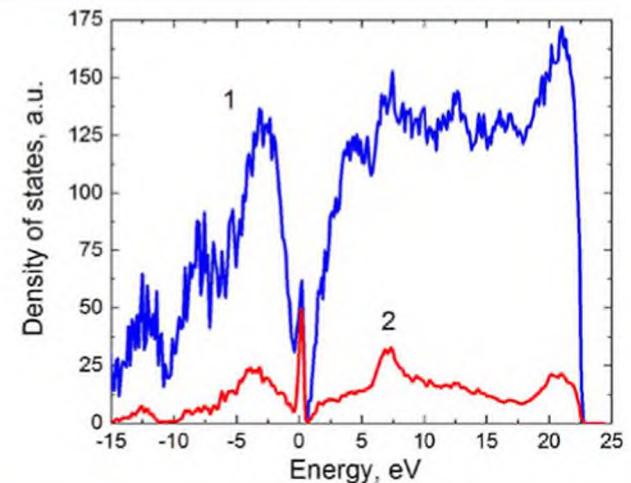
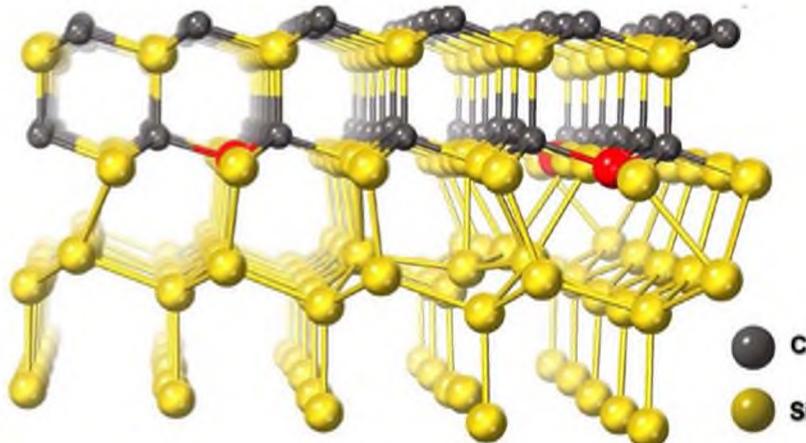


31. Основной особенностью данного метода синтеза карбида кремния, отличающего его от всех других методов является кратковременное гигантское (порядка 150-200 ГПа) сжатие границы раздела SiC-Si

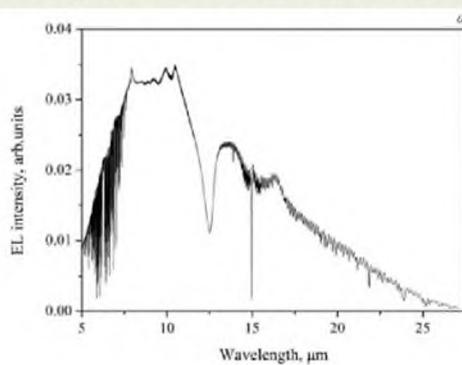
В процессе превращения Si в SiC атомы Si на гранях (111) и (110), на границе раздела подвергаются кратковременному (около 10^{-4} сек) сжатию (удару) с давлением около 150 ГПа (около 1,7 млн. атм), что приводит к усадке материала.



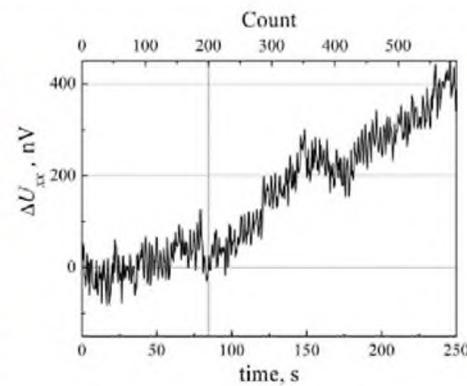
32. На границе раздела 3C-SiC(111)/Si(111) образуется интерфейсный слой с совершенно новыми оптическими и электрическими свойствами. Экспериментально удалось установить, что на межфазной границе раздела 3C-SiC(111) и Si(111) образуются тонкий слой с полуметаллическими свойствами, которые кардинально отличаются от свойств как SiC, так и Si.



В результате возникает электролюминесценция в среднем и дальнем ИК-диапазоне изnanoструктур карбида кремния на кремнии. Спектры электролюминесценции, полученные в терагерцевом частотном диапазоне 3,4 ТГц и 0.12ТГц



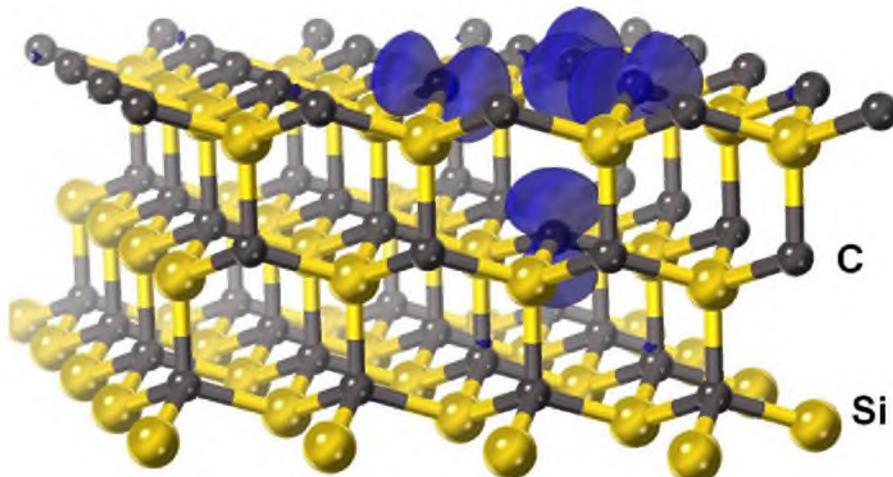
**Спектр
электролюминесцен-
ции образца SiC/Si
в среднем (5мкм -
27мкм (а)) и
в дальнем ИК-
диапазонах (14мкм)**



**Терагерцовое излучение.
Зависимость $\Delta U_{xxxx}(tt)$
детектора на основе SiC при
 $ss=30\text{мм}$. Ступенчатая
особенность 220нВ
отвечает детектированию
частоты 0.15ТГц.**

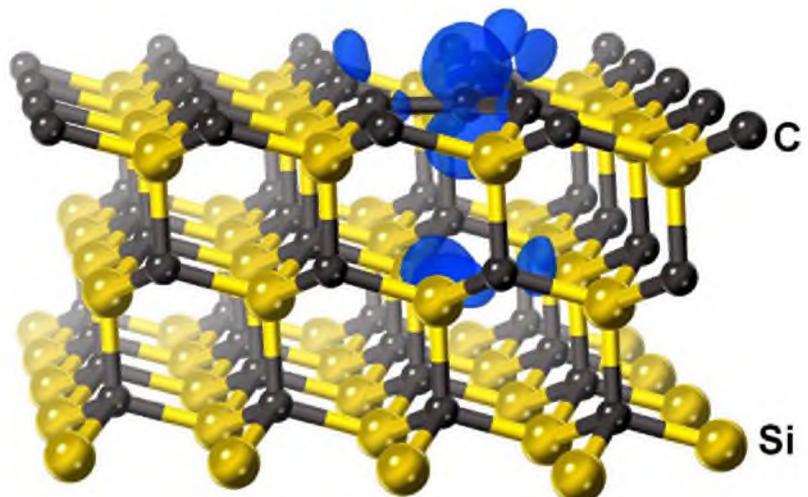
33. Магнитный момент кремниевых вакансий в SiC-3C

кремниевая вакансиа V_{Si} , заряд - e



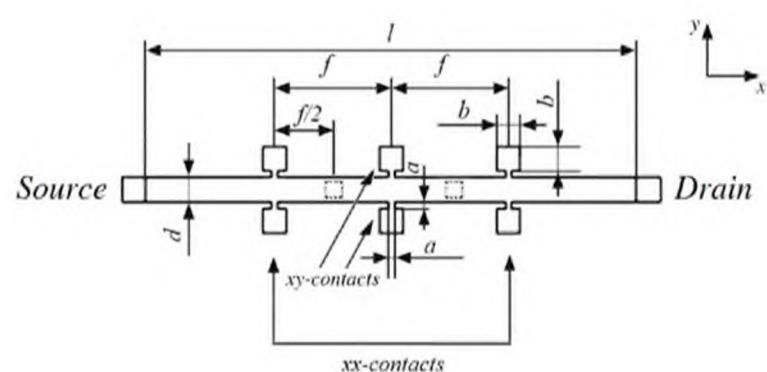
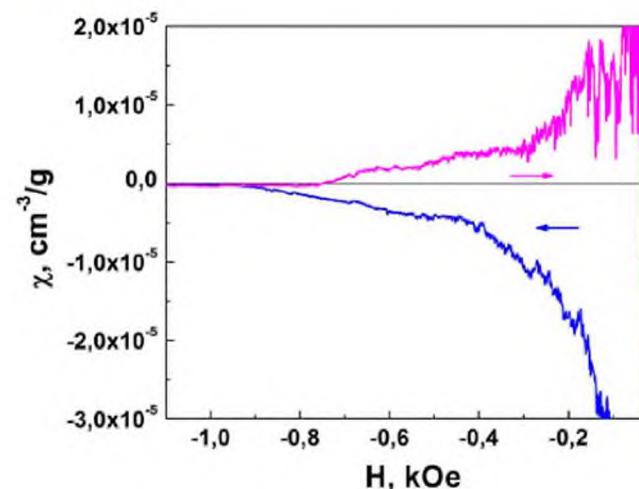
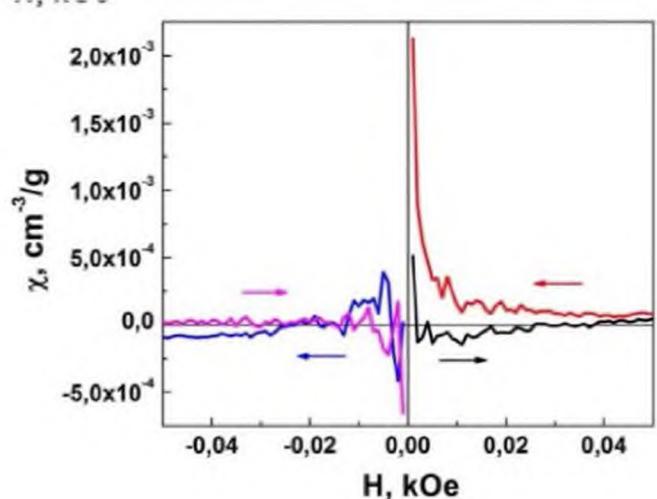
магнитный момент $3\mu_B$,
энергия магнитного поля 0.46 eV

C_4V центр, заряд + e



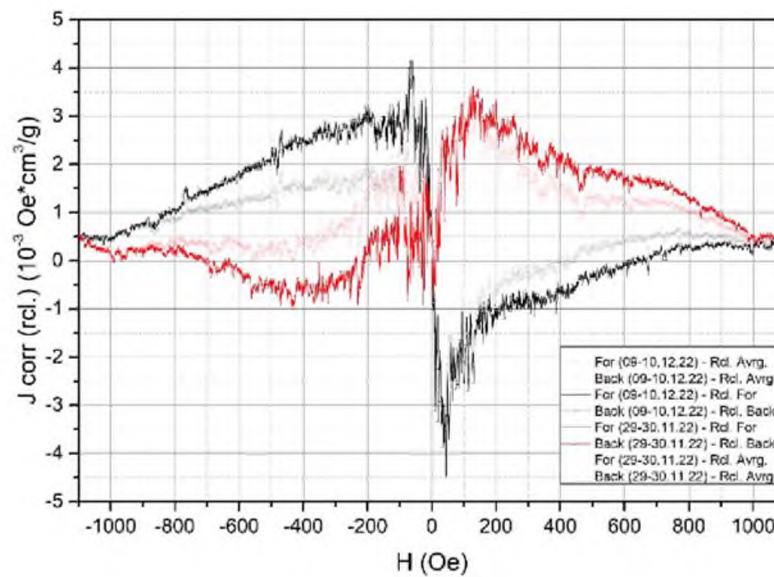
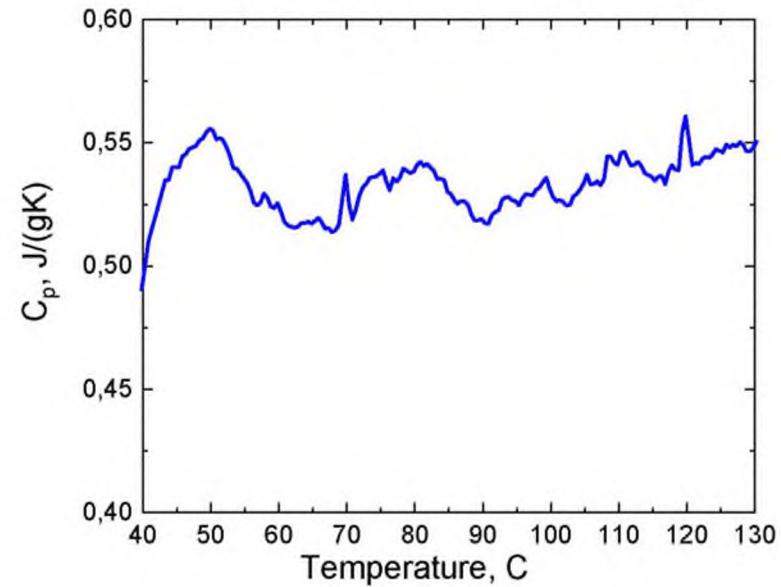
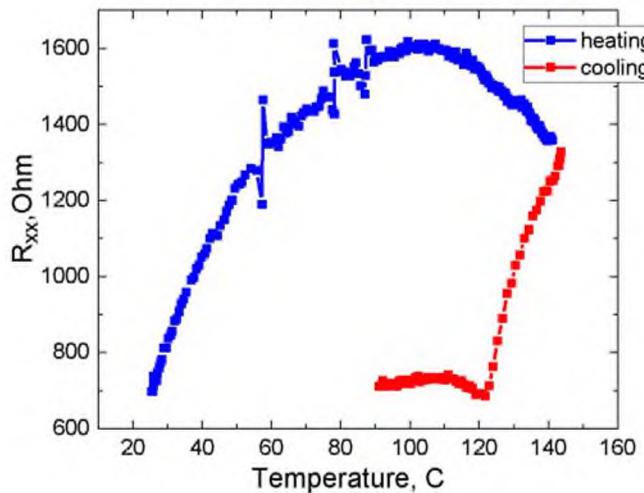
магнитный момент μ_B ,
энергия магнитного поля 0.07 eV

34. Полевые зависимости статической магнитной восприимчивости, демонстрирующие характерный гистерезис в слабых магнитных полях для образцов (а) и полевые зависимости статической магнитной восприимчивости, демонстрирующие осцилляции Ааронова-Бома с большим периодом (б) в образцах SiC-3С(111)/Si(111). Стрелками указано направление сканирования внешнего магнитного поля. (Н.Т.Баграев, Л.Е.Клячкин идр.)

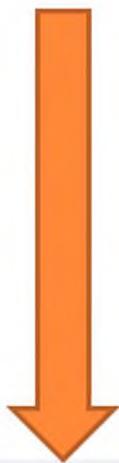


Холловская геометрия контактов на поверхности исследуемой структуры на основе SiC. Параметры в мкм: $a = 4$, $b = 200$, $d = 6$, $l = 4200$, $f = 1000$. Измерялось U_{xx} в зависимости от времени, одновременно каждые 5 секунд записывались показания термометра. Затем для одного и того же времени сопоставлялись значения U_{xx} и температуры, и при заданном токе I на drain-source контактах строился график U_{xx}/I от температуры.

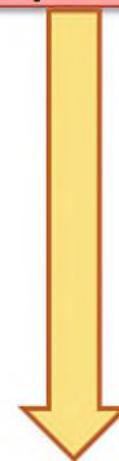
35. Обнаружены электронные фазовые переходы в эпитаксиальных слоях карбида кремния, выращенных на кремниевой подложке методом согласованного замещения атомов при температуре выше температуры кипения воды! (совместно с Н.Т. Баграевым и А.В. Осиповым)



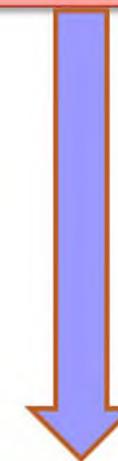
Области возможного применения пленок нано-SiC на Si. Импортозамещение



Подложка для роста нитридов галлия и алюминия. Для роста объемных слоев AlN, GaN и AlGaN

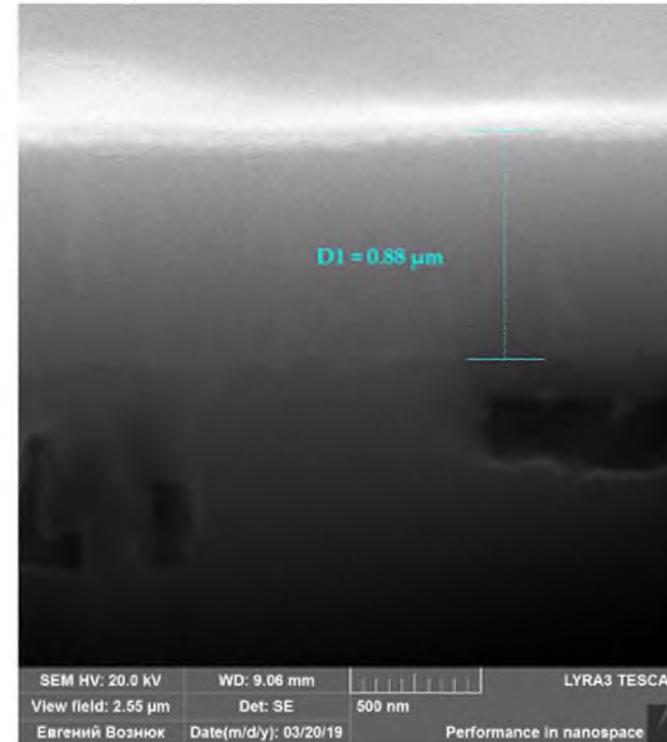
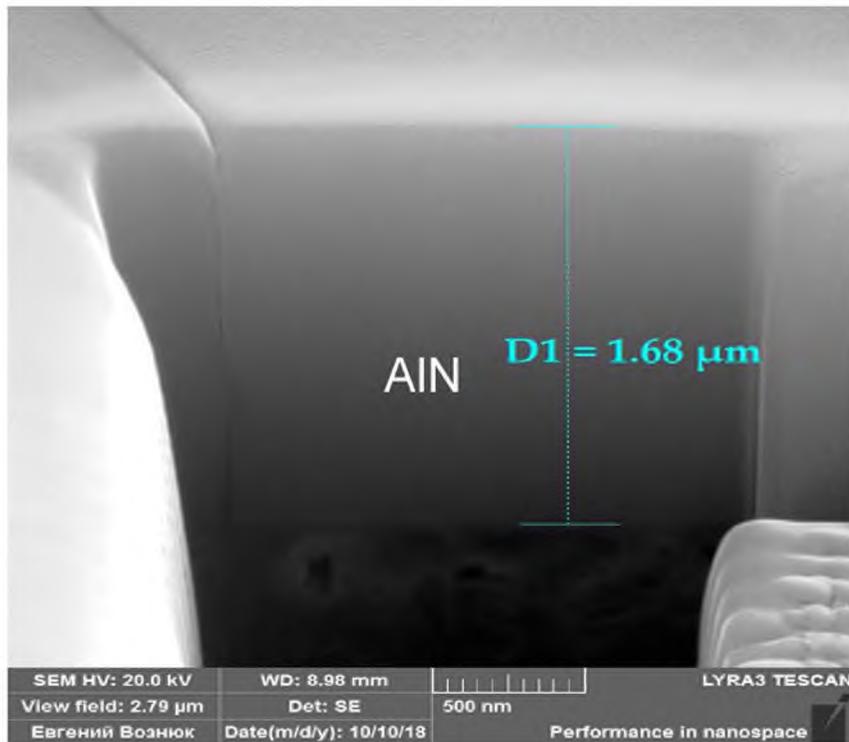


Подложка для доращивания толстых слоев SiC на кремнии



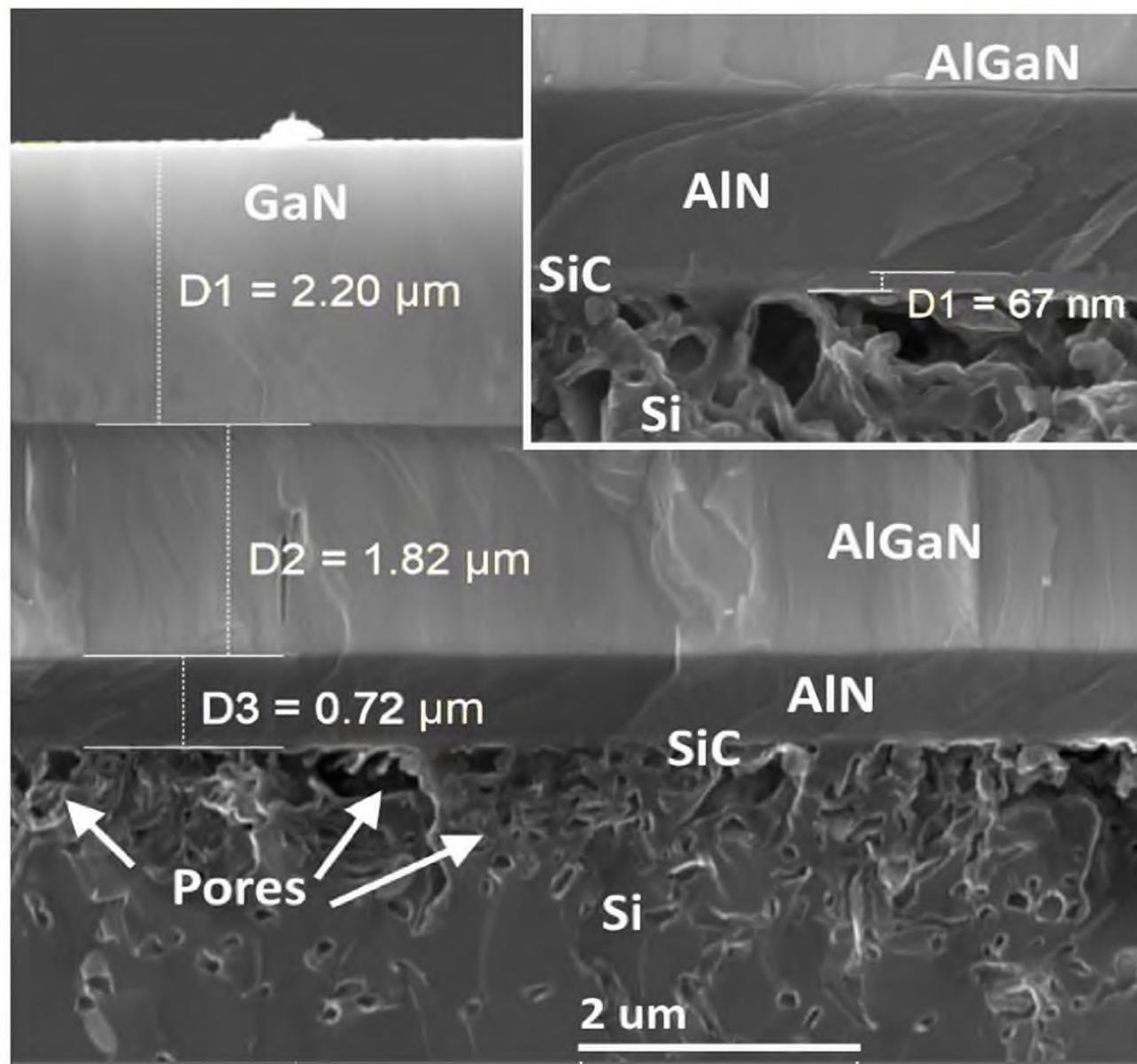
В качестве самостоятельного материала для создания различного рода датчиков, излучателей терагерцового излучения, магнитометров и других приборов.

37. AlN/нано-SiC/Si(111)



AlN/нано-SiC/Si (111) HVPE метод
Ш. Шарофидинов

Толстые слои AlN, GaN и AlGaN были выращены методом HVPE
Ш. Шукрилло



39. На основе эпитаксиальных слоев $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$, выращенных на гибридных подложках SiC/Si синтезирован материал, обладающий на данный момент одним из самых больших значений пирокоэффициентов для кристаллов (или тонких пленок) нитрида алюминия (Ш.Ш. Шарофидинов (ФТИ, ИПМаш), А .П. Пронин, О.Н. Сергеева, А.В. Солнышкин (Тверской Ун-т), Д.А. Киселев и др)

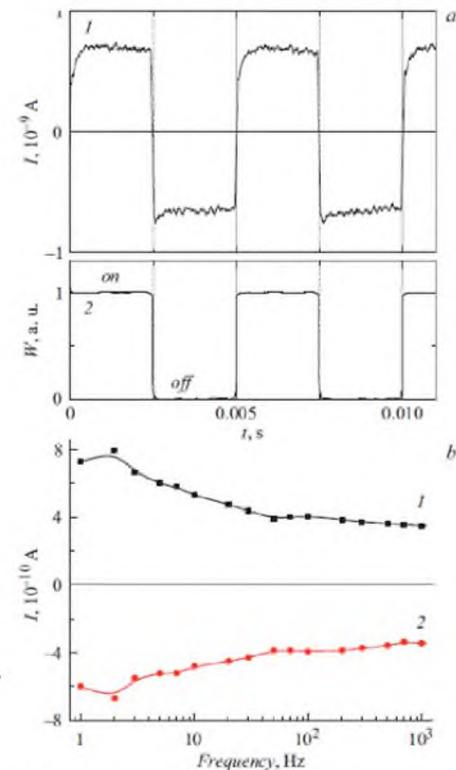
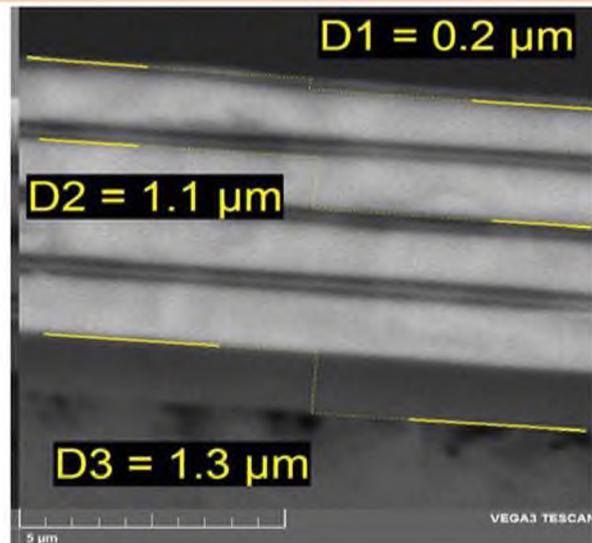


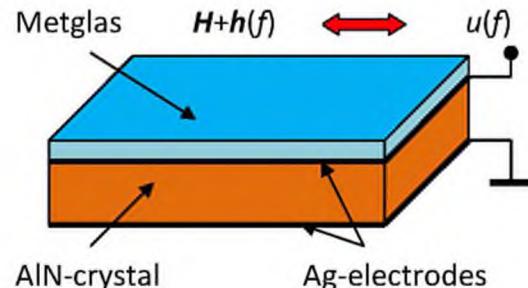
Рис. 3. a — кинетика пироэлектрического тока образца № 2 для частоты модуляции теплового потока 200 Hz (1) и форма модуляции теплового потока (2); b — частотные зависимости пироэлектрического тока, соответствующие нагреву (1) и охлаждению (2).

Образец	Толщина образца, μm	Элементный состав (Al/N)	Пирокоэффициент γ , $\mu\text{C}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
$\text{AlN}/\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}/\text{AlN}$ (№ 1)	274	53.2/46.8	9.0
$\text{AlN}/\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ (№ 2)	216	50.9/49.1	18
AlN (№ 3)	170	51.1/48.9	12

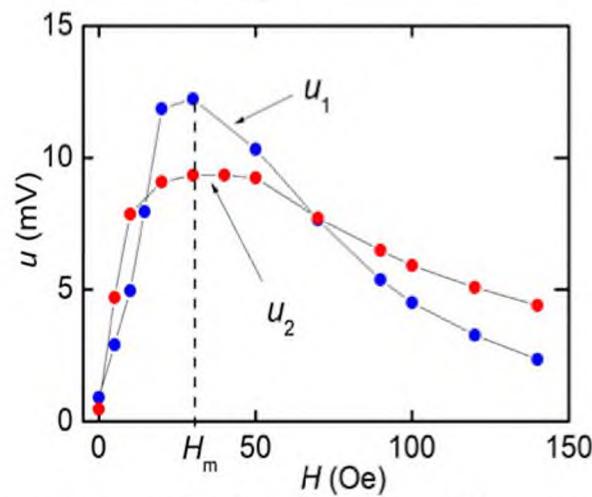
40. Магнитоэлектрический эффект в гетероструктуре аморфный ферромагнетик – монокристалл AlN/SC/Si

(Ф.А. Федулов (МИРЭА), С.А. Кукушкин, Ш.Ш. Шарофидинов, Д.В. Чашин, Ю.К. Фетисов (МИРЭА)

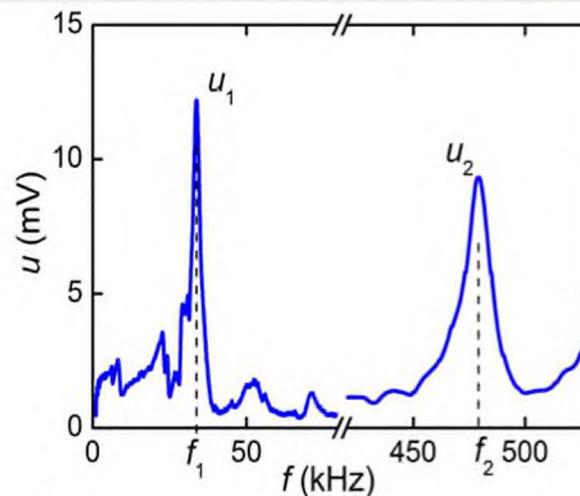
На SiC/Si был выращен и отделен от подложки SiC/Si слой AlN толщиной 220 мкм.



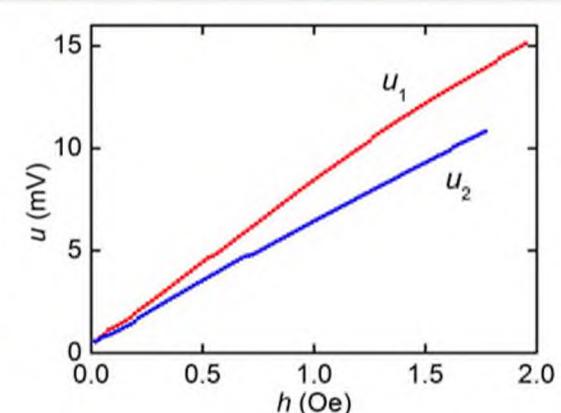
Схематическое изображение гетероструктуры кристалл AlN/SiC/Si - Metglas.



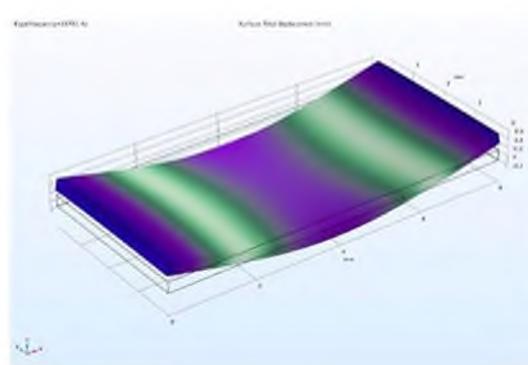
Зависимости МЭ напряжений u_1 и u_2 от постоянного поля смещения H при $h=1.5$.



Зависимости МЭ напряжения u от частоты возбуждающего магнитного поля f при $h=1.5$ Ое и $H=30$ Ое.



Зависимости МЭ напряжений u_1 и u_2 от возбуждающего поля h при $H=30$ Ое

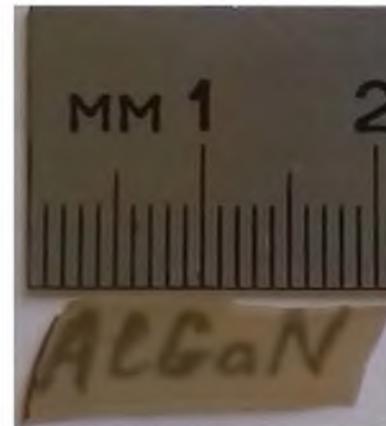


Распределение деформаций в структуре Metglas-AlN на частоте основной моды изгибных колебаний f_1 .

41. Growth of thick layers of AlN, AlGaN and GaN on SiC/Si(111) (sh. Sharofidinov)



1



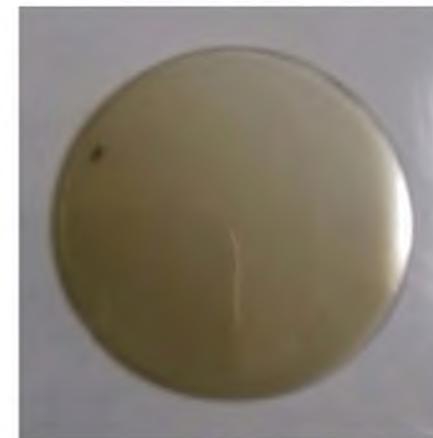
2



3



4

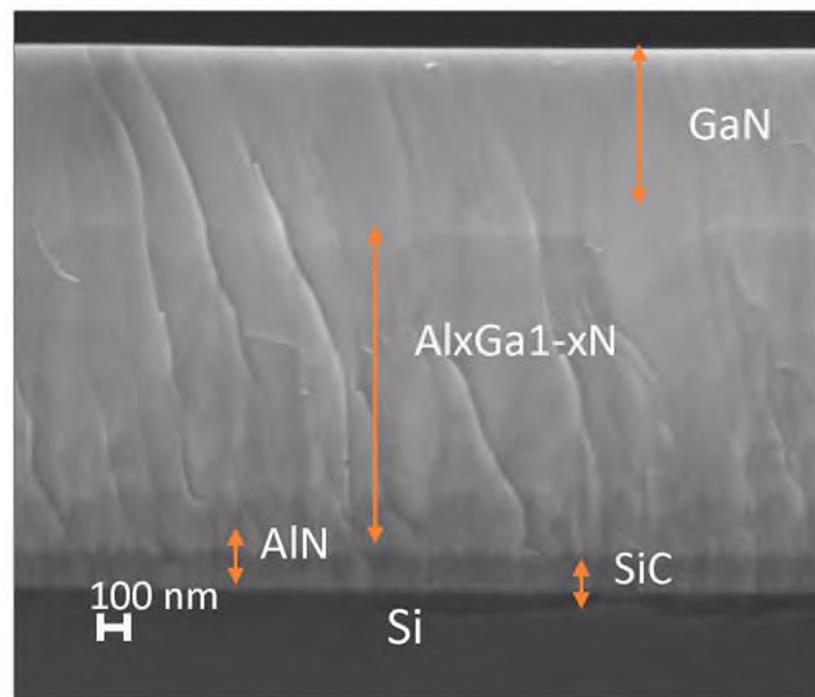


5

Thick layers of AlN with a thickness of 250 microns; 2. Thick layers of AlGaN with a thickness of 500 microns; 3. volume layers of GaN with a thickness of 450 microns. 4.Thick layers InGaN-150 мкм. 5. AlGaN - 2 inches, a thickness of 250 mkm.

42. НЕМТ гетероструктуры , выращенные гибридных подложках SiC/Si, синтезированных методом согласованного замещения атомов (Совместно с Акционерным обществом «Эпиэл» (Стациенко В.Н, и Федотов С.Д.) и с центром Микроэлектроники РАН (А. Ф. Цацульников, А.Е. Николаев, А.В. Сахаров и др.). Данные любезно предоставлены С.Д. Федотовым АО «Эпиэл»

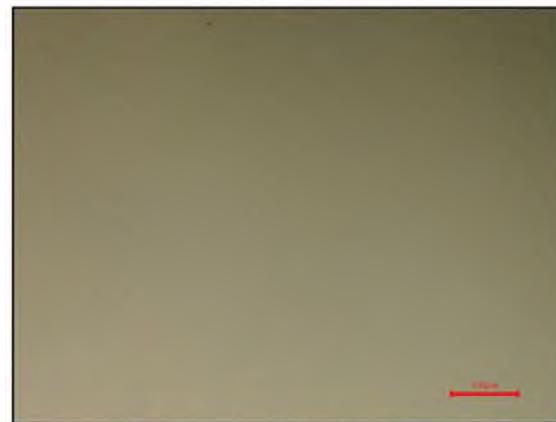
Композиция	Описание
GaN	~1000 нм $T_p > 1000^\circ\text{C}$
$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ $0.1 \leq x \leq 0.9$	1000-1500 нм Буферная композиция step-graded $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (компенсация механических напряжений) $T_p >$ 1000°C
AlN	> 50 нм $T_p > 1100^\circ\text{C}$
3C-SiC	3-60 нм 50-300 нм Слой 3C-SiC (толщина в зависимости от метода роста)
Подложка Si (111) $\pm 0,5^\circ$	≥ 525 мкм КДБ-10 диаметром 100-150 мм



Рост в реакторе с депозитами Ga(Al)N



700 нм GaN/Si(111)

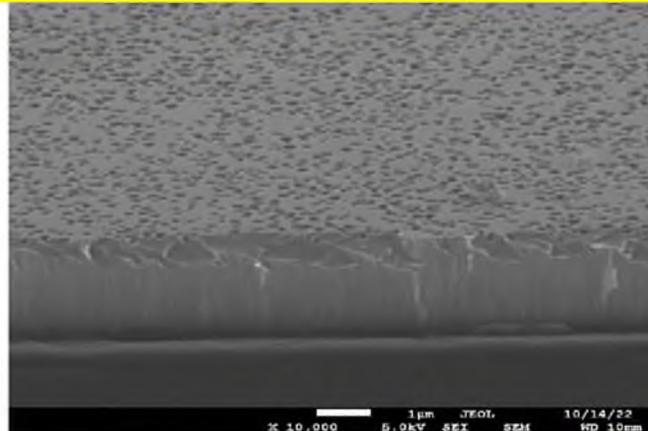


700 нм GaN/3C-SiC/Si(111)

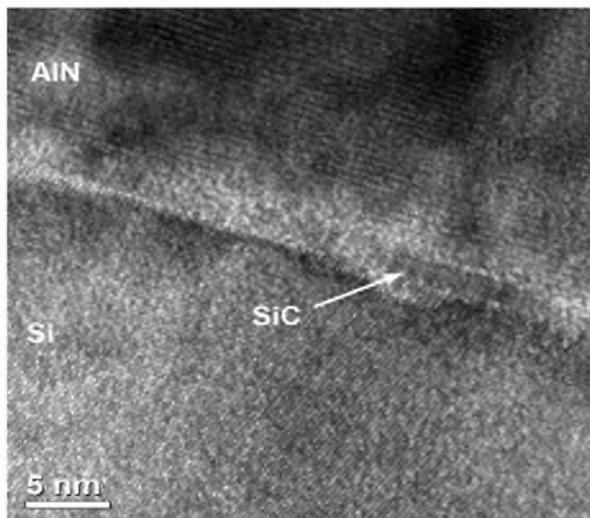
43. НЕМТ гетероструктуры , выращенные гибридных подложках SiC/Si, синтезированных методом согласованного замещения атомов (Совместно с Центр Микроэлектроники РАН (А. Ф. Цацульников, А.Е. Николаев, А.В. Сахаров и др.) и Акционерным обществом "Эпиэл« (Стациенко В.Н, и Федотов С.Д.).



На подложках, выращенных методом MCSA



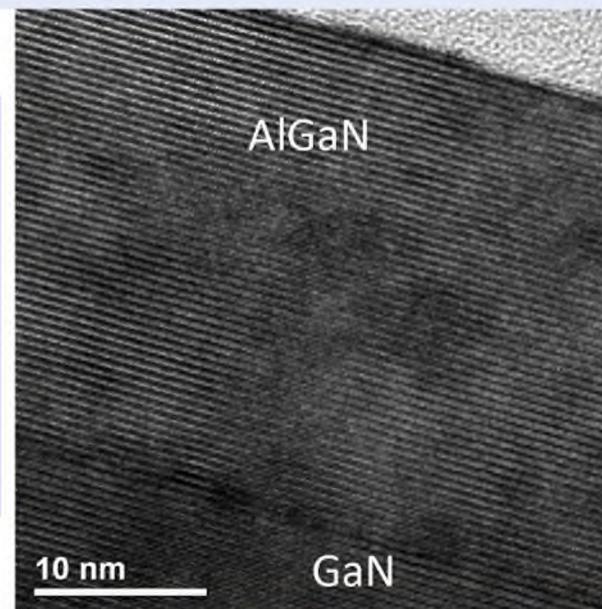
На подложках английской фирмы Advanced Epi, выращенных методом CVD.



Область перехода Si-SiC-AlN

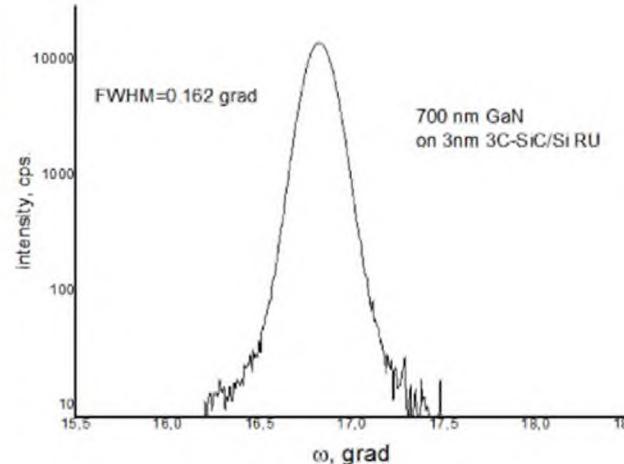
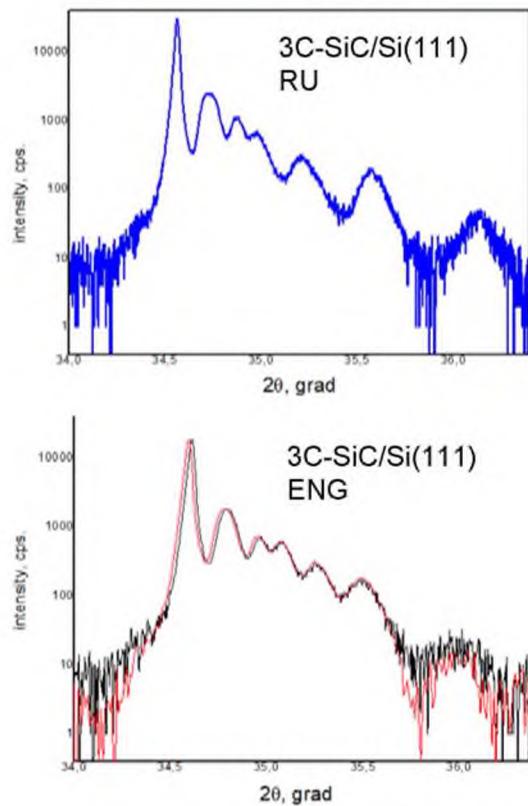
AIN
SiC
Si
5 nm

Подвижность при 300⁰C у некоторых образцов достигала следующих значений 1610- 1730 см²/в·сек
Метод Ван дер Пау (холловские измерения)

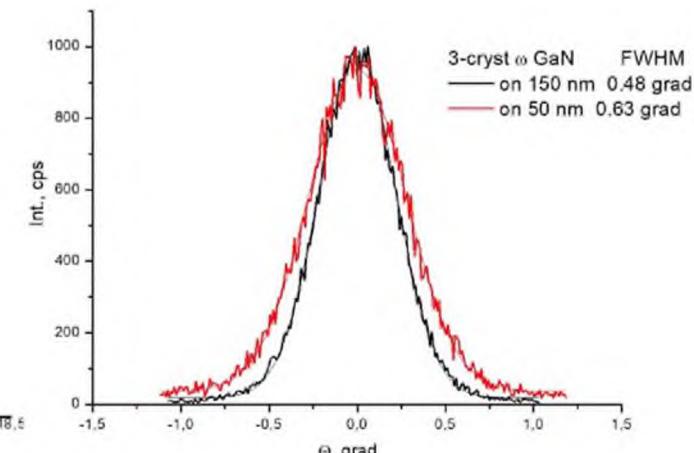


Активная область GaN-AlGaN

XRD гетероструктур 700 нм GaN/3C-SiC/Si(111)



3C-SiC/Si(111) RU
3 HM



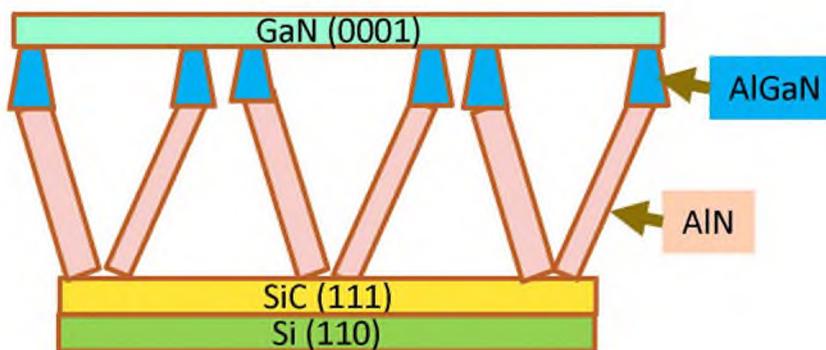
45. Основные проблемы, стоящие перед исследователями и технологами, занимающимися ростом гетероструктур для электроники.

1. Возможно ли выращивать пленки низкой плотностью дислокаций на кристаллических, чужеродных по отношению к пленке подложках?
2. Возможно ли свести к минимуму различие в коэффициентах термических расширений пленки и подложки и, тем самым избавиться от трещин и дислокаций, возникающих при охлаждении гетероструктур от ростовых температур до комнатной?

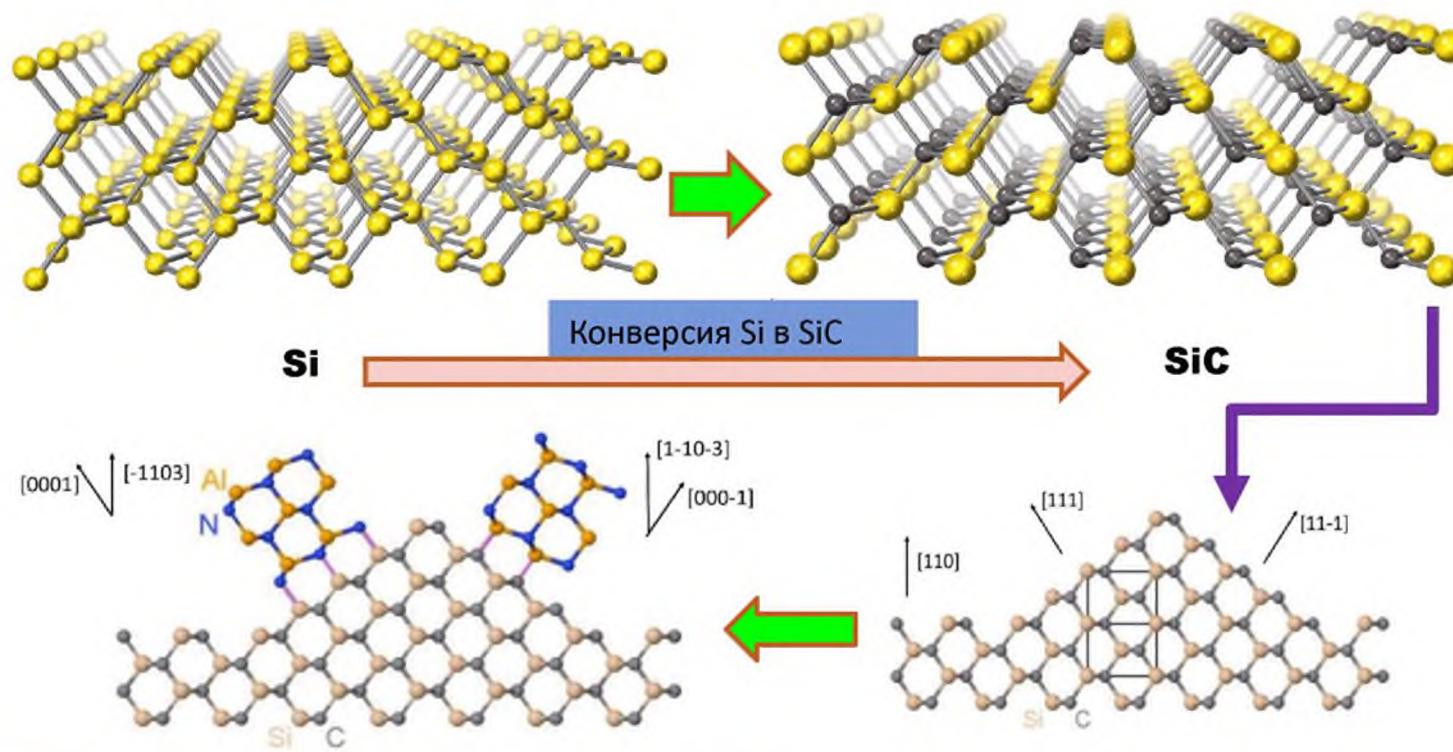
Это основные проблемы, от решения которых зависит будущее электроники. Особенно это важно для роста широкозонных полупроводников AlN, GaN на Si.

До настоящего времени казалось, что это невозможно

Недавно нами был найден ключ к решению этих проблем! Основная идея заключается в создании структуры, напоминающей спортивные “козлы” или триподы, напоминающие штативы для фотоаппаратов.



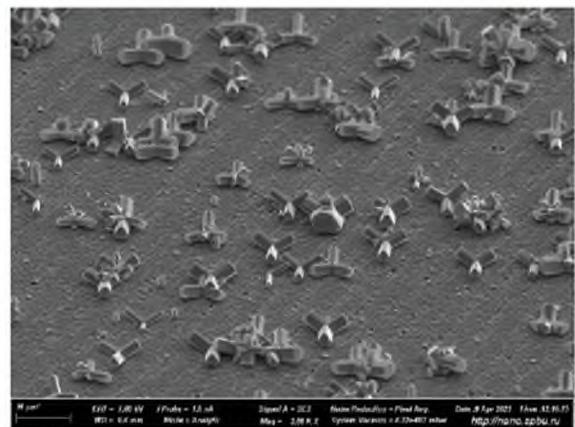
46. Теоретическая модель последовательных этапов нового метода синтеза низкодефектных пленок III- нитридов на кремнии (С.А. Кукушкин, А. Корякин, А.В. Осипов)



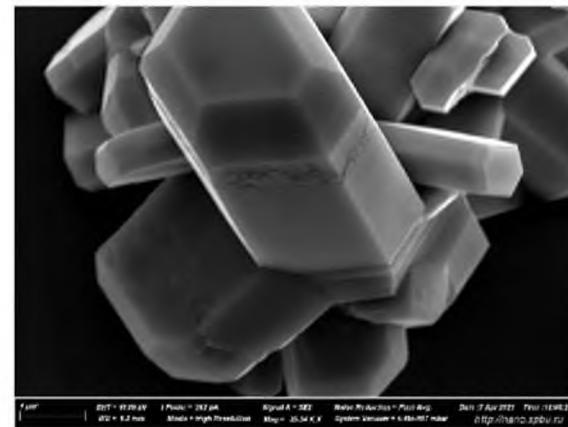
Атомарная модель двух зародышей AlN на SiC, растущих в направлении $[0001]$ и $[000-1]$. Связи Si-N (зародыш слева) и связи Al-C (зародыш справа) выделены фиолетовым цветом.

Поверхность SiC, содержащая грани (111) , $(11-1)$ и (110) .

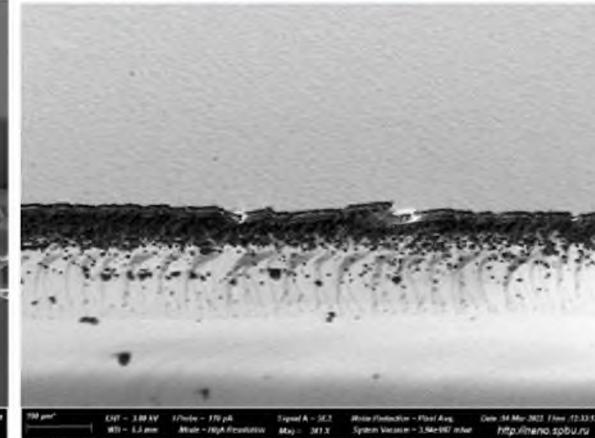
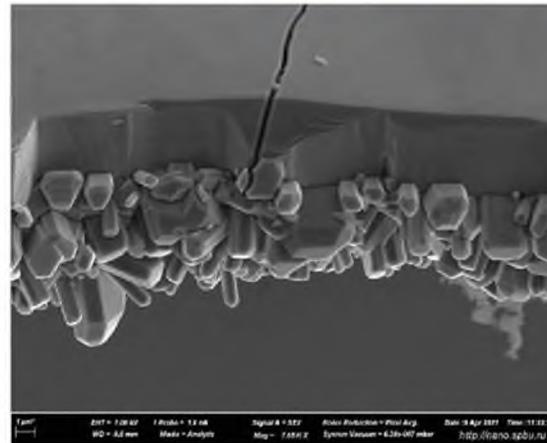
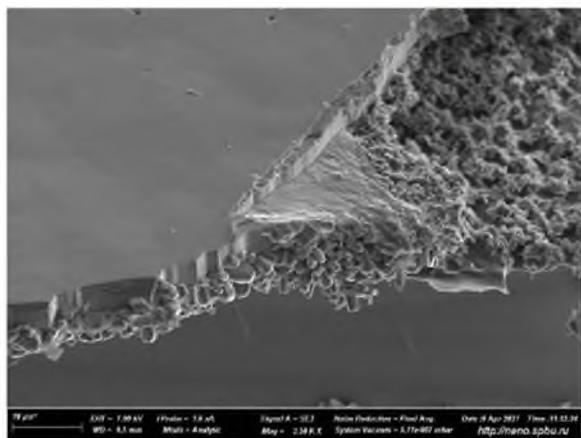
47. Реализация новой технологии синтеза никодефектных пленок III- нитридов на кремнии (110) методом HVPE.(С.А.Кукушкин, Ш . Шарофиддинов, Е. Убыйловик)



Этап формирования триподов AlN на SiC/Si (110).

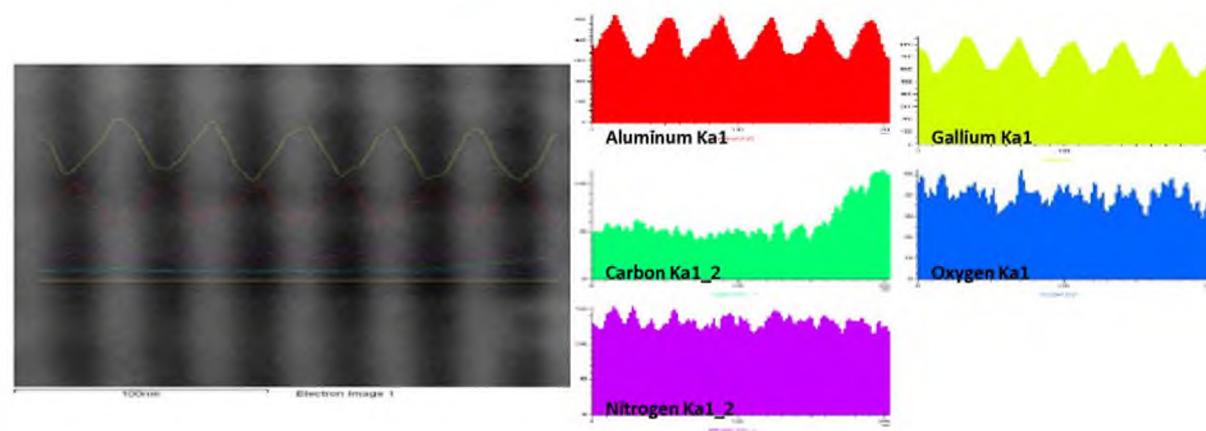
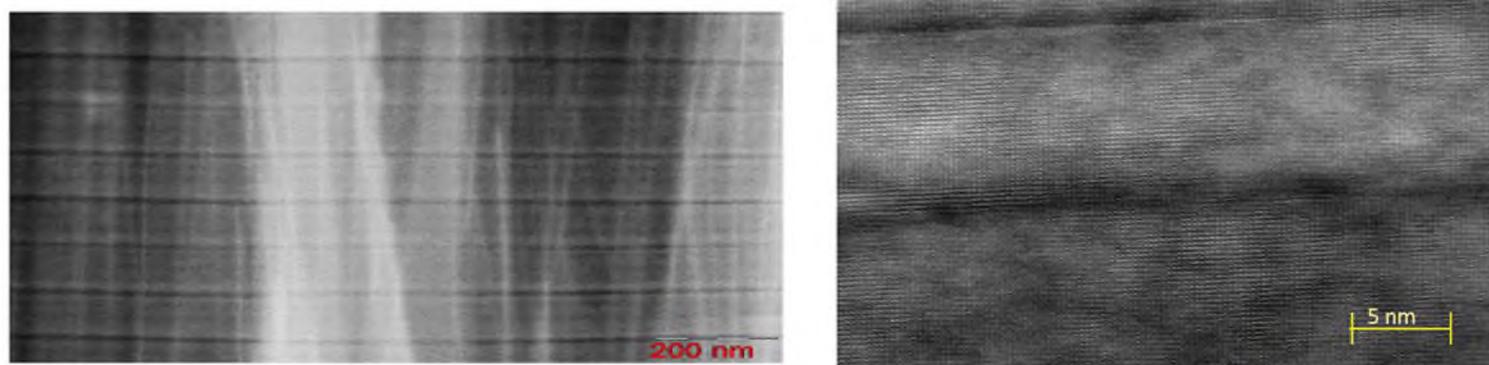
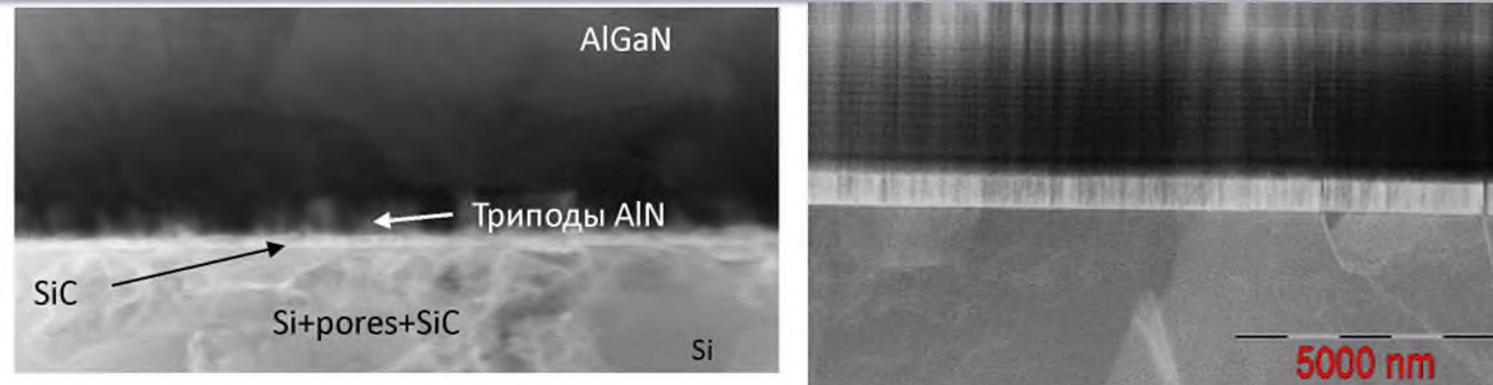


Один из триподов на вершине которого сформировалась "шапочка", обогащённая GaN.

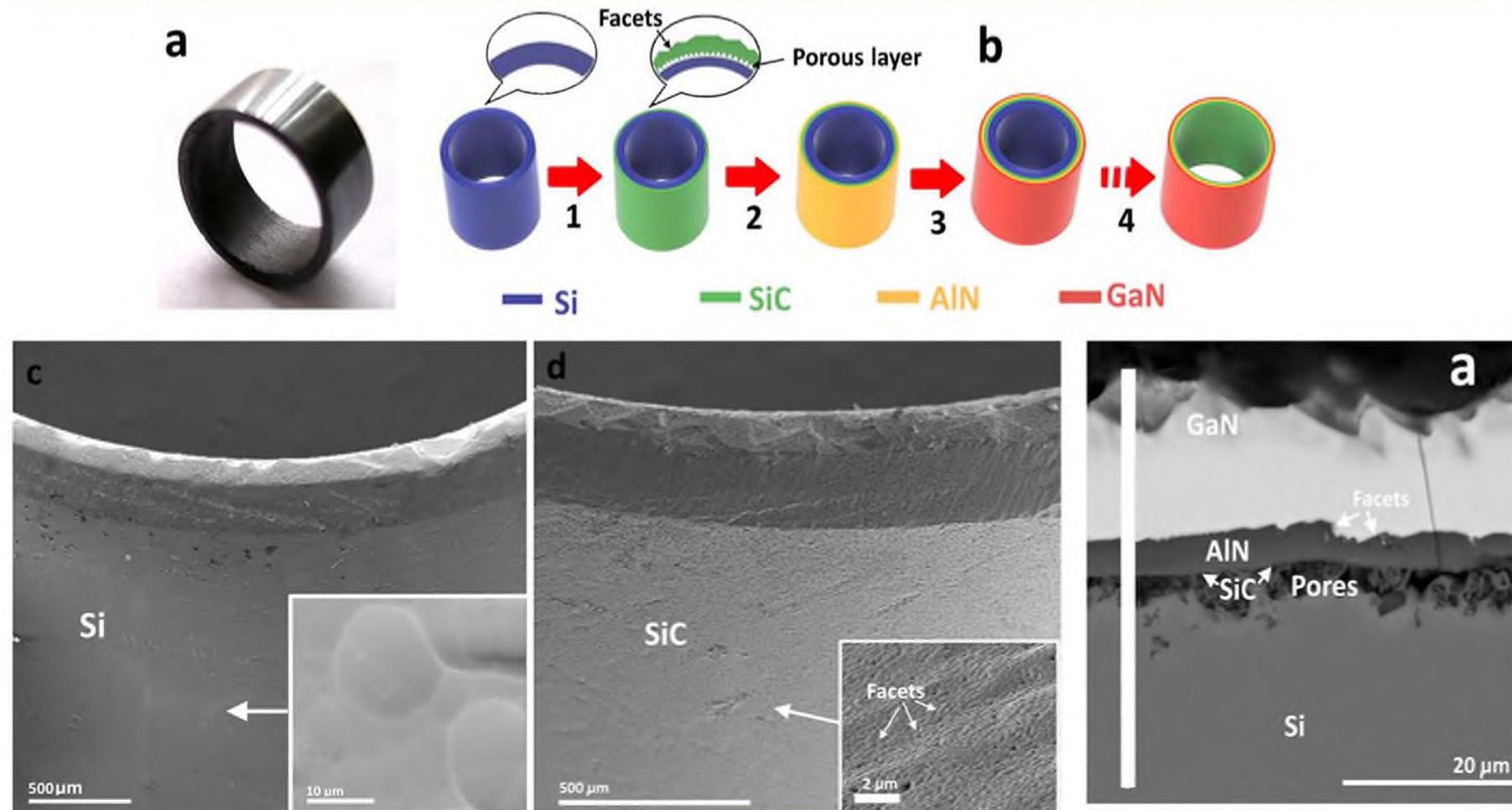


Слой AlGaN (обогащенный GaN) ориентации (0001) на SiC/Si(110).

48. Разворот слоев AlGaN от полуполярной ориентации к полярной (0001) ориентации.
Последовательно чередующиеся слои AlN и GaN (С.А. Кукушкин, Ш . Шарофиддинов, А.В.
Осипов, Е.В. Убыйловок)



49. Разработана методика формирования эпитаксиальных плёнок карбида кремния, нитридов галлия и алюминия на поверхности изделий из кремния произвольной геометрии для микроэлектромеханических применений

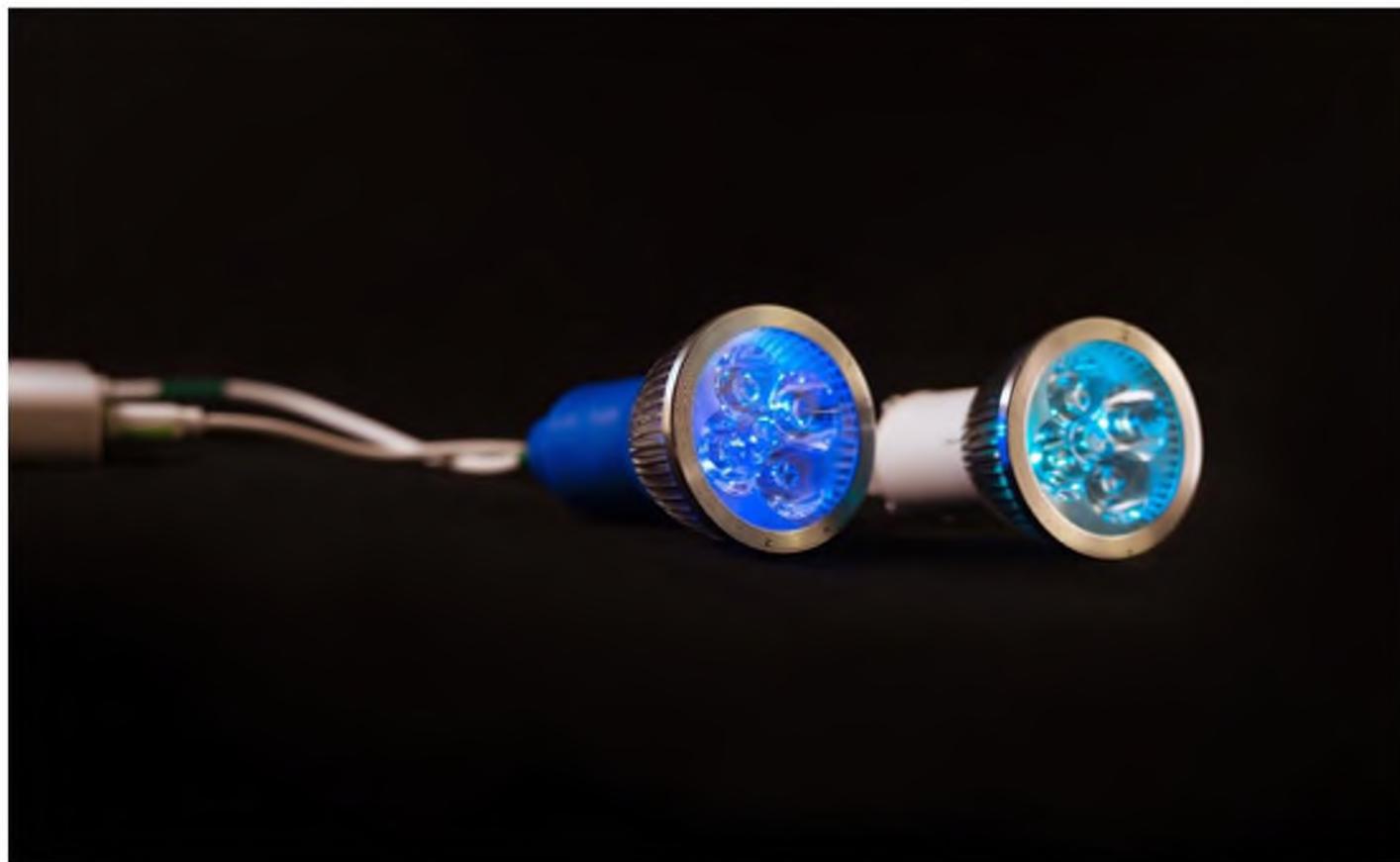


Т.Т. Кондратенко, А.С. Гращенко, А.В. Осипов , А.В. Редьков, Е.В. Убыивовк,
Ш.Ш. Шарофидинов , С.А. Кукушкин.//Рост пленок SiC, AlN и GaN на кремниевых изделиях
произвольной геометрии для микроэлектромеханических применений//Письма в ЖТФ, 2023,
том 49, вып. 11, стр.3-6

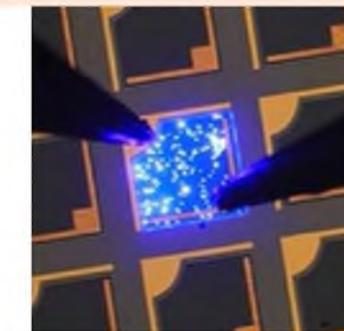
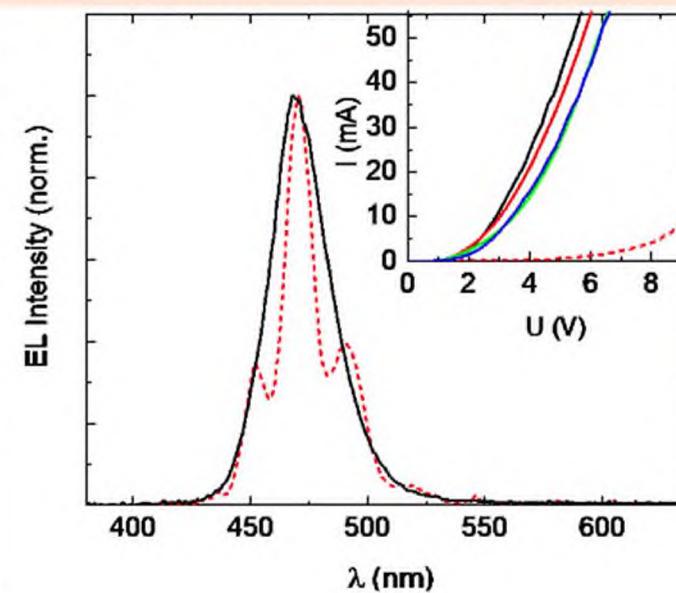
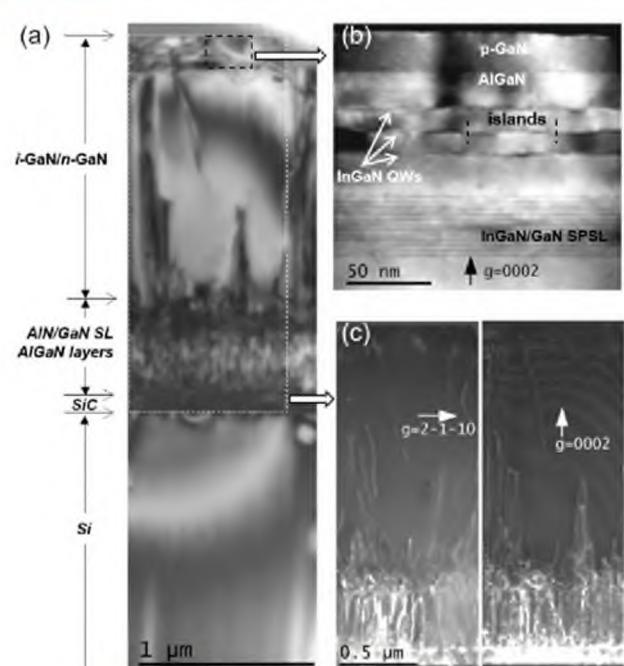
50. Наши светодиоды на GaN/Al_xGaN/AlN/SiC/Si Совместно с А. .Ф.

Цацульников, А.Е. Николаев, А.В. Сахаров

С.О. Усов. Центр Микроэлектроники РАН, ФТИ (директор В.М. Устинов) и ООО НТц НТ
(директор Г.В. Святец) декабрь 2019 г



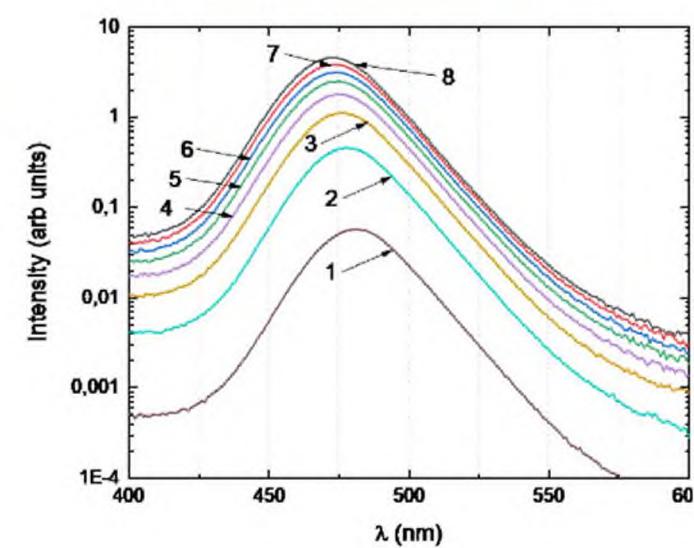
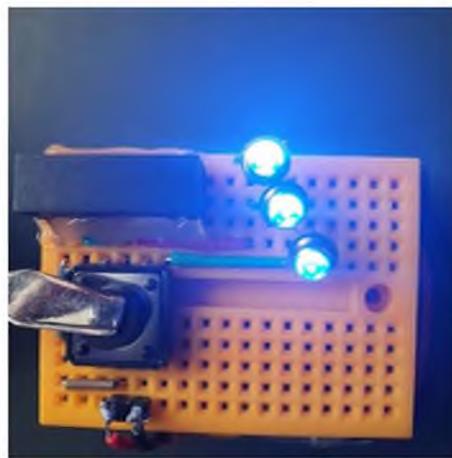
51. Совестно с А. Ф. Цацульников, А.Е. Николаев, А.В. Сахаров
 С.О. Усов. Центр Микроэлектроники РАН(директор В.М. Устинов) ФТИ РАН (Марков Л.К. и др. и
 ООО НТЦ НТ (директор Г.В. Святец)



Ha Si



Ha
SiC/Si



52. Приборы для медицины на THz (Н.Т.Баграев, Л.Е.Клячкин, В.В. Романов, Л.Е. Клячкин, А.М. Маляренко и др.)



“Сжигатель” сахара



Три вакуумные печи, в которых реализуется синтез SiC из Si методом согласованного замещения атомов



1.5 дюйма

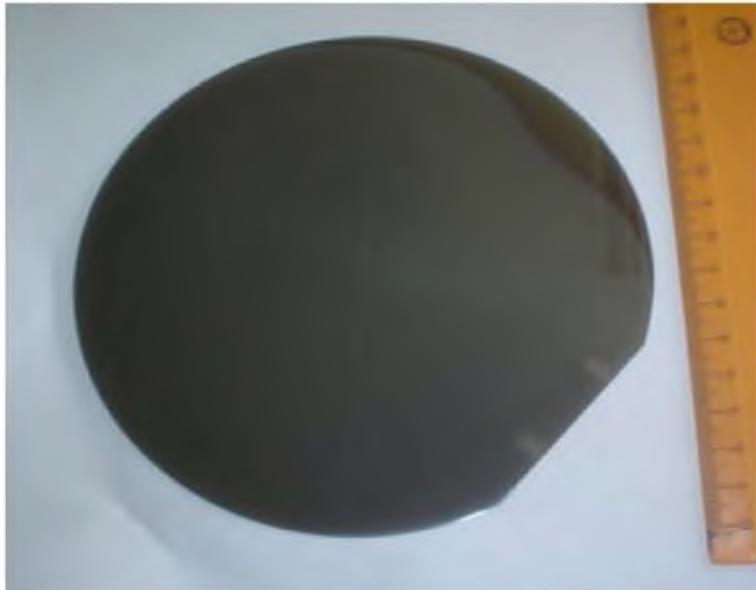


3 дюйма



4-8 дюймов

54. Образцы карбида кремния на подложках Si диаметром 2, 4 и 150 мм (6 дюймов)



2.inches



2.inches



Образцы карбида кремния
на Si
диаметром
2,3 и 4 дюйма

55. Основной вывод

1. Теоретический предложен и экспериментально реализован принципиально новый метод осаждения карбида кремния на кремнии, который заключается в создании, в структуре матрицы подложки, путем замещения основных атомов Si на атомы углерода, ансамбля диполационных диполей, состоящих из внедренного в межузельную позицию матрицы кремния атома С и кремниевой вакансии, образованной удалением атома Si в результате химической реакции между газом CO и подложки Si.

2. На основе данного фундаментального подхода, создан **новый полупроводник—нанокарбид кремния на кремни, выращенный методом согласованного замещения атомов.** Данный полупроводник представляет собой новую гибридную структуру, сочетающую в себе свойства полупроводника, полуметалла и обладающую магнитными свойствами.

Новый полупроводник может иметь широкое применение как, в качестве буферного слоя для получения гетероструктур соединений группы A^3B^5 , соединений группы A^2B^6 и ряда других веществ, также может быть и использован в качестве самостоятельной гетероструктуры для генерации и приема терагерцового излучения, изготовления чувствительных магнетометров , различного рода датчиков.

Приложение 8.

**ВЫСОКОЧИСТЫЕ МЕТАЛЛОГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ
ДЛЯ ОСАЖДЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ:
ПРОБЛЕМАТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ**

к.х.н. Е. С. Викулова

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева
Сибирского отделения Российской академии наук**

**Высокочистые металлоганические соединения
для осаждения материалов микроэлектроники:
проблематика и перспективы**

к.х.н. Викулова Евгения Сергеевна

Представление: научная база и компетенции коллектива



2/15

Актуальность разработок

Разработка методик получения metallорганических соединений-прекурсоров, отвечающих критериям высокой чистоты и требованиям к термохимическим свойствам, для процессов атомно-слоевого осаждения

- оксидных слоев с высоким значением диэлектрической проницаемости (high-k): **гафния, циркония, титана**
- металлических слоев: **рутения, меди, кобальта**

Индустриальный партнер



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

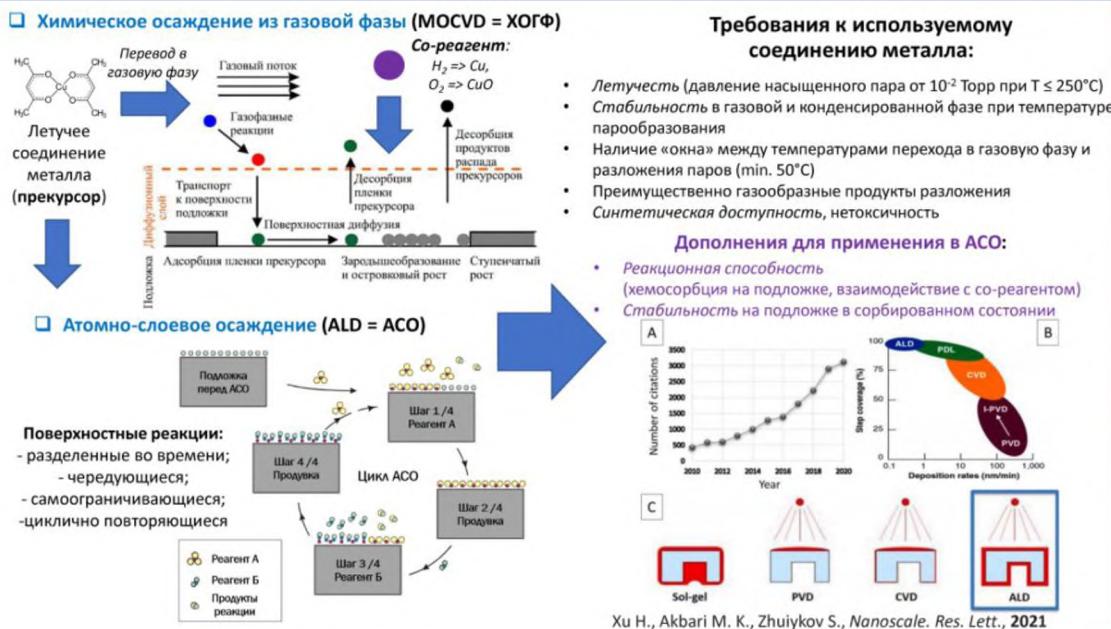


3/15

- 1) выбор соединений для получения покрытий с целевыми характеристиками
- 2) изучение термических свойств соединений
- 3) тестирование соединений в процессах осаждения
- 4) разработка аналитических методик контроля чистоты соединений
- 5) разработка стратегий достижения высокой чистоты соединений

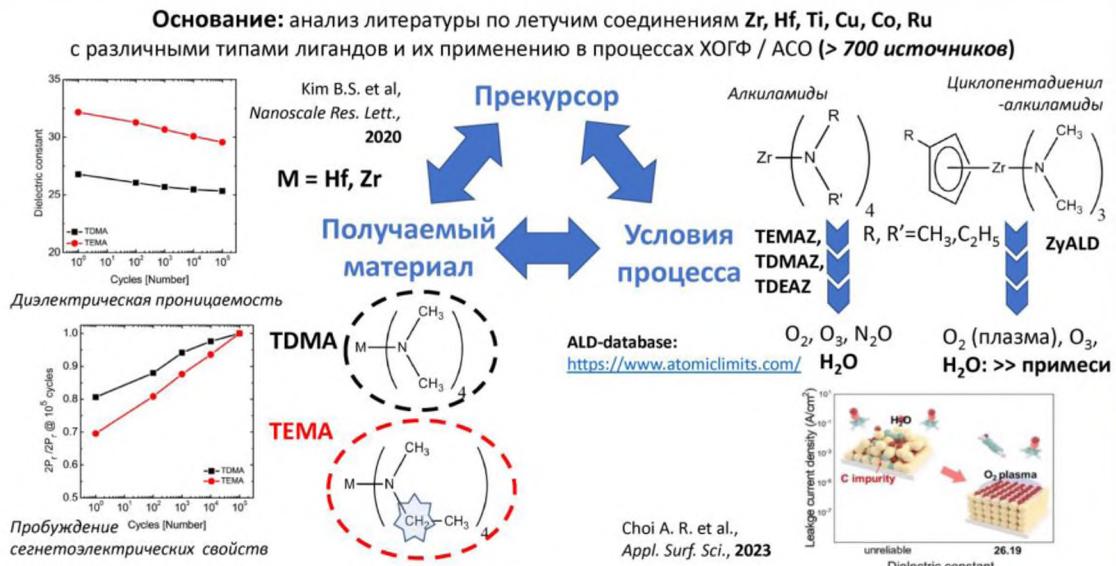
4/15

1. Выбор прекурсоров: специфика и требования



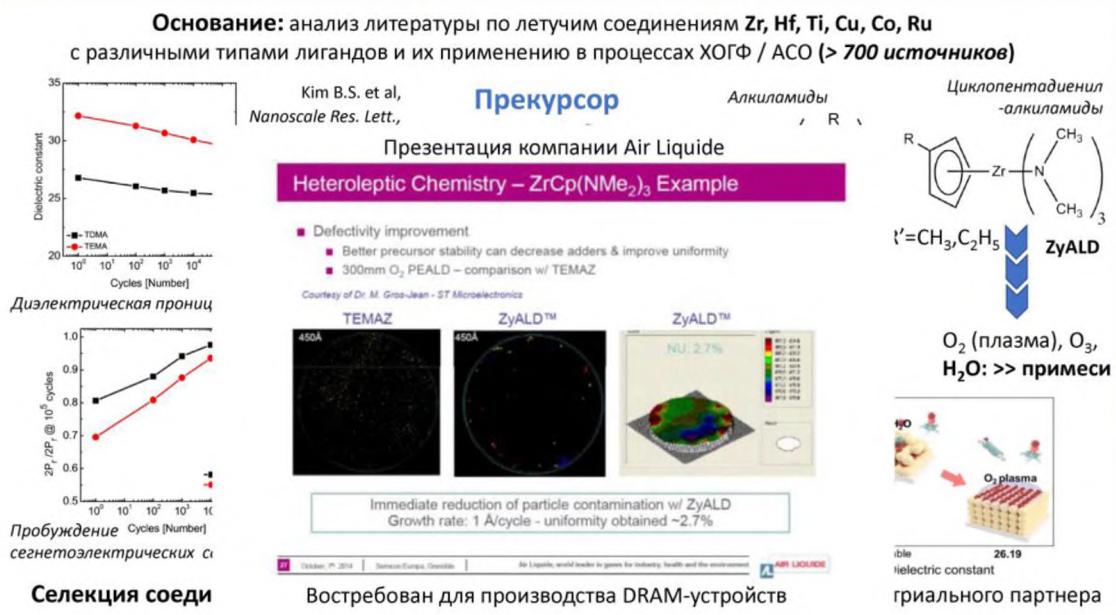
5/15

1. Выбор прекурсоров



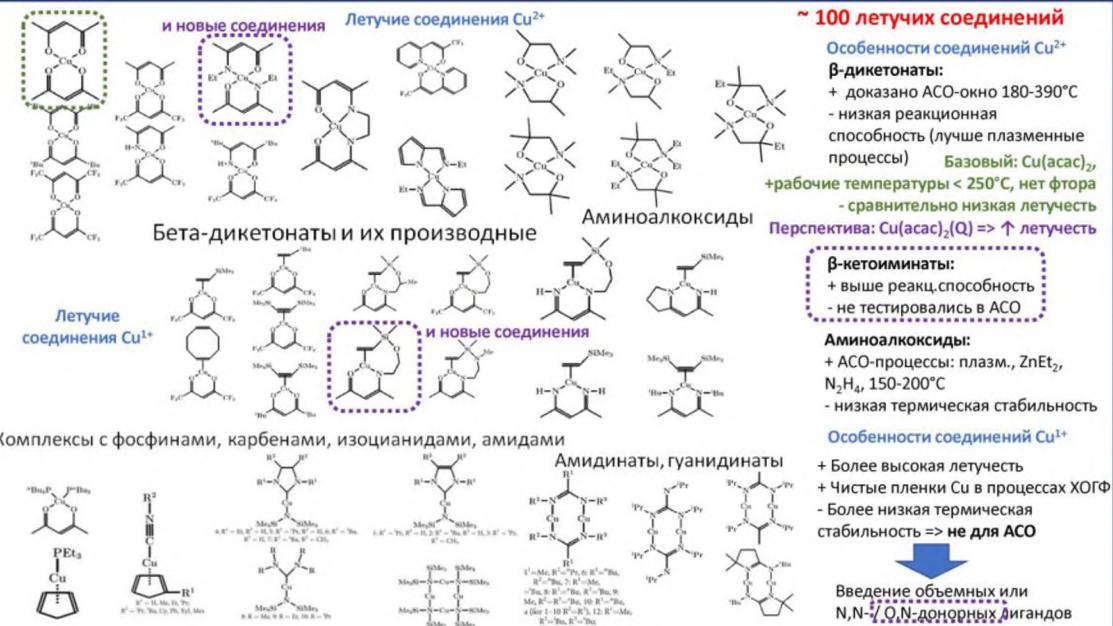
6/15

1. Выбор прекурсоров

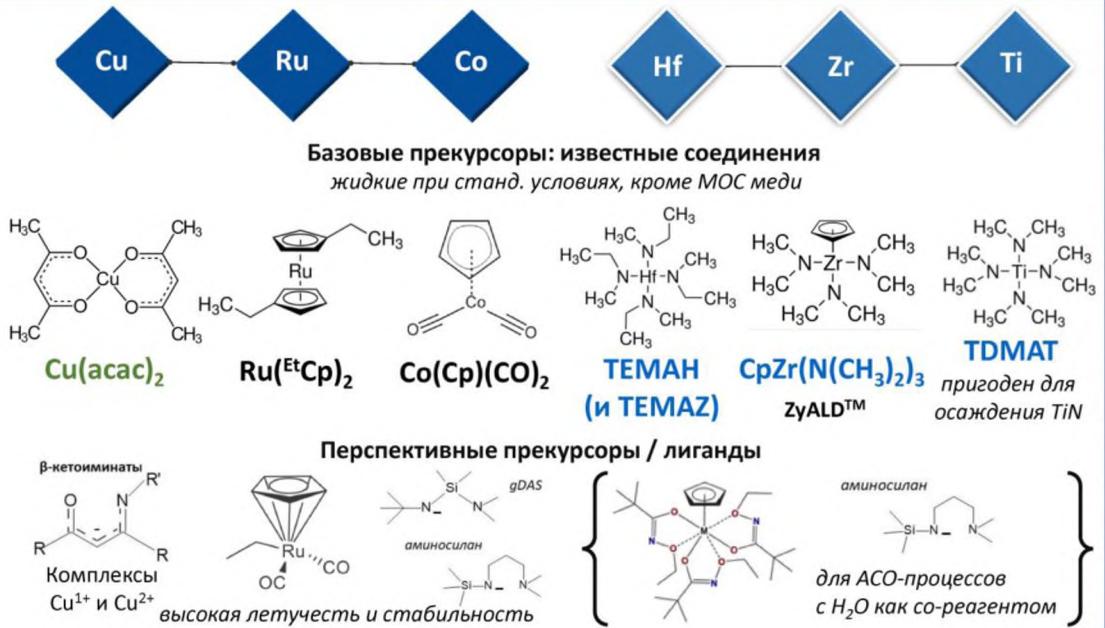


6/15

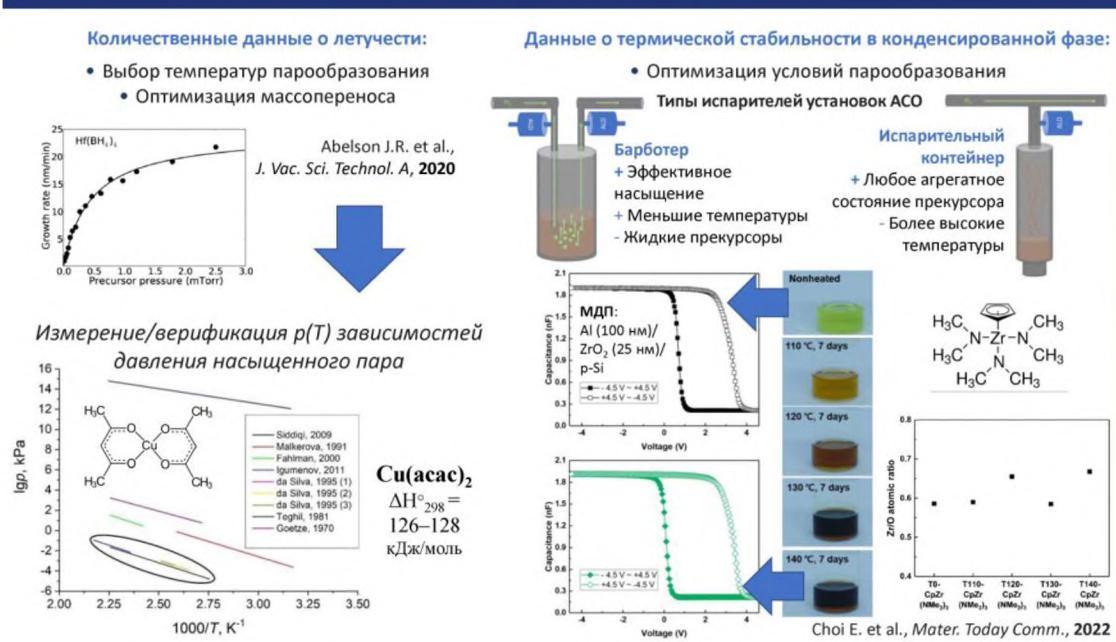
1. Выбор прекурсора: принципы селекции



1. Выбор соединений: базовые и перспективные МОС

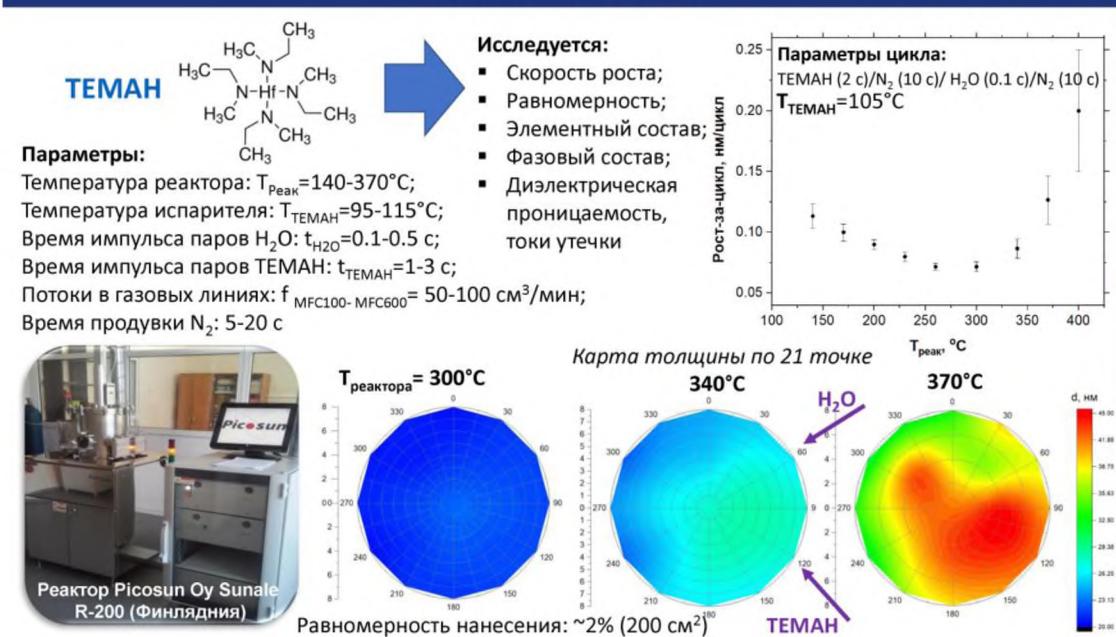


2. Термические свойства соединений

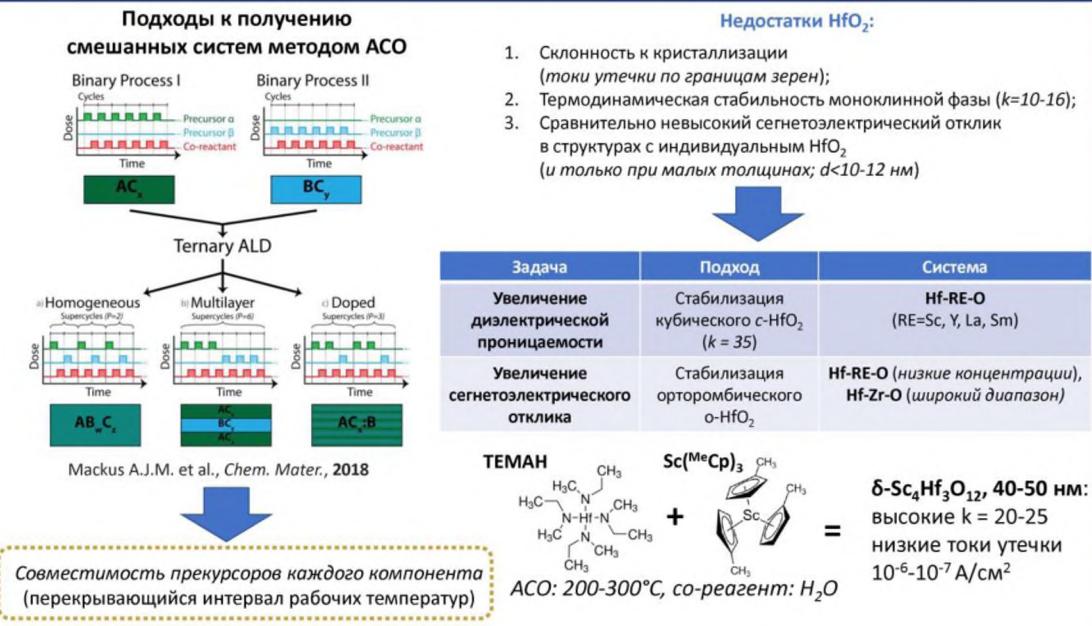


9/15

3. Тестирование соединений



3. Тестирование соединений: осаждение смешанных систем



11/15

4. Высокочистые металлорганические соединения: аналитический контроль

Входные данные:

- Отсутствие ГОСТ / ТУ к летучим МОС
- Спецификации на неорганические примеси
abcr GmbH:

10 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr)

Entegris:

35 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr, Ba, Be, Bi, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Ga, Ge, Au, Pb, Li, Mn, Hg, Ni, Nb, Pd, Ag, Sr, Ta, Th) + As

Методы анализа неорганических примесей:

- ЭТААС ($C_{\min} 10^{-5}\text{-}10^{-7} \text{ % масс.}$)
- АЭС ДПТ ($C_{\min} 10^{-4}\text{-}10^{-5} \text{ % масс.}$)
- АЭС ИСП ($C_{\min} 10^{-5}\text{-}10^{-7} \text{ % масс.}$)
- МС ИСП ($C_{\min} 10^{-6}\text{-}10^{-8} \text{ % масс.}$)

• Высокочистый металл (Cu)

- ГОСТ 859-2014, 2N-4N – 19 эл.
- ГОСТ 27981.1-2015, 3N-5N7 – 21 эл.
- ASTM B170, 2N-4N – 16 эл.

• Металлорганические соединения:
 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (TMA)

- ИСП-АЭС, $10^{-5}\text{-}10^{-2} \text{ % масс.}$ – 19 эл.
- ИСП-МС, $10^{-6}\text{-}10^{-3} \text{ % масс.}$ – 19 эл.

Argentine M.D., et al, *J. Anal. At. Spectrom.*, 1994

Разработка методики АЭС ИСП анализа металлорганических соединений Си

- Пробоподготовка;
- Выбор аналитических линий;
- Выбор оптимальной концентрации матричного компонента (Cu);
- Исследование влияния инструментальных параметров на интенсивности аналитических сигналов элементов-примесей;
- Оценка метрологических характеристик методики

← Перевод МОС в раствор
← Неспектральные и спектральные влияния
← Мощность ИСП, Скорость потока газа носителя
← Пределы обнаружения, правильность, внутрилабораторная прецизионность

Пробоподготовка

$m_{\text{навески}} \sim 200 \text{ мг}$

2 мл HCl (очищ. дист.) ($\text{HCl}+\text{HNO}_3 3:1$ для МОС Zr, Hf)

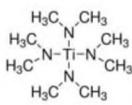
Разбавление для АЭС ИСП

12/15

4. Высокочистые металлорганические соединения: аналитический контроль



Входные данные:



TDMAT

- Отсутствие ГОСТ / ТУ к летучим МОС
- Спецификации на неорганические примеси
abcr GmbH:

10 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr, Ba, Be,

Entegris:
35 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr, Ba, Be,
Bi, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Ga, Ge, Au, Pb, Li, Mn, Hg, Ni,
Nb, Pd, Ag, Sr, Ta, Th) + As

Методы анализа неорганических примесей:

- ЭТААС ($C_{min}, 10^{-5}\text{-}10^{-7}$ % масс.)
- АЭС ДПТ ($C_{min}, 10^{-4}\text{-}10^{-5}$ % масс.)
- АЭС ИСП ($C_{min}, 10^{-5}\text{-}10^{-7}$ % масс.)
- МС ИСП ($C_{min}, 10^{-6}\text{-}10^{-8}$ % масс.)

• Высокочистый металл (Cu)

- ГОСТ 859-2014, 2N-4N – 19 эл.
- ГОСТ 27981.1-2015,
3N-5N7 – 21 эл.
- ASTM B170, 2N-4N – 16 эл.

• Металлорганические соединения: $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (TMA)

- ИСП-АЭС, $10^{-5}\text{-}10^{-2}$ % масс. – 14 эл.
- ИСП-МС, $10^{-6}\text{-}10^{-3}$ % масс. – 19 эл.

Argentine M.D., et al, *J. Anal. At. Spectrom.*, 1994

Разработка методики АЭС ИСП анализа металлорганических соединений Си

- Пробоподготовка;
- Выбор аналитических линий;
- Выбор оптимальной концентрации матричного компонента (Cu);
- Исследование влияния инструментальных параметров на интенсивности аналитических сигналов элементов-примесей;
- Оценка метрологических характеристик методики

Перевод МОС в раствор
Неспектральные и спектральные влияния

Мощность ИСП,
Скорость потока газа носителя

Пределы обнаружения,
правильность,
внутрилабораторная прецизионность

Длины волн аналитических линий некоторых определяемых элементов и потенциальные спектральные влияния при их использовании

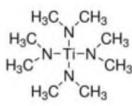
Элемент	λ , нм	Возможные спектральные наложения
As	189.04	C, Cr, Pd
	197.26	Pb, Co, Pd
P	177.49	C, Cu
	213.62	Mo
Hf	339.91	-
	363.23	Zr
Ag	328.07	Zr, Fe
	338.29	Cr, V, Sb, Cu
Zn	206.20	Ti, Ni
	213.87	Fe, Ni, Cu
Al	308.22	V, Mn
	396.15	Fe, Mo
Mg	279.55	Ti, Fe, Mn, Co
	285.21	Mo, Na

12/15

4. Высокочистые металлорганические соединения: аналитический контроль



Входные данные:



TDMAT

- Отсутствие ГОСТ / ТУ к летучим МОС
- Спецификации на неорганические примеси
abcr GmbH:

10 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr, Ba, Be,

Entegris:
35 металлов (Na, K, Mg, Al, V, Sn, Fe, Zn, Zr, Ba, Be,
Bi, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Ga, Ge, Au, Pb, Li, Mn, Hg, Ni,
Nb, Pd, Ag, Sr, Ta, Th) + As

Методы анализа неорганических примесей:

- ЭТААС ($C_{min}, 10^{-5}\text{-}10^{-7}$ % масс.)
- АЭС ДПТ ($C_{min}, 10^{-4}\text{-}10^{-5}$ % масс.)
- АЭС ИСП ($C_{min}, 10^{-5}\text{-}10^{-7}$ % масс.)
- МС ИСП ($C_{min}, 10^{-6}\text{-}10^{-8}$ % масс.)

• Высокочистый металл (Cu)

- ГОСТ 859-2014, 2N-4N – 19 эл.
- ГОСТ 27981.1-2015,
3N-5N7 – 21 эл.
- ASTM B170, 2N-4N – 16 эл.

• Металлорганические соединения: $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ (TMA)

- ИСП-АЭС, $10^{-5}\text{-}10^{-2}$ % масс. – 14 эл.
- ИСП-МС, $10^{-6}\text{-}10^{-3}$ % масс. – 19 эл.

Argentine M.D., et al, *J. Anal. At. Spectrom.*, 1994

Разработка методики АЭС ИСП анализа металлорганических соединений Си

- Пробоподготовка;
- Выбор аналитических линий;
- Выбор оптимальной концентрации матричного компонента (Cu);
- Исследование влияния инструментальных параметров на интенсивности аналитических сигналов элементов-примесей;
- Оценка метрологических характеристик методики

Перевод МОС в раствор
Неспектральные и спектральные влияния

Мощность ИСП,
Скорость потока газа носителя

Пределы обнаружения,
правильность,
внутрилабораторная прецизионность

Выбор аналитических линий

Аналитические линии должны удовлетворять следующим требованиям:

- достаточная интенсивность (наилучшее отношение сигнал/шум);
- наименьшая ошибка при определении;
- минимальный уровень спектральных влияний.

Принимая во внимание все особенности спектра,
были выбраны линии для 60 элементов и
оптимально-компромиссная концентрация
матричного компонента 20 мг/мл

12/15

4. Высокочистые металлорганические соединения: аналитический контроль



АЭС ИСП методика анализа (Cu(acac) ₂)	ПО, масс.%	ТУ (Cu): Umicore Ltd, Acrotec Ltd и Sigma-Aldrich Corp	ГОСТ 27981.1-2015 (Cu)
Ba, Be, Ca, Cd, Li, Lu Mn, Sr, Ti, V, Zn	n·10 ⁻⁷	-	-
Al, As, Au, B, Cr, Er, Eu, Ga, Hf, In, Ir, K, La, Mg, Mo, Nb, Ni, P, Pt, Re, Rh, Ru, Sb, Y, Zr	n·10 ⁻⁶	As, Bi, Cd, Mn, P, Pb, Sb, Se, Co, Si, Cr	Al, As, Au, Cd, Co, Cr, Mg, Mn, Pb, Sn,
Ag, Bi, Ca, Fe, Ga, Hg, Ho, Na, Nd, Pb, Pd, Rb, Se, Si, Sm, Sn, Ta, Te, Tm, W	n·10 ⁻⁵	Ag, Fe, Ni, Sn, Zn, Te, V	Ag, Bi, Fe, Ni, P, S, Sb, Se, Si, Te, Zn
-	n·10 ⁻⁴	Mg, Zr, S, O, C	-



13/15

Высокочистые металлорганические соединения: подходы к получению



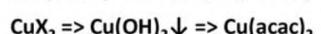
Министерство науки
и высшего образования
 Российской Федерации

Принципиальный подход:

- Использование реактивов стандартных квалификаций
- Глубокая очистка (возможная производительность - до 5 кг/год)
- Использование продукции РФ (источники металлов)
- Доступность промежуточных соединений (лигандов) - ??

Результаты: ацетилацетонат меди (II)

Востребованный прекурсор для АСО Cu:
окно роста при 225–250°C, отсутствие фтора в составе

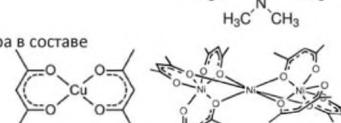


Исследование примесного состава

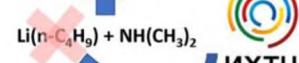
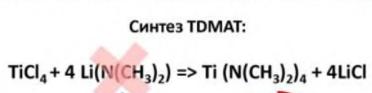
- Влияние источника металла
- Влияние способа очистки

$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (х.ч.) =>
Ni было $8.4 \cdot 10^{-4}$ % масс.,
стало $< 5 \cdot 10^{-6}$ % масс.

Получены образцы
квалификации 5N
по 54 металлам,
а также
As, B, P, Se, Si, Te



Элемент (% масс.)	Реагент	Образцы Cu(acac) ₂		
		Перекрист. (CHCl ₃)	Субл. (180°C, 10 ⁻¹ Торр)	Субл. (120°C, <10 ⁻⁵ Торр)
Al	1,3·10 ⁻⁴	-	< 1·10 ⁻⁵	-
Ca	2,0·10 ⁻³	-	< 9·10 ⁻⁷	-
Fe	5,0·10 ⁻³	-	< 1·10 ⁻⁵	-
K	2,0·10 ⁻⁴	-	< 7·10 ⁻⁶	-
Mg	4,7·10 ⁻⁴	-	< 9·10 ⁻⁶	-
Mn	6,4·10 ⁻⁴	-	< 6·10 ⁻⁷	-
Na	8,2·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻³	4,0·10 ⁻⁴	2,0·10 ⁻⁴
Ni	3,9·10 ⁻²	1,6·10 ⁻³	1,1·10 ⁻³	3,7·10 ⁻⁴
Zn	9,0·10 ⁻⁴	-	< 7·10 ⁻⁷	-



Специализированная установка глубокой очистки МОС:



14/15

Заключение

Полученные результаты (11.2022-02.2023):

- Собраны, систематизированы и обобщены литературные данные о летучих соединениях Zr, Hf, Ti, Cu, Co, Ru. Определены классы соединений, перспективных для использования в процессах осаждения оксидных или металлических слоев.
- Разработана методика анализа МОС Cu с β -дикетонатными лигандами, позволяющая характеризовать соединения чистотой 5N4.
- Индустриальному партнеру переданы образцы Cu(acac)₂ чистотой 5N (по 60 элементам)

Затруднения:

Поставки определенных реагентов/оборудования

Основные ожидаемые результаты (2023):

- Разработка методик анализа МОС Ti, Hf, Zr, от 50 примесных элементов с пределами обнаружения 10⁻⁵-10⁻⁷ масс.%.
- Разработка методик синтеза МОС Ti, Hf, Zr: TDMAT = Ti(N(CH₃)₂)₄ (частота 5-6N),
TEMAN / TEMAZ = M(N(CH₃)(C₂H₅))₄,
CpM(N(CH₃)₂)₃ M = Hf или Zr (частота 5-6N, кроме Zr или Hf (3N-4N))
- Передача экспериментальных образцов высокочистых МОС Индустриальному партнеру

(2024):

- Разработка методик анализа МОС Cu, Ru, Co, от 50 примесных элементов с пределами обнаружения 10⁻⁵-10⁻⁷ масс.%.
- Разработка методик синтеза и изготовление высокочистых образцов МОС Cu, Ru, Co: не менее 5 шт., включая Ru(⁴Cp)₂, Co(Cp)(CO)₂, Cu(Q)_x(keim)
- Подбор прекурсоров и осаждение смешанных оксидных слоев Hf-M-O (M = Zr, Ti, Sc, Sm, ...), k > 20

15/15



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Спасибо за внимание!

Лаборатория химии металлогорганических соединений для осаждения диэлектрических материалов ИНХ СО РАН:

- К.х.н.: Викулова Е.С., Доровских С. И., Волчек В.В., Ильин И.Ю., Лебедев М.С.
- К.ф.-м.н. Резванов А.А.
- Д.х.н. Морозова Н.Б.
- Асп.: Караковская К.И., Петухова Д.Е.
- Инж.: Ильдяков А.В.



Цифровой МО CVD реактор



Приемущества технологии цифрового CVD :

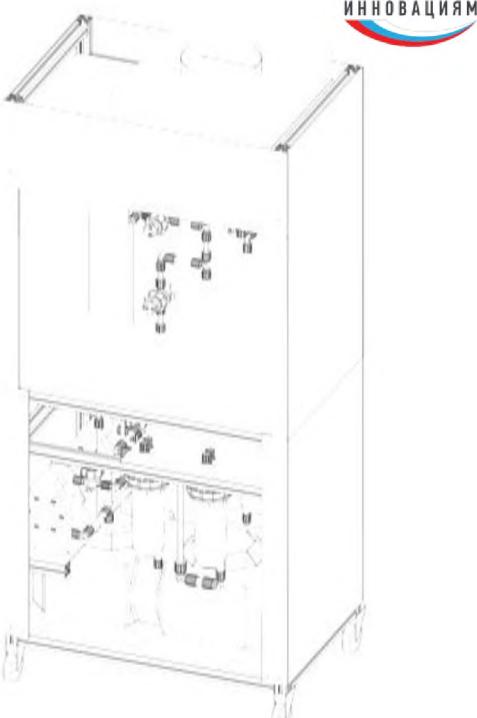
- ✓ Обеспечивает увеличение интенсификации процесса роста пленок по сравнению с обычными процессами CVD благодаря высокой эффективности использования прекурсоров.
- ✓ Обеспечивает работу как в режиме CVD, так и ALD

Технология масштабируема, производство компонентов реактора (в том числе прогреваемых клапанов) осуществляется на территории России

РАЗРАБОТКА РЕЗИСТА ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ЛИТОГРАФИИ

к.х.н. М.М. Джонс

ООО «Поликетон»



Разработка резиста для рентгеновской литографии.

ООО «Поликетон»

Нижний Новгород



Выведена в 2015



1997



iconlab

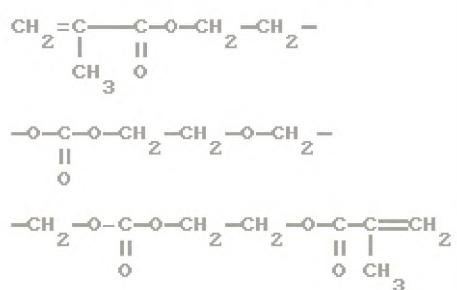
2006



2017



OKM-2



- Олигомерные основы для клеевых компаундов в авиационной отрасли
- УФ отверждаемые клеи для различных поверхностей
- УФ адгезивы



ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИНОВАЦИЯМ



Публикационная активность по направлению разработки резистов для EUV литографии

1990 – 2000

Классические ПММА резисты



2000 – 2014

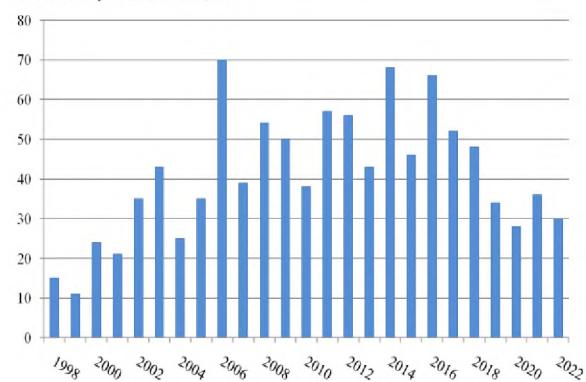
Химически усиленные резисты (CAR)
(адаптация ArF и KrF)



2014 – 2022

Молекулярные резисты,
Неорганические резисты,
Модифицированные CAR резисты

Количество публикаций в год, шт.



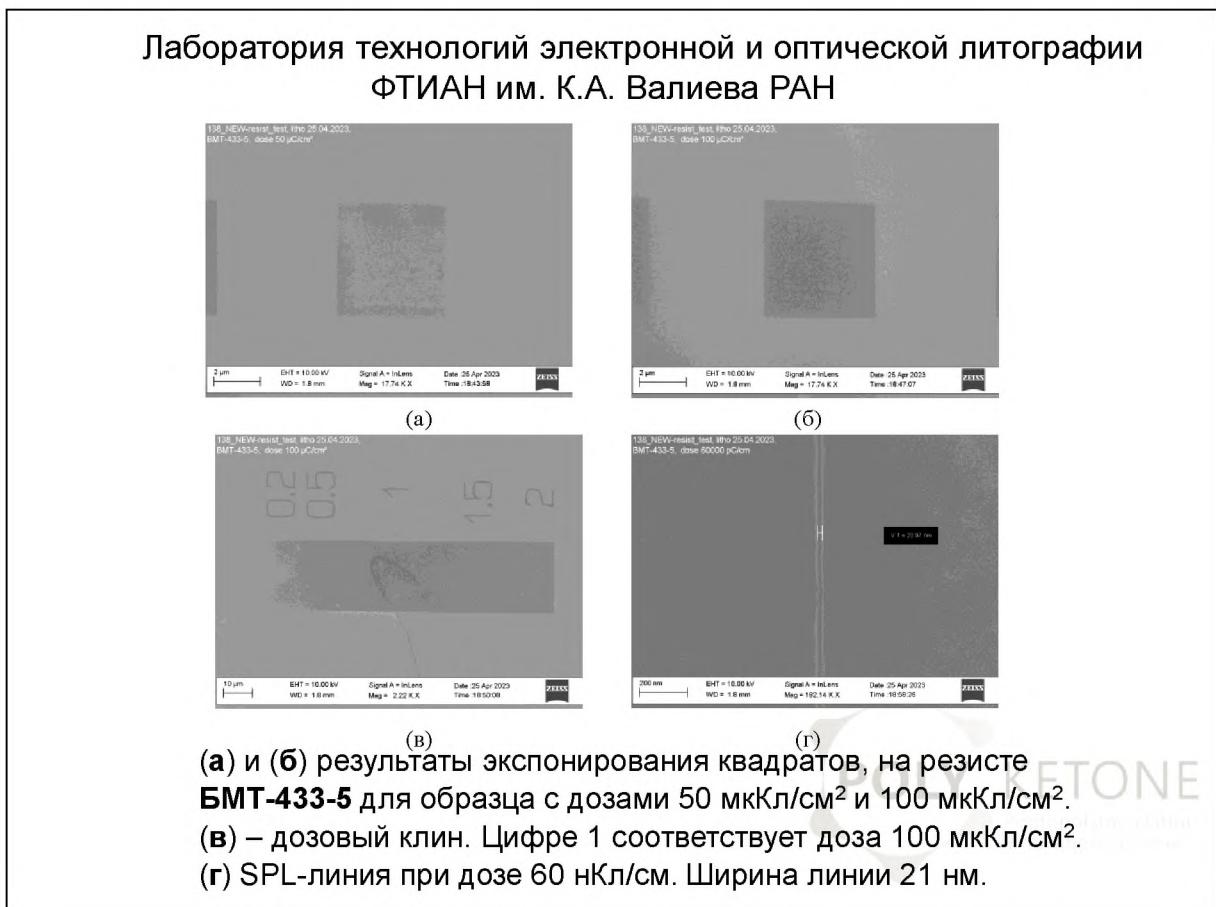
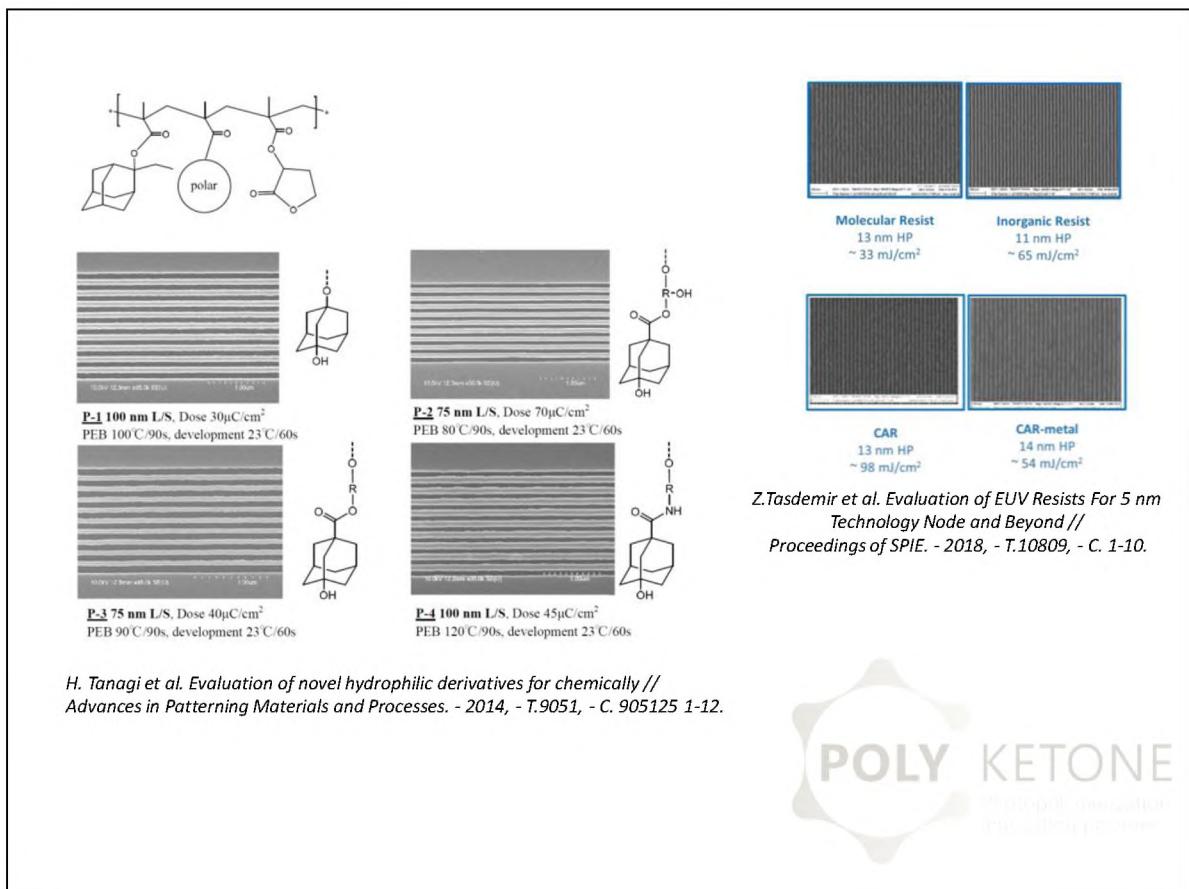
* Wood O.R. et. al *Experiments and Simulations of EUV Lithographic Resist Patterning at Wavelengths from 7 to 40 nm* // Optical Society of America. - 1994 , -T. 23, C. 83-88.

* D. He, H. Solak, W. Li, and F. Cerrina. *Extreme ultraviolet and x-ray resist: Comparison study* // Journal of Vacuum Science & Technology B. - 1999, - T.17, - C. 3379-3383.

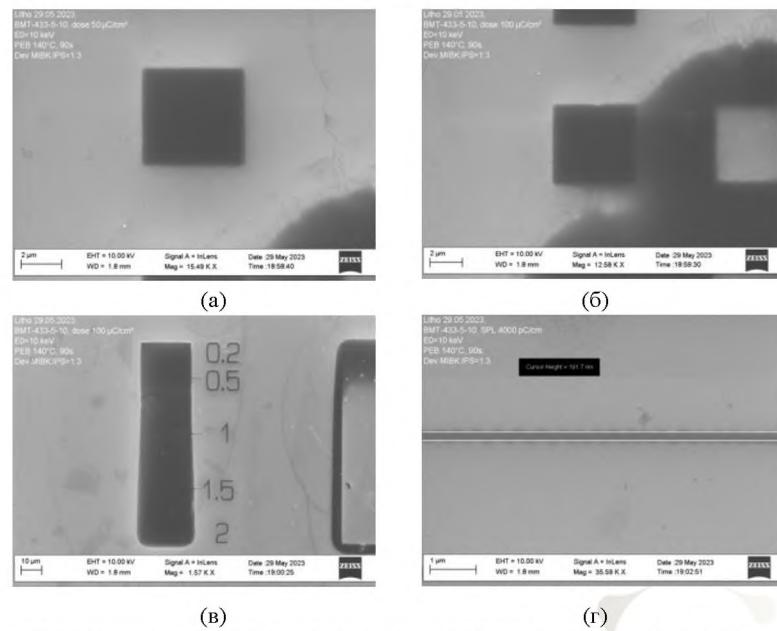
* Kozawa T. et al. *Acid distribution in chemically amplified extreme ultraviolet resist* // J. Vac. Sci. Technol. B. - 2007, - T.25, - C. 2481-2485.

* Fedynyshyn T. H., Russell B., G. and J. Roberts. *Polymer Matrix Effects on Acid Generation* // Advances in Resist Materials and Processing Technology XXV. - 2008, - T.6923, - C. 1-12.

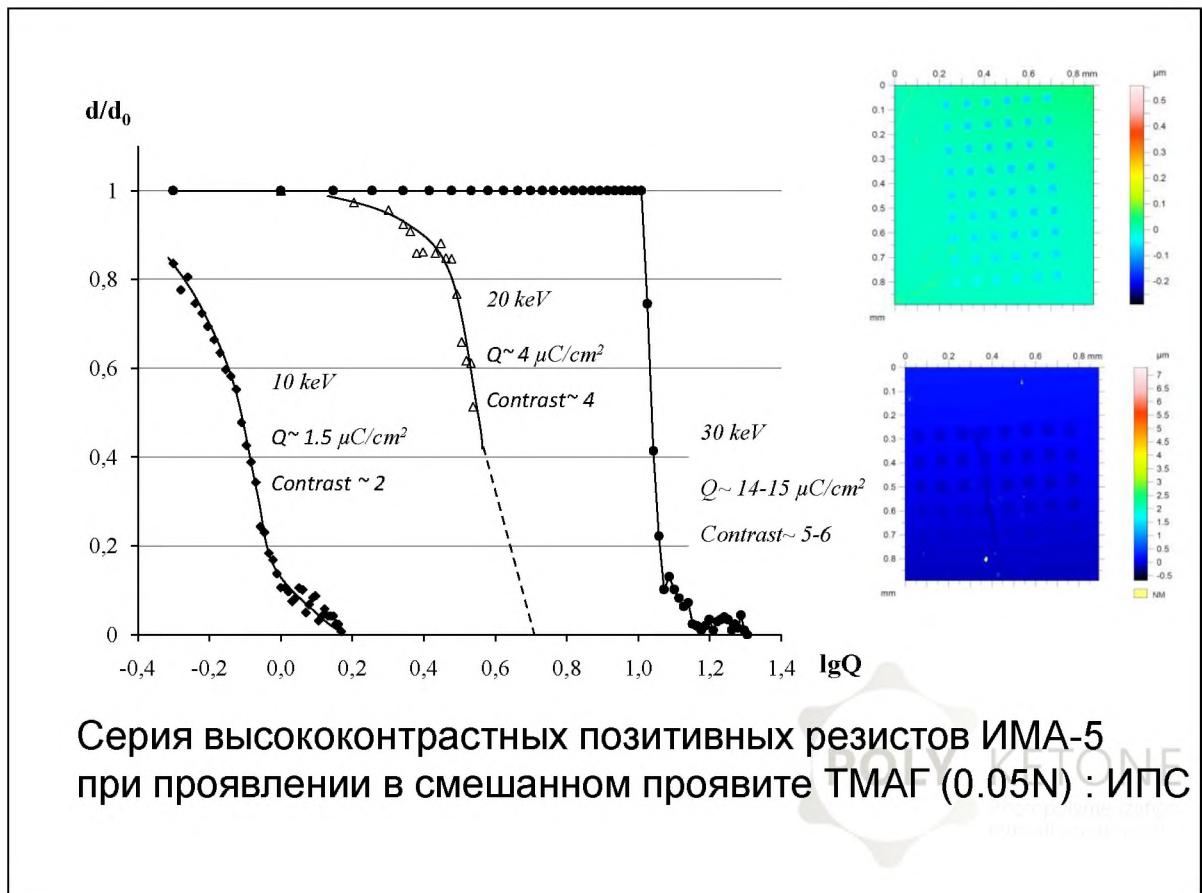
* Tsubaki H. et al. *EUV resist materials design for 15 nm half pitch and below* // Journal of Photopolymer Science and Technology. - 2013, - T.26, - №5, - C. 649-657.



Лаборатория технологий электронной и оптической литографии
ФТИАН им. К.А. Валиева РАН



(а) и (б) результаты экспонирования квадратов, на модифицированном резисте БМТ-433-5-10 для образца с дозами 50 мкКл/см² и 100 мкКл/см².
(в) – дозовый клин. Цифре 1 соответствует доза 100 мкКл/см².
(г) SPL-линия при дозе 60 нКл/см. Ширина линии 21 нм.



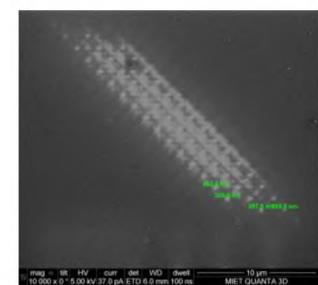
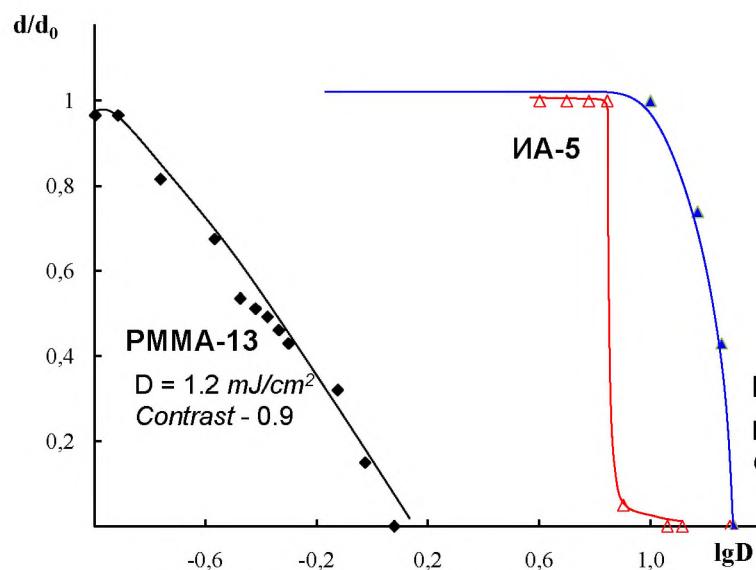


рисунок PMMA-13 полученный при экспонировании через маску HfO_2

Сравнение высококонтрастных резистов ИМА-8 и ИА-8 с модифицированным ПММА резистом при экспонировании рентгеновским излучением с длиной волны 13.5 нм



Огромное спасибо за сотрудничество!



Отдел многослойной рентгеновской оптики
Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород

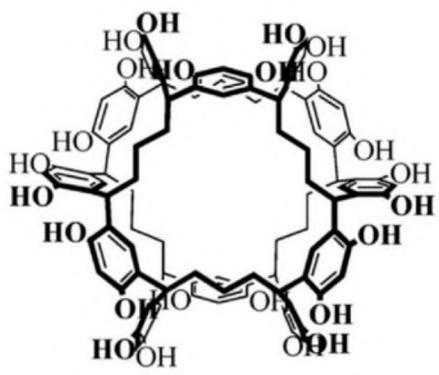
Лаборатория технологий электронной и
оптической литографии
ФТИАН им. К.А. Валиева РАН, Москва

Рогожин Александр Евгеньевич
Татаринцев Андрей Андреевич
Глаз Олег Геннадьевич
Фетисенкова Ксения Алексеевна
Киселевский Всеволод Алексеевич



Лаборатория инженерной химии
Научно-исследовательского института химии
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород





NORIA

Kudo H. et al. Molecular waterwheel (Noria) from a simple condensation of resorcinol and an alkanedial // Angew. Chem. Int. Ed. **2006**, *45*, 7948–7952.



Приложение 10.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО АНТИОТРАЖАЮЩЕМУ ПОКРЫТИЮ
АОП-193, ФР-193 И ПАВ ДЛЯ БЕЗМЕТАЛЛЬНОГО ПРОЯВИТЕЛЯ**

к.х.н. Г.В. Малков, д.х.н. Э.Р. Бадамшина (ФИЦ ПХФ и МХ РАН),
д.х.н. Н.А. Кузнецова (АО «НИОПИК»), Д.А. Варламов (АО «НИИМЭ»),
к.х.н. М.М. Джонс (ООО «Поликетон»)

*ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН
АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники»
ООО «Поликетон» АО «НИОПИК»*

СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Научный совет ОНИТ РАН

«Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания»

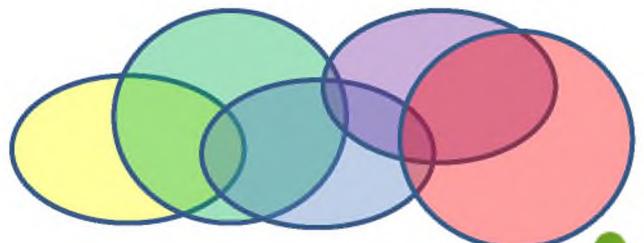
Научный совет РАН по материалам и наноматериалам

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО АНТИОТРАЖАЮЩЕМУ
ПОКРЫТИЮ АОП-193, ФОТОРЕЗИСТУ ФР-193 И
ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНОМУ ВЕЩЕСТВУ ДЛЯ
БЕЗМЕТАЛЛЬНОГО ПРОЯВИТЕЛЯ**

докладчик **Малков Г.В.**

Москва, 31 мая 2023





**консорциум организаций
специализированных на исследовании,
разработке, производстве и
использованию веществ и материалов
для фотолитографии**



НИИМЭ
НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ

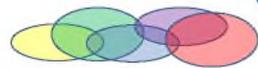


ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ПРОБЛЕМ ХИМИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ
И МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Б.Г. Грибов, Н.А. Щербаков, Д.А. Варламов, М.А. Бильданов и др.
Н.А. Кузнецова, Н.В. Малимоненко, С. Мухаметшин и др.
М.М. Джонс, А.Ю. Слиняков и др.
Э.Р. Бадамшина, Г.В. Малков, В.Г. Курбатов, А.В. Аккуратов,
А.Е. Тарасов, И.Е. Кузнецов, Т.А. Пугачева, Р.И. Комендант,
М.Е. Сидельцев, К.А. Тарусина и др.

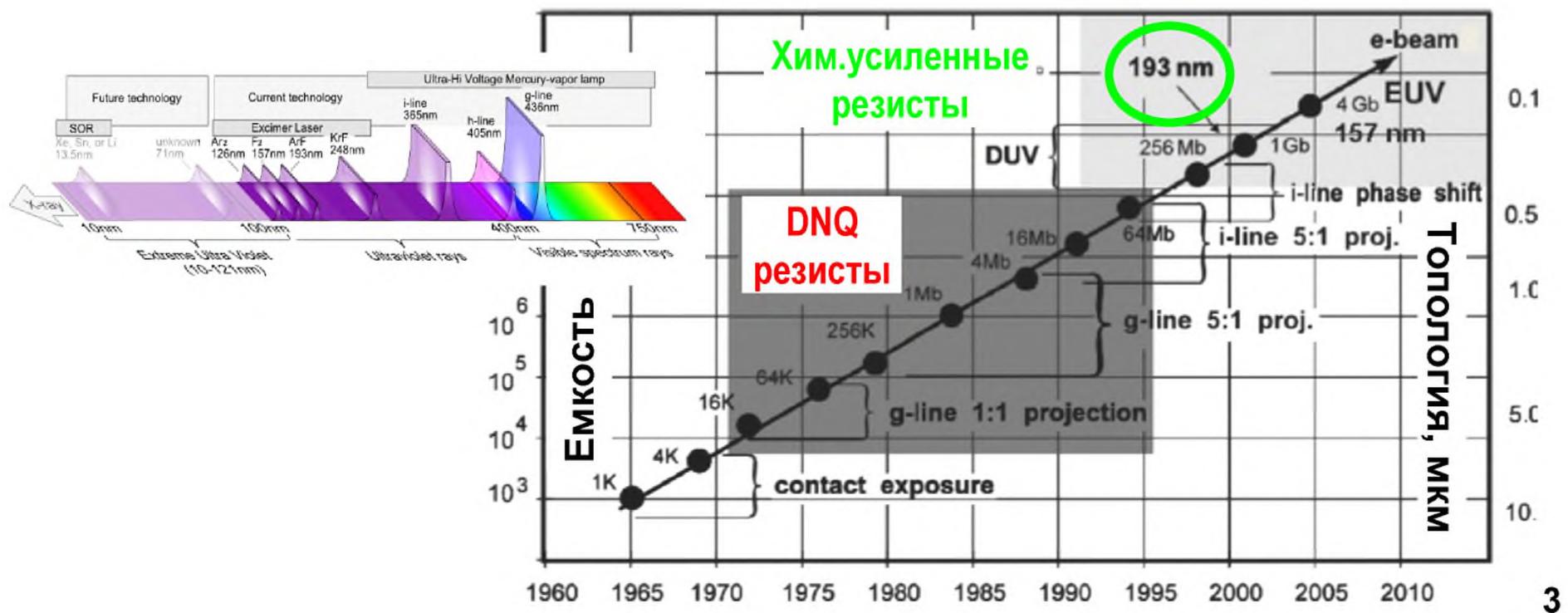
АО «НИИМЭ», ПАО «Микрон»
АО «НИОПИК»
ООО «Поликетон»

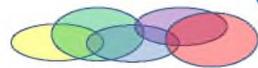
ФИЦ ПХФ и МХ РАН



Введение

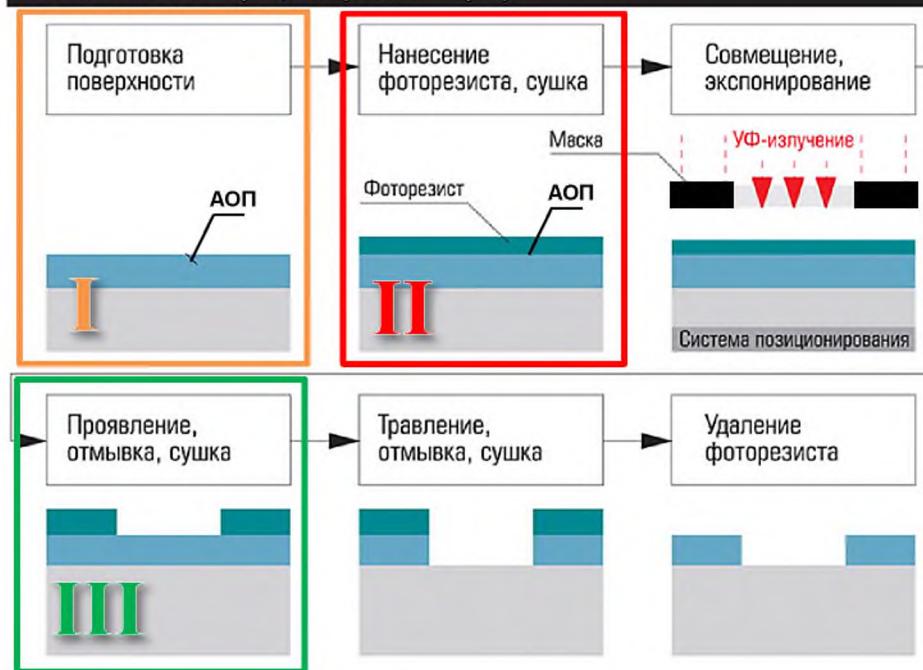
Производство интегральных микросхем – одна из «вершин» существующих в мире технологий, booster технологического развития.





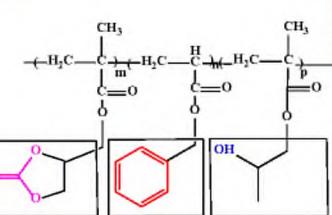
Фотолитографический процесс

Технологический процесс фотолитографии



Антиотражающее покрытие

I



Полимер

Сшивющий агент

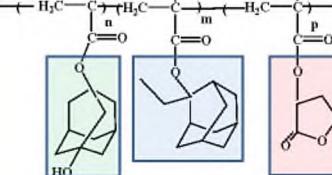
Добавки

Термогенератор кислоты

Добавки

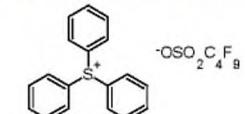
Фоторезист

II



Полимер

+ Фотогенератор Кислоты (ФГК)

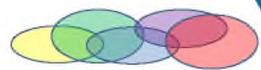


Проявитель

III

ТМАГ

+ Добавки



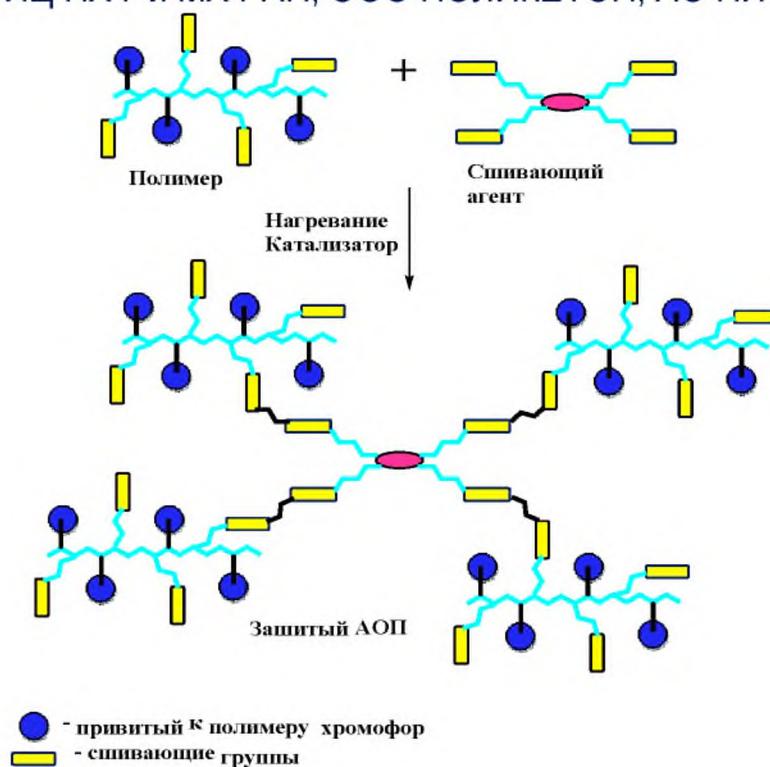
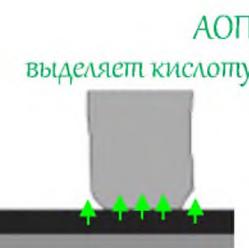
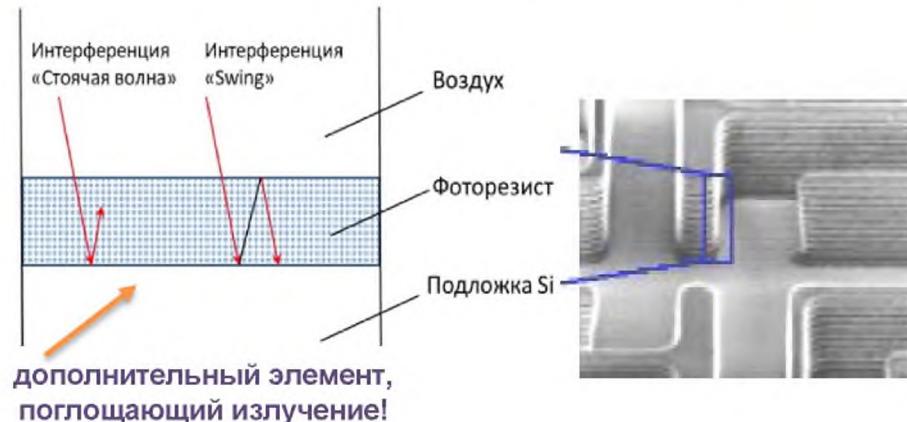
I ОКР «Разработка полимерных пленкообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня»

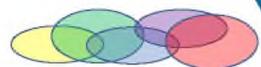
ОКР «Композиция-Б» (2020-2022 гг.)

Антиотражающее покрытие 193нм (АОП)

Головной исполнитель – АО «НИИМЭ

АО МИКРОН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК





I ОКР «Разработка полимерных пленкообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня»

ОКР «Композиция-Б» (2020-2022 гг.)

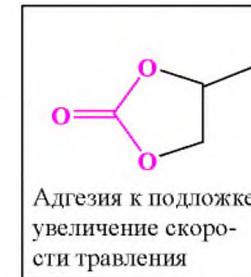
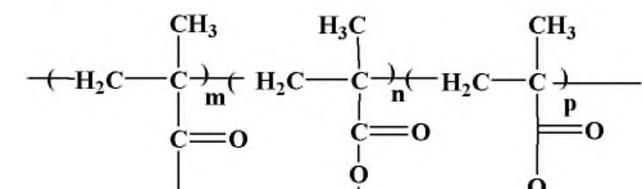
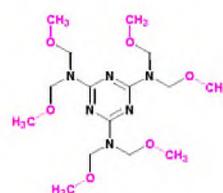
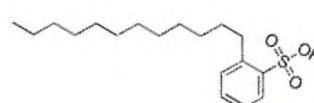
Антиотражающее покрытие 193нм (АОП)

Головной исполнитель – АО «НИИМЭ

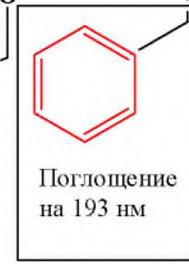
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК

Состав АОП:

- растворитель (96-97%)
- полимер (до 90% сухого)
- сшивающий агент (до 15% сухого)
- кислотный катализатор сшивки
- выравнивающий пленку ПАВ
- ФГК....



Адгезия к подложке,
увеличение скоро-
сти травления



Поглощение
на 193 нм

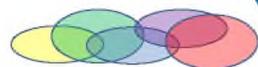


Реакция со спиша-
ющим агентом

Полимер для АОП

- Хромофорные и сшивающие кислоточувствительные группы
- НЕ прозрачный для света KrF/ArF лазера
- устойчивость к растворению после сшивки
- относительная легкость сухого травления

US Patent 8647810 B2, 2014



I ОКР «Разработка полимерных пленкообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня»

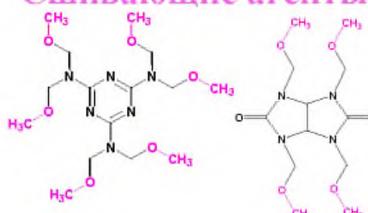
ОКР «Композиция-Б» (2020-2022 гг.)

Антиотражающее покрытие 193нм (АОП)

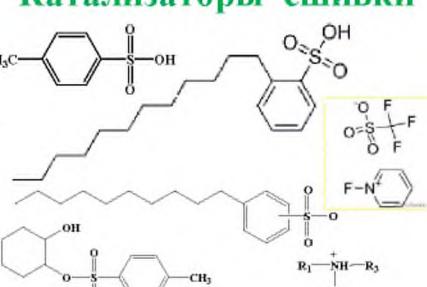
Головной исполнитель – АО «НИИМЭ

АО МИКРОН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК

Сшивющие агенты

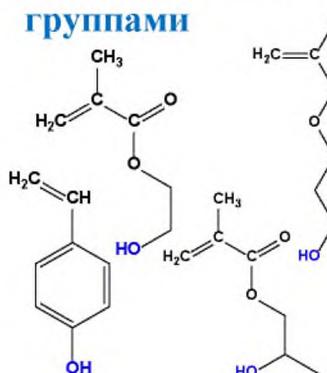


Катализаторы сшивки

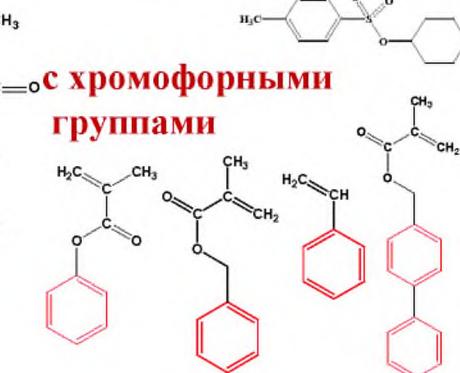


Мономеры

с сшивющими
группами



с хромофорными
группами



Бензилметакрилат

Цена, руб/кг

17820

Стирол

4050

4-Ацетокистирол

9330 (25 мл)

Фенилметакрилат

23000 (15 мл)

2-Фенилэтилметакрилат

>30 000

2-Гидроксиэтилметакрилат

5000

2-Гидроксиэтилакрилат

12200

2-Гидрокси-пропилметакрилат

-

Малеиновый ангидрид

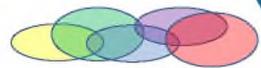
6000

Метилметакрилат

6700

трет-Бутилметакрилат

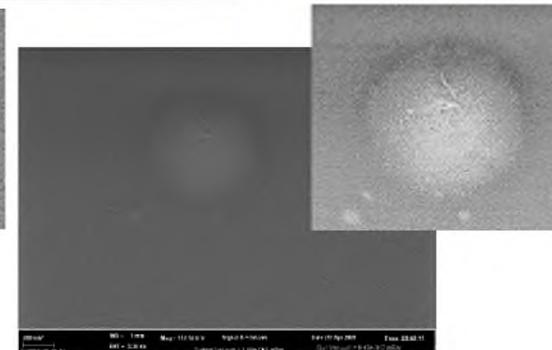
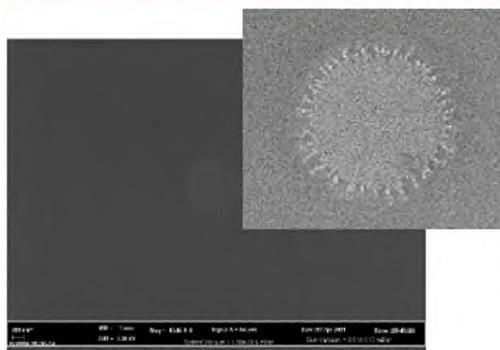
16 200 (250 мл)



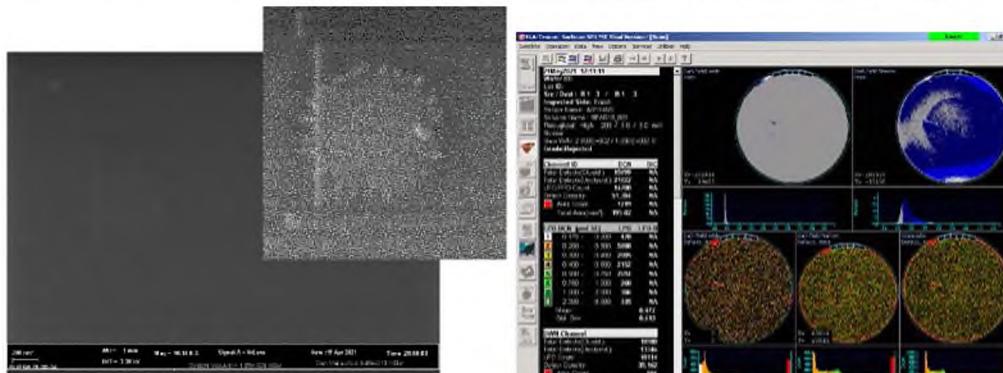
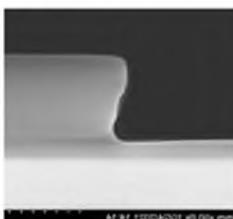
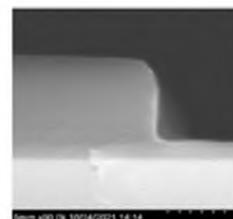
Задача №1 ОКР «Разработка антиотражающих полимерных пленкообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня»

ОКР «Композиция-Б» (2020-2022 гг.)
Антиотражающее покрытие 193нм (АОП)

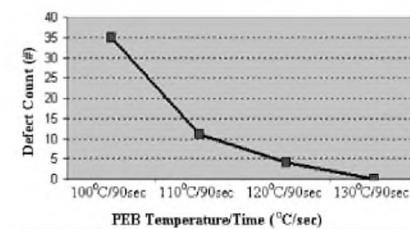
Головной исполнитель – АО «НИИМЭ
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК



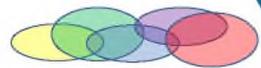
0,1 вес. % ПТС 0,2 вес. % ПТС 0,77% вес. ПТС



Согласованность кислотно-основного баланса слоев фоторезиста и антиотражающего покрытия



количество UFO зависит от условий постбайкинга:



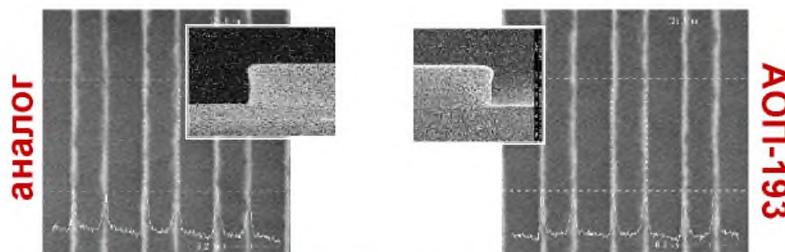
I ОКР «Разработка полимерных пленкообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня»

ОКР «Композиция-Б» (2020-2022 гг.)

Антиотражающее покрытие 193нм (АОП)

Головной исполнитель – АО «НИИМЭ

АО МИКРОН, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК



Изображения фоторезистивной маски, нанесенной на АОП-193 и на аналог

ОКР успешно сдан госкомиссии в октябре 2022 г.

В качестве полимерной основы использован полимер, разработанный в ФИЦ ПХФиМХ РАН

Производство АОП-193 налажено на мощностях ООО «Поликетон» (г. Нижний Новгород)

Сравнение линейных размеров топологических элементов

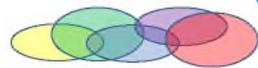
	аналог	АОП-193
Maximum	130,59	130,76
Minimum	128,93	128,10
Mean	129,68	129,09
Max-Min	1,66	2,66

Al, Mg, Mn <10 ppb

K, Cu <15 ppb

Fe, Mo < 20 ppb

Ca, Na, Zn <30 ppb



II

ОКР «Разработка и освоение производства чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм фоторезиста для микроэлектронного производства»

ОКР «Резист-1» (2022-2024 гг.)
Фоторезист 193нм (ФР)

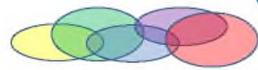
Головной исполнитель – АО «НИИМЭ
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФиМХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК

- кислотолабильные группы
- optimum:
растворимость, плазмостойкость,
вязкость, гидрофильтно-гидрофобный баланс
(ТМАН), кислотно-основной баланс (АОП-ФР,
экспФР-неэкспФР),
 n_D и адгезия к АОП
- прозрачность 193нм
- доступная сырьевая база
- стабильность при хранении
- минимальная стоимость
- высокие требования

Состав ФР:

- растворитель (80-85%)
- полимер (до 90% сухого)
- кислотный катализатор сшивки (до 15% сух)
- агент, ограничивающий диффузию кислоты;
- выравнивающий пленку ПАВ



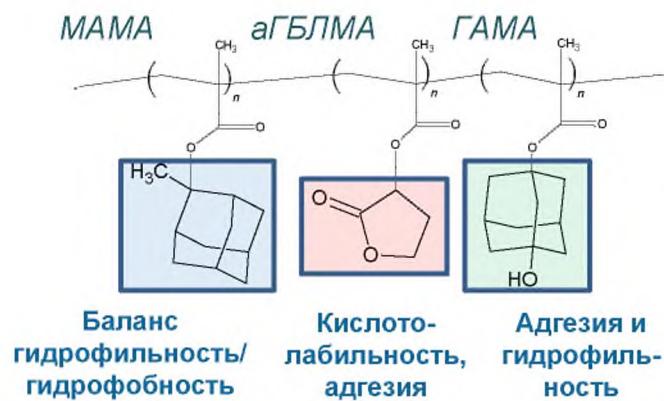


II

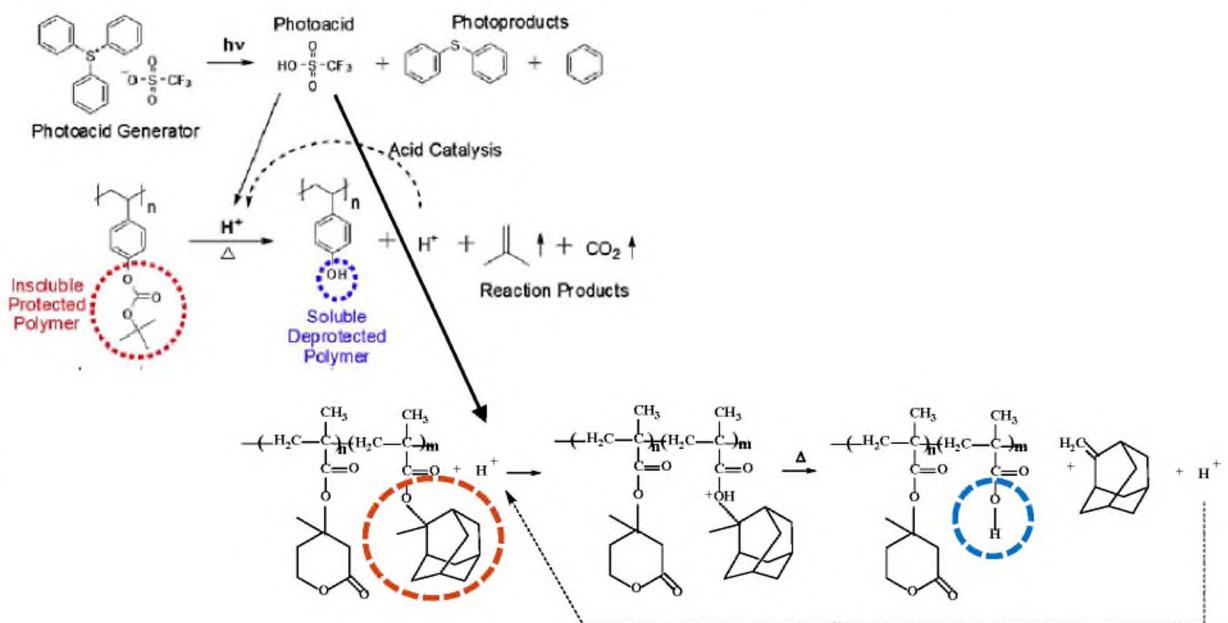
ОКР «Разработка и освоение производства чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм фоторезиста для микроэлектронного производства»

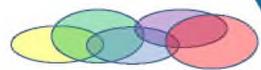
ОКР «Резист-1» (2022-2024 гг.)
Фоторезист 193нм (ФР)

Головной исполнитель – АО «НИИМЭ
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФиМХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК



ПЛАЗМОСТОЙКОСТЬ



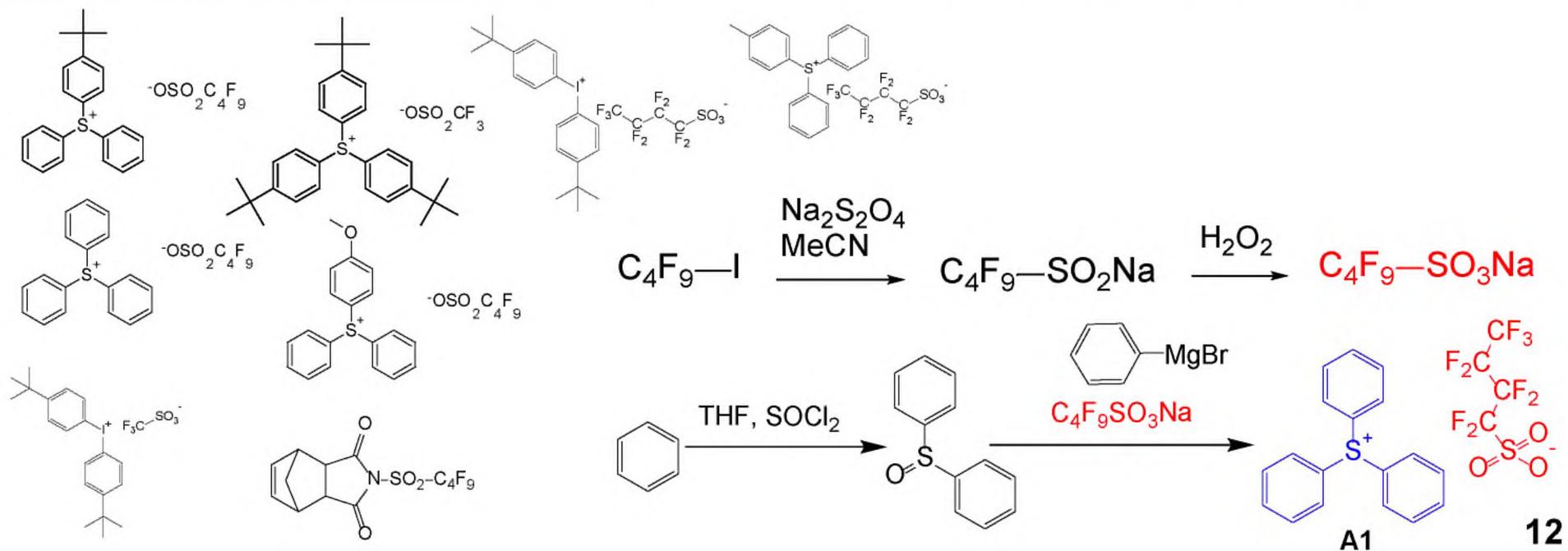


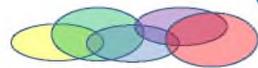
II

ОКР «Разработка и освоение производства чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм фоторезиста для микроэлектронного производства»

ОКР «Резист-1» (2022-2024 гг.)
Фоторезист 193нм (ФР)

Головной исполнитель – АО «НИИМЭ
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФиМХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК





II

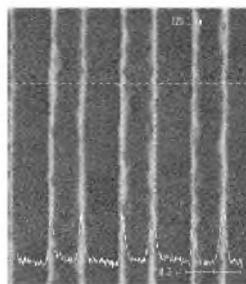
ОКР «Разработка и освоение производства чувствительного к актиничному излучению с длиной волны 193 нм фоторезиста для микроэлектронного производства»

ОКР «Резист-1» (2022-2024 гг.)
Фоторезист 193нм (ФР)

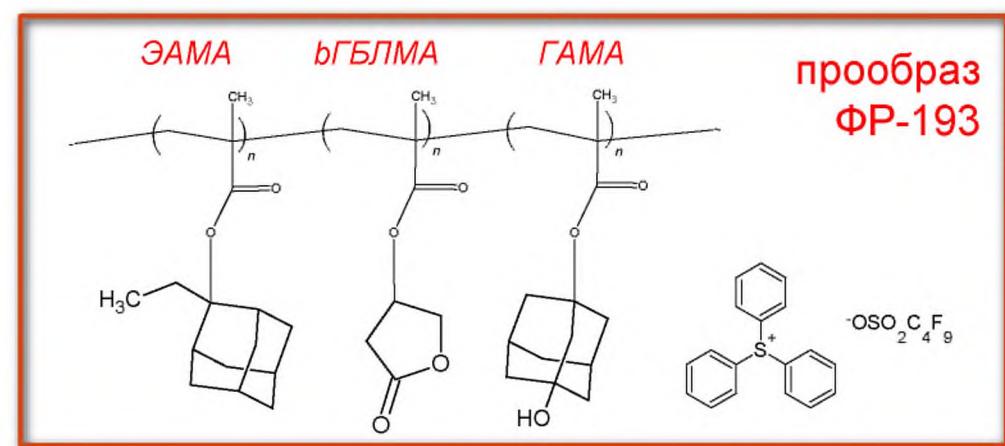
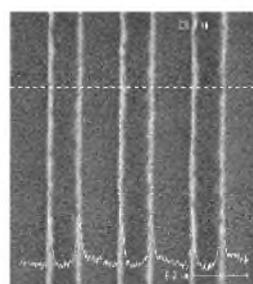
Головной исполнитель – АО «НИИМЭ
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФиМХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК

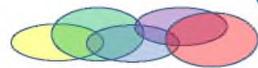
Показан потенциал разработанной
композиции при изготовлении
интегральных микросхем

ФР193-153
 $E=11,5 \text{ mJ/cm}^2$



аналог
 $E=19 \text{ mJ/cm}^2$

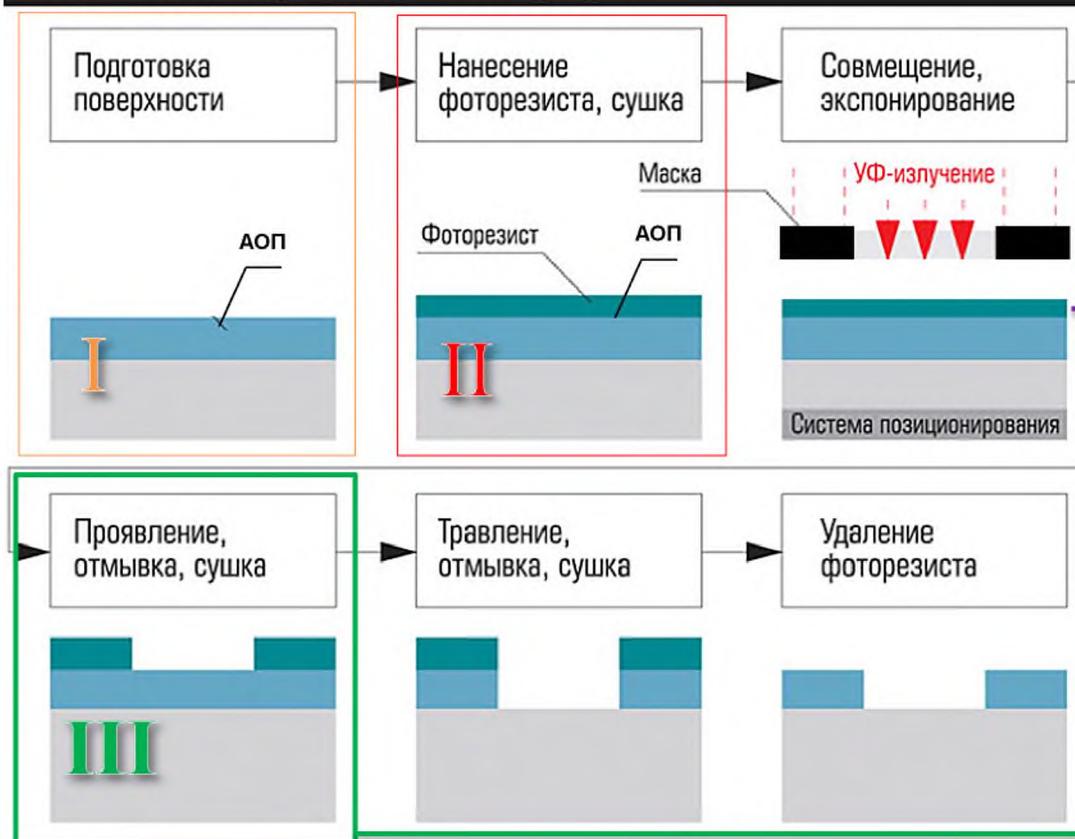




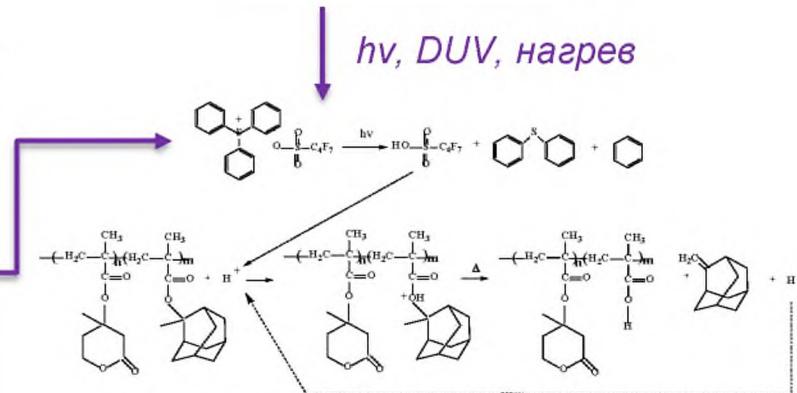
III

Стадия проявления экспонированного резиста

Технологический процесс фотолитографии

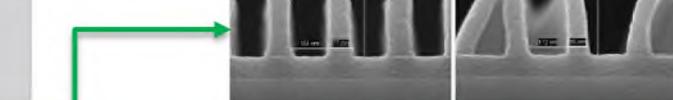


Фоторезист



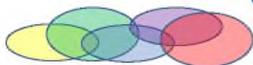
экспонированный полимер
становится растворимым

проявление, ..., сушка

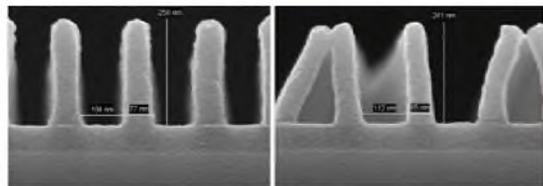


!!!

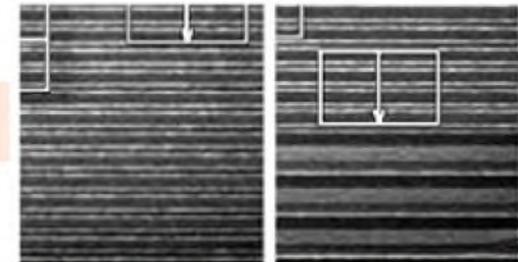
минимизация размера элементов ИС 14



Коллапс рисунка и его причины



минимизация размера элемента



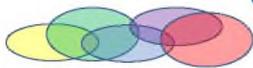
ширина фоторезистивных структур
уменьшение

высота фоторезистивных структур
 $\sim \text{const}$

увеличение аспектного отношения,
утончение стенок

снижение механической прочности линий фоторезиста
+ несбалансированные капиллярные силы, действующие
между линиями во время стадии сушки после проявления
+ пузыри и некачественное смачивание ФР проявителем

брак



Поверхностно-активные вещества (ПАВ)

Для предотвращения коллапса линий
фоторезиста, наиболее простое - уменьшение капиллярных сил
добавкой в проявитель **поверхностно-активных веществ (ПАВ)**.

Катионные ПАВ

сложности с их очисткой от микропримесей и
онов металлов

Неионогенные ПАВ,

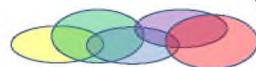
например, блоксополимеры окиси этилена и
окиси пропилена

Цель работы – разработка ПАВ для безметалльного проявителя

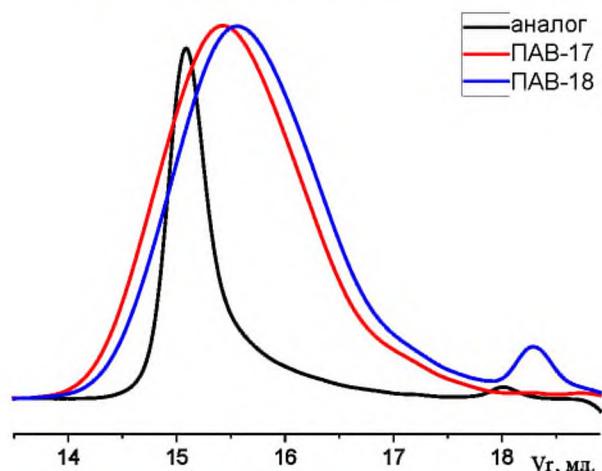
методика получения, наработка образцов,
тестирование полученных образцов в техпроцессе фотолитографии ПАО МИКРОН

Исследование импортных ПАВ (аналогов)

**Катионная полимеризация окиси этилена и окиси пропилена под действием
эфирата трехфтористого бора (ЭТБ) в присутствии пропиленгликоля (ПГ)**

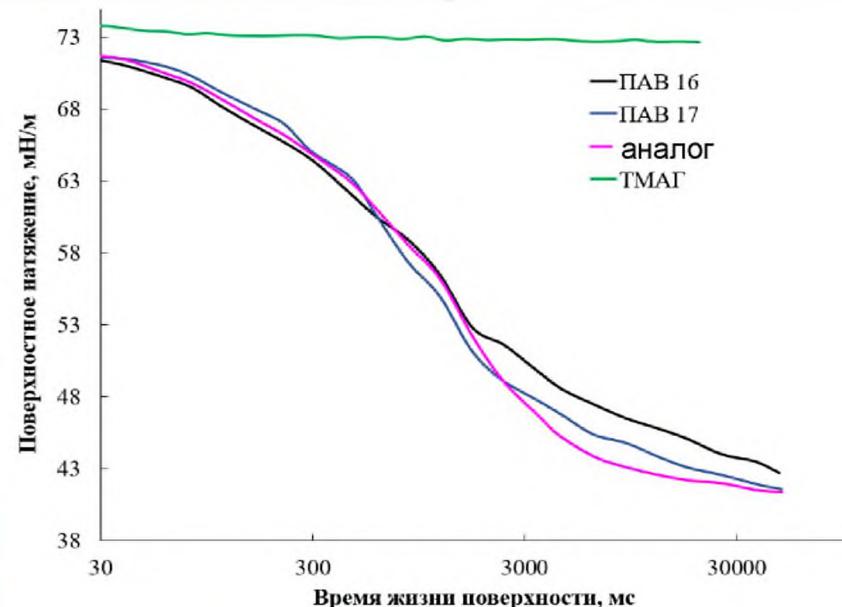


Характеристики ПАВ

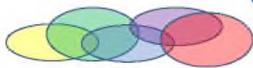


Образец	Поверхностное натяжение*, мН/м	M _w	M _w /M _n
Аналог	39,42	2410	1,43
ПАВ-17	35,97	2660	2,02
ПАВ-18	36,10	2260	2,03

*в растворе ТМАГ с концентрацией 2.38 масс.%,
[пав] = 0.008 масс.%



Отработана методика очистки полученного полимера
проведено масштабирование условий синтеза до уровня, позволяющего получать ПАВ в необходимых объемах

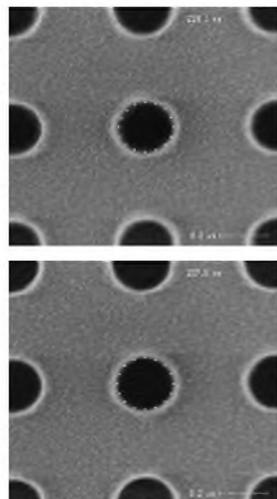


Сравнительный анализ безметалльного проявителя на аналоге и отечественном ПАВ (АО НИИМЭ –АО МИКРОН)

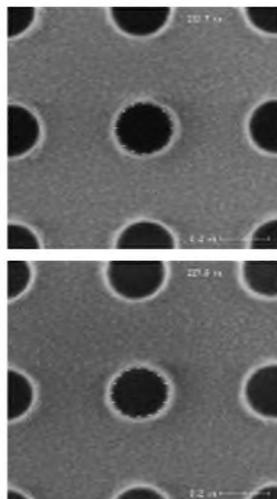
Альтернативный проявитель ПБМ изготовлен с применением
разработанного ПАВ

Сравнение внешнего вида контрольного элемента

Текущий проявитель



Альтернативный проявитель



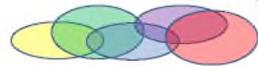
Центр пластины

Анализировались:

дефектность проявителя, линейные размеры ФРМ, внешний вид получаемых элементов, дефектность ФРМ, процент выхода годных пластин

Край пластины

При использовании разработанного ПАВ в составе безметалльного проявителя на основе ТМАГ
отклонений в техпроцессе фотолитографии не выявлено



Паспорт на проявитель безметальный марки ПБМ-01



АО «НИИМЭ»
124460, Россия, Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, 6/1
Тел.: +7 (495) 229 72 99, +7 (495) 229 70 00
Факс: +7 (495) 229 77 73
www.nime.ru

ПАСПОРТ №002/2023
Проявитель безметальный
марки ПБМ-01
ТУ 21.10.20.120-001-92611467-2020
ОКПД2 21.10.20.120

Номер партии: 002/2023
Дата изготовления (приёмки): 31.01.2023
Количество проявителя в партии: 21x190 л с ПАВ-35 (ФИЦ ПХФ и МХ РАН)

Наименование параметра, единица измерения	Норма по ТУ 21.10.20.120-001-92611467-2020	Результат испытаний
1 Нормальность (молярная концентрация эквивалента), моль/л	0,26111±0,0005	0,26134±0,00048
2 Массовая доля примесей элементов, % масс., не более:		
- алюминий (Al)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- железо (Fe)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- калий (K)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- кальций (Ca)	2,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- магний (Mg)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- медь (Cu)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- натрий (Na)	2,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- никель (Ni)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- хром (Cr)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
- цинк (Zn)	1,0·10 ⁻⁷	<0,05·10 ⁻⁷
3 Массовая доля карбонатов (CO ₃) ²⁻ , % масс., не более	0,01	0,00452±0,00095
4* Концентрация взвешенных частиц эквивалентным диаметром, шт./см ³ , не более:		
- свыше 0,3 мкм	150	0,92
- свыше 0,5 мкм	35	0,08

* - заполнено по результатам периодических испытаний, протокол №3 от 19.01.2023

Гарантийный срок хранениямости – 12 месяцев при соблюдении потребителем требований ТУ 21.10.20.120-001-92611467-2020.

Продукт соответствует ТУ 21.10.20.120-001-92611467-2020.

Начальник ФХАЛ Кимрова
Начальник опытного участка Смирнова
СГК Смирнова 

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
Отдела Инфраструктуры Нано и Микроэлектронных Производств
АО «НИИМЭ»



УТВЕРЖДАЮ:
Начальник ФХАЛ
(подпись)
Кимрова А.П.
(расшифровка)
03.03.2023
(дата)
akimrova@nime.ru

Отчет об испытаниях № ПБМ01.17.02/79-1

Заказчик: АО «НИИМЭ», 124460, г. Москва, Зеленоград, ул. Академика Валиева, д.6, стр.1.
Контактное лицо: ОСМ. Варламов Д.А., dyarlamov@nime.ru
(наименование, адрес, имя и контактные данные Заказчика)

Описание образца: Безметальный проявитель ПБМ-01, образец №03, партия 002/2023
Место отбора: контур приготавления

Дата отбора/получения образца: 17.02.2023/17.02.2023 Дата проведения анализа: 28.02.2023

№/пп	Наименование параметра	Ед. изм.	Результат анализа	Метод анализа
1.	2.	3.	4.	5.
1	Алюминий (Al)	прт	<50	ИСП-МС
2	Железо (Fe)	прт	<50	ИСП-МС
3	Калий (K)	прт	<50	ИСП-МС
4	Кальций (Ca)	прт	<50	ИСП-МС
5	Кобальт (Co)	прт	<50	ИСП-МС
6	Литий (Li)	прт	<50	ИСП-МС
7	Магний (Mg)	прт	<50	ИСП-МС
8	Марганец (Mn)	прт	<50	ИСП-МС
9	Мель (Cu)	прт	<50	ИСП-МС
10	Молибден (Mo)	прт	<50	ИСП-МС
11	Мышьяк (As)	прт	<50	ИСП-МС
12	Натрий (Na)	прт	<50	ИСП-МС
13	Никель (Ni)	прт	<50	ИСП-МС
14	Платина (Pt)	прт	<50	ИСП-МС
15	Свинец (Pb)	прт	<50	ИСП-МС
16	Серебро (Ag)	прт	<50	ИСП-МС
17	Сурьма (Sb)	прт	<50	ИСП-МС
18	Титан (Ti)	прт	<50	ИСП-МС
19	Хром (Cr)	прт	<50	ИСП-МС
20	Цинк (Zn)	прт	<50	ИСП-МС

Место осуществления лабораторной деятельности: 124460, Российская Федерация, г.Москва, г.Зеленоград, ул. Академика Валиева, д.6, стр.6А, помещение отм. 0,000, в здании 14/В-17, А-Г (Энергокорпус, помещение №№1, 20, 1, 21, 1,22).

Регистрационный код образца: ПБМ01.17.02/79-1

Идентификации применяемого метода: 002_2018/1-НИИМЭ

Дополнение, отклонения или исключения из метода: -

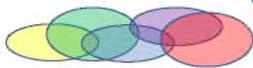
Идентификации результатов полученных от внешних поставщиков (№ приложения к Отчету) -

Результаты относятся только к объектам, прошедшим испытания, предоставленным заказчиком или подвергшимся отбору сотрудниками ОИИМП. Ни при каких обстоятельствах ФХАЛ не несет ответственности за особые или косвенные убытки. Заказчик соглашается не использовать имя ФХАЛ и полученные результаты в целях претензий лицам без получения письменного согласия на такое использование. Отчет не может быть воспроизведен, кроме как в полном объеме, без одобрения лаборатории.

Конец отчета

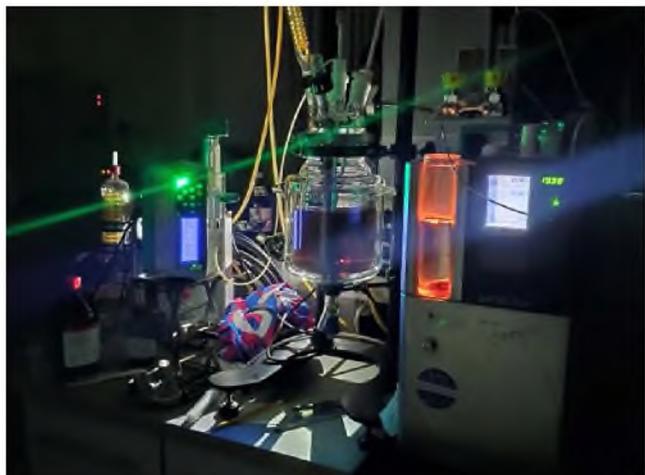
Отчет об испытаниях № ПБМ01.17.02/79-1

Страница 1 из 1



Наработка ПАВ

ФИЦ ПХФиМХ РАН



декабрь 2022 г.

Наработано
~300 г ПАВ

март 2023 г.

Наработано
~1000 г ПАВ

май 2023 г.

Наработано
~1000 г ПАВ

АО «НИИМЭ»



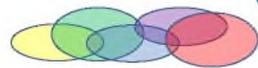
3250 литров раствора ПБМ-1

АО «Микрон»

февраль 2023 г.

600 литров ПБМ-01
использовано в
производстве без
нареканий!!!

Потребность в ПАВ: до 10 кг/год



направления работы в области материалов для МЭ

НИР «Разработка и освоение производства литографических материалов для микроэлектронного производства» (НИР «Фотолиз», 2023-2025 гг.)
Головной исполнитель – АО «НИИМЭ»,
АО МИКРОН, ФИЦ ПХФиМХ РАН, ООО ПОЛИКЕТОН, АО НИОПИК

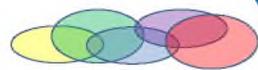
Инициативные и задельные работы в области материалов для микроэлектроники

- Добавки в суспензии для шлифования поверхностей подложек, в электролит меднения (НИИМЭ);
- Промоутер адгезии олигобензоциклогексана для СВЧ-устройств (НИИМЭ);
- Определение констант скоростей реакций при фотолитографии (НИИМЭ)
- Полимерная основа для ФР 365 нм (НИОПИК);
- Разработка электроно-, ионолучевых и рентгено-резистов (ИПТМ РАН)

Создание на базе ФИЦ ПХФ и МХ РАН

Центра для проведения исследований и производства микродобавок для микроэлектроники
с инфраструктурой «чистых» помещений.

- Разработка технологий, организация производства и обеспечение компонентами литографических материалов
- Задел по материалам для иммерсионной фотолитографии 193 нм (разрешение до 28 нм)



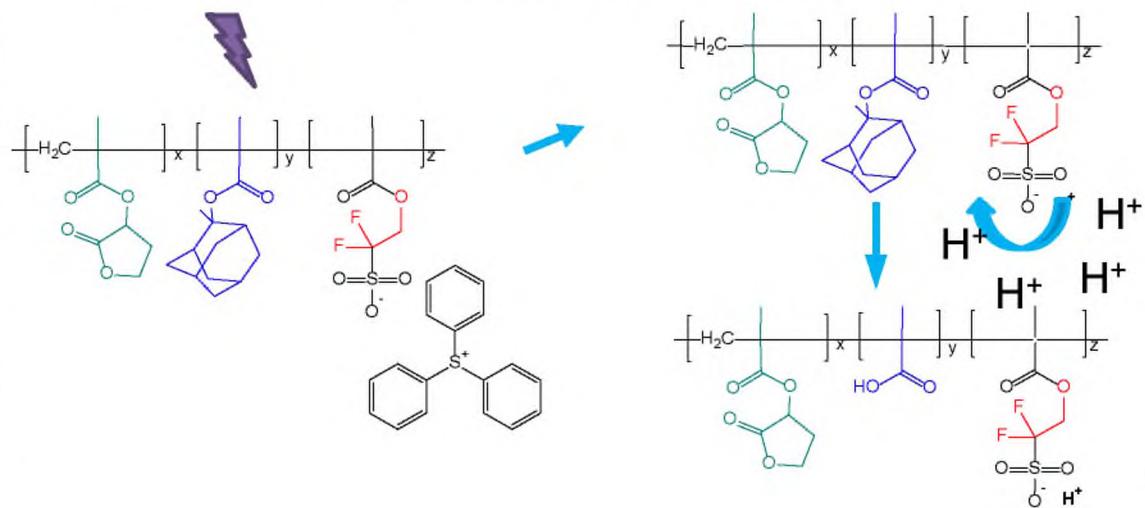
Центр для проведения исследований и производства микроДобавок для микроэлектроники

Лабораторный корпус, предлагаемый для реконструкции с целью организации микротоннажного производства материалов и перспективных разработок для микроэлектроники



Характеристики существующего объекта:

- 3 этажа;
- 1378,5 м² общая площадь;
- 639,5 м² основная площадь (FootPrint);
- есть возможность подключения к местным сетям (электроэнергия, до 320 КВА, вода техническая, канализация и теплоснабжение).



СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

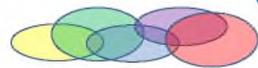
Научный совет ОНИТ РАН

«Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для ее создания»

Научный совет РАН по материалам и наноматериалам

Спасибо за внимание!

Москва, 31 мая 2023



Контактные данные



Заведующий отделом полимеров и
композиционных материалов
к.х.н. Малков Георгий Васильевич

+79067726684
gmalkov@icp.ac.ru
142432 Московская обл.,
г.о. Черноголовка,
проспект академика
Семенова, д.1



**РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ
МЕМБРАННОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА КОНЦЕНТРАТА
ТЕТРАМЕТИЛАММОНИЯ ГИДРОКСИДА**

д.т.н. А.А. Конарев, Д.А. Варламов

*АО «Научно-исследовательский институт органических
полупродуктов и красителей», АО «Научно-исследовательский
институт молекулярной электроники»*

**Разработка и освоение промышленной
мембранный электрохимической технологии
производства концентрата**

тетраметиламмония гидроксида

Конарев А.А., д.т.н., АО «НИОПИК», г. Долгопрудный

Варламов Д.А., АО «НИИМЭ», г. Зеленоград

**СЧ НИР «Подготовка и освоение производства гидроксида
тетраметиламмония»**

Шифр «Гидроксид тетраметиламмония-Н»

Контракт № 17705596339230000320/216-Н/23 от 28.04.2023

**Разработчики: АО «НИИМЭ», АО «НИОПИК», НИИХимии, (г. Нижний
Новгород)**

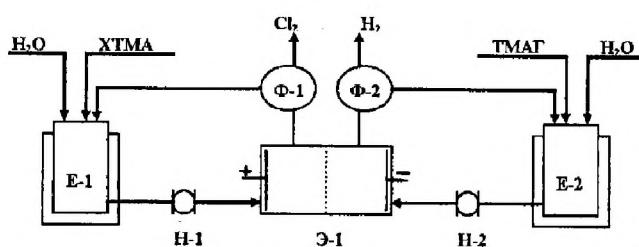
**Участники: АО «НИИХИММАШ», ООО «ТКТБ» (г. Тамбов), НПК
«Медиана-Фильтр»**

Актуальность разработки

Тетраметиламмония гидроксид (ТМАГ), используются в различных отраслях промышленности: при производстве электролитов для энергосберегающих устройств; при изготовлении печатных плат, жидкокристаллических дисплеев, в качестве чистящей жидкости для полупроводниковых подложек; в качестве исходного сырья для получения безметалльных проявителей, применяемых в микроэлектронном производстве, а также в электрохимическом органическом синтезе. Исходным продуктом для получения безметалльных проявителей является концентрат ТМАГ с содержанием основного вещества 25 % масс, к которому предъявляются высокие требования к содержанию примесей металлов (не более 5 ppb), зависящее от технологии его получения и её реализации в промышленном масштабе.

Концентрат ТМАГ, соответствующий требованиям современного уровня качества для микроэлектронного производства, в России в промышленном масштабе не производится, поэтому возникла острая необходимость в разработке и создании промышленного производства концентрата ТМАГ

Принципиальная блок - схема мембранных электрохимического получения концентрата ТМАГ из хлорида тетраметиламмония



- Э-1 – мембранный электролизер; Е-1 – термостатируемая промежуточная емкость с рубашкой для исходного раствора хлорида тетраметиламмония; Е-2 – термостатируемая промежуточная емкость с рубашкой для целевого раствора тетраметиламмония гидроксида; Н-1 - насос для циркуляции раствора хлорида тетраметиламмония; Н-2 - насос для циркуляции раствора тетраметиламмония гидроксида; Ф-1 – фазоразделитель для отделения хлора от раствора; Ф-2 - фазоразделитель для отделения водорода от раствора.

Химическая схема синтеза концентрата ТМАГ мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония

- При получении ТМАГ мембранным электролизом водного раствора хлорида тетраметиламмония протекает суммарная реакция:
$$2[(\text{CH}_3)_4\text{N}]\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow 2[(\text{CH}_3)_4\text{N}]\text{OH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2 \quad (1)$$
- При подаче постоянного напряжения на электролизер на аноде протекает основная электрохимическая реакция: $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2$ (2), а на катоде - $2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$. (3) При этом в объеме католита в результате селективного переноса катиона тетраметиламмония $([(\text{CH}_3)_4\text{N}]^+)$ через катионообменную мембрану и его взаимодействия с OH^- , возникающего по реакции (3), образуется ТМАГ с концентрацией 20-25 % по реакции:
$$[(\text{CH}_3)_4\text{N}]^+ + \text{OH}^- \rightarrow [(CH_3)_4\text{N}]\text{OH} \quad (4)$$
- Наряду с основной реакцией – образованием хлора (2) на аноде образуется побочный продукт – кислород (до 20 %) по реакции:
$$\text{H}_3\text{O}^+ - 4e \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 3\text{H}^+, \quad (5)$$
- в объеме анолита хлор подвергается гидролизу:



Химическая схема синтеза концентрата ТМАГ мембранным электролизом водного раствора бикарбоната тетраметиламмония

- В основе бесхлорной технологии получения концентрата ТМАГ лежит суммарная реакция:
$$[(\text{CH}_3)_4\text{N}]\text{HCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [(CH_3)_4\text{N}]\text{OH} + \text{H}_2\uparrow + 1/2\text{O}_2\uparrow + \text{CO}_2\uparrow$$
- При этом катодной реакцией, как и в случае применения хлорида тетраметиламмония, является электролиз воды с образованием водорода и ионов OH^- :
$$2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^- \quad (8)$$
- Образующиеся гидроксид-ионы по реакции (8), взаимодействуют с катионами тетраметиламмония, перенесенные из анолита через катионообменную мембрану, в объеме католита образуют целевой продукт - ТМАГ по реакции:
$$[(\text{CH}_3)_4\text{N}]^+ + \text{OH}^- \rightarrow [(CH_3)_4\text{N}]\text{OH} \quad (9).$$
- При электролизе водного раствора бикарбоната тетраметиламмония на аноде протекает реакция с образованием кислорода и углекислого газа:
$$4\text{HCO}_3^- - 4e \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow \quad (10)$$

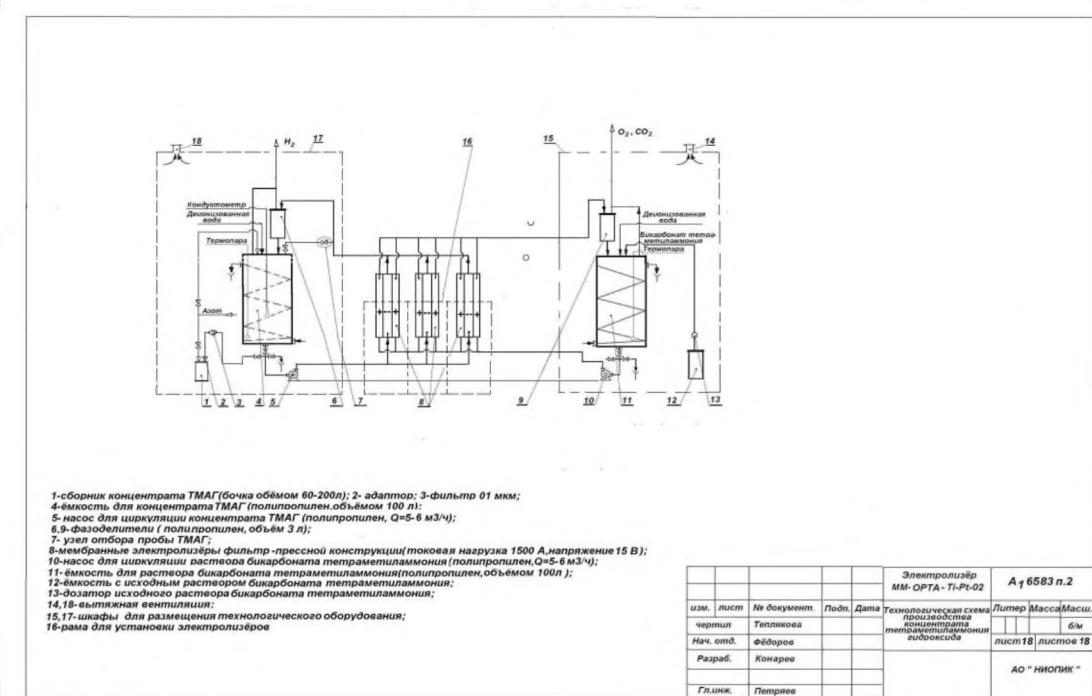
Недостатки технологии получения ТМАГ из хлорида тетраметиламмония

- содержание примесей металлом в концентрате ТМАГ превышает нормативный показатель – более 5.0 ppb, что не соответствует современному уровню качества;
- экологически опасное производство из-за образующегося газообразного продукта – хлора, что требует дополнительной технологической схемы его утилизации и герметичности используемого оборудования и коммуникаций;
- для приготовления рабочего раствора хлорида тетраметиламмония требуется дополнительная технологическая операция и соответствующее оборудование;
- использование хлорида тетраметиламмония при электролизе в анодном пространстве электролизера создаются жесткие условия для эксплуатации анодов и катионообменных мембран из-за выделяющегося хлора и продуктов его гидролиза, что требует применение дорогостоящих перфторированных мембран Нафион 324 (США) и Флемион 811(Япония), закупаемых за рубежом;
- трудоемкой операцией является обезвреживание отработанного анолита после электролиза из-за наличия в нем остаточных количеств хлора и щелочного раствора , полученного после утилизации хлора.

Опытно-промышленная технологическая схема производства концентрата ТМАГ в АО «НИОПИК»



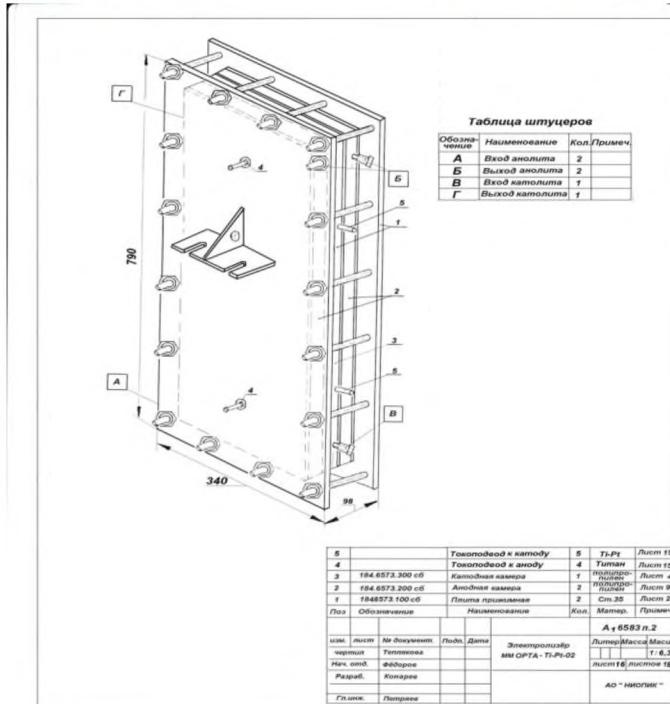
Технологическая схема промышленного производства концентрата ТМАГ мощностью 15 т/год



Содержание примесей металлов в образцах ТМАГ

Наименование параметра	Норма %	ТМАГ ИМПОР.	оп. 322/1	оп. 322/2	оп. 322/3	оп. 322/4
Массовая доля металлов, не более:	x10-7	x10-7	x10-7	x10-7	x10-7	x10-7
Алюминий (Al)	5.0	2,4	1.8	2.5	2.2	1.1
Магний (Mg)	5.0	< 0,5	1.4	1.4	1.3	1.9
Железо (Fe)	5.0	1,9	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Калий (K)	5.0	< 0,3	0.9	1.0	1.7	< 0,5
Кальций (Ca)	10.0	6,6	12.0	10.0	7.3	8.3
Медь (Cu)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Натрий (Na)	10.0	2,8	< 10	9.3	9.6	7.9
Никель (Ni)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0.6	< 0,5
Хром (Cr)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Цинк (Zn)	5.0	7,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Титан (Ti)	5.0	< 1	3.0	4.0	3.6	4.1
Молибден (Mo)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Кобальт (Co)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Серебро (Ag)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Сурьма (Sb)	5.0	< 1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 2.0
Свинец (Pb)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Мышьяк (As)	5.0	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Марганец (Mn)	5.0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Платина (Pt)	5.0	2,4	< 0,5	1.4	1.7	2.2
Литий (Li)	5.0	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

Промышленный мембранный электролизер фильтр-прессной конструкции: I=500А, U=7-10В



Заключение

В АО «НИОПИК» создано опытно-промышленное производство концентрата ТМАГ мощностью 4.5 т/год и на его основе производство безметалльного проявителя. Концентрат ТМАГ получают с выходом по веществу 95-98 %, выходом по току 50-56 %, энергоемкостью 1.0 -1.2кВтч/кг и содержанием примесей металлов не более 5 ppb.

Разрабатываемая промышленная бесхлорная технология получения концентрата ТМАГ является более технологичной, экологически безопасной и экономически целесообразной по сравнению с технологией получения концентрата ТМАГ из хлорида тетраметиламмония, и позволяет достигать высокое качество материала и безметалльного проявителя на его основе, что внесет значительный вклад в технологическую независимость России от иностранных государств и обеспечит получение новых технических и научных компетенций в области синтеза материалов для микроэлектронного производства.

Исходя из механизма анодного процесса, протекающего в водном растворе бикарбоната тетраметиламмония, появляется принципиальная возможность использовать отечественные катионообменные мембранны при получении концентрата ТМАГ вместо импортных дорогостоящих перфторированных катионообменных мембранны Нафцион 324 и Флемион 811, что подтверждено

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ: СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ**

академик РАН В. М. Бузник

Институт общей неорганической химии (ИОНХ РАН)

**ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХ**



Отечественные фильтровальные материалы и
изделия из поливинилиденфторида и
политетрафторэтилена, получаемые методами
электроформования и 3D-печати

В.М. Бузник – д.х.н., академик РАН, ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН
Е.Н. Больбасов – к.т.н., Томский Политехнический Университет
М.Е. Трусова – д.х.н., Томский Политехнический Университет



«Импортозамещение материалов для микроэлектроники»

31 мая 2023 г.

В процессах производства микроэлектронных компонентов требуется большого количества сервисных сред, зачастую очень агрессивных, обладающих высокой степенью чистоты: воздуха, азота, кислорода, воды, растворителей, электролитов и т.д.



Фильтры жидкостей



Фильтры газов

Основной тренд – чем меньше размер элемента чипа, тем выше требования к фильтрующим элементам используемых фильтров

Основные производители фильтров в России:



группа компаний
ВОЗДУШНЫЕ
ФИЛЬТРЫ



ПРОМЭЛВЕНТ
поставки инженерных систем



МЕДИАНА
ФИЛЬТР



ecoAKVA.com



IMP GOLD



аквантис



Системы фильтров



DFilter
world class filters



URALFILTER



аквантис



Основные производители фильтрующих материалов в России:



ОБНИНСКИЕ ФИЛЬТРЫ
ЭКСПРЕСС-ЭКО
с 1991 года



SORBENT



VLIADIPOR



Основные поставщики фильтрующих материалов в Россию:



AAF
INTERNATIONAL



3M



GORE
Creative Technologies
Worldwide



Graver Technologies



Parker



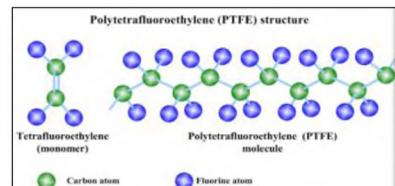
PALL

Основная проблема – дефицит качественных отечественных фильтрующих материалов, зависимость от импорта



Сцена открытия тефлона в лаборатории DuPont (справа Рой Планкетт)

6 апреля 1938 г Рой Планкетт “случайно” открыл новый полимерный материал – политетрафторэтилен (ПТФЭ) (тефлон, фторопласт 4)



Химическая структура ПТФЭ

Основные свойства ПТФЭ

Превосходная химическая стойкость

Низкая свободная энергия

Высокая термостойкость

поверхности

Хорошие механические свойства

Низкий коэф. трения

Высокая биосовместимость

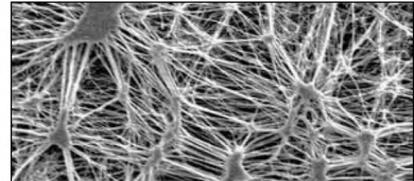
Отсутствие растворимости

Высокая вязкость расплава

ПТФЭ - очень трудно и дорого перерабатывать в изделия



Сцена открытия Е-ПТФЕ – быстрое растягивание цилиндра из ПТФЕ нагретого до высокой температуры (Robert Gore)



Структура пористого ПТФЭ

Основные сферы применения Е-ПТФЕ

Кабельная промышленность
Химическая промышленность
Авиационная промышленность

Атомная промышленность
Сельское хозяйство
Космическая промышленность

Фильтры – одна из основных сфер использования Е-ПТФЕ

Основная проблема – дорогая технология, дорогой фильтр !

5

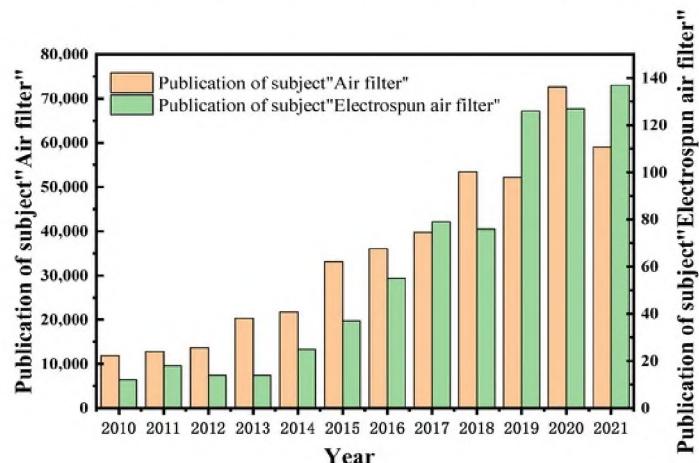
Принципиальная схема получения фильтрующих материалов методом электроформования

Филиатов И.Ю.,
Филиатов Ю.Н.,
Якушкин М.С.
Электроформование
воздушных
волокнистых
материалов на
основе
полимерных
микро- и
нановолокон.
История, теория,
технология,
применение.
Тонкие
химические
технологии.
2008;3(5):3-13.



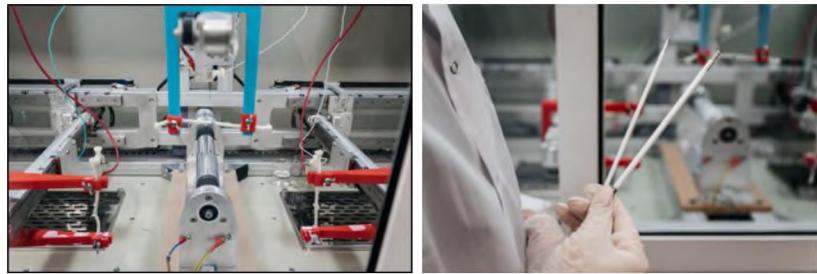
Достоинства - широкий спектр полимеров для переработки, высокая масштабируемость и вариативность, относительная простота технологического оборудования, высокая производительность

Количество публикаций по теме “Мембранные полученных методом электроформования для фильтрации воздуха”



7

3-х канальная система получения фильтрующих материалов методом электроформования изготовленная в ТПУ



Название: Полупроницаемые полимерные мембранные из фторполимеров для химической атомной и энергетической промышленности.

Назначение: Фильтрация минеральных жидкых и газообразных агрессивных сред (F₂, HF, HCl, NaOH и т.д.), мембранный дистилляция, элементы водородных топливных элементов и литий-ионных батарей, материалы для реконструктивной хирургии.

Варианты исполнения:

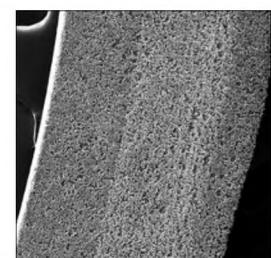
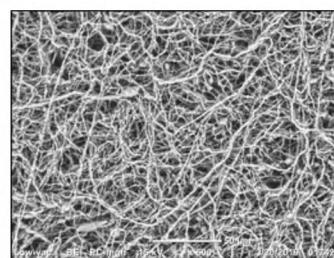
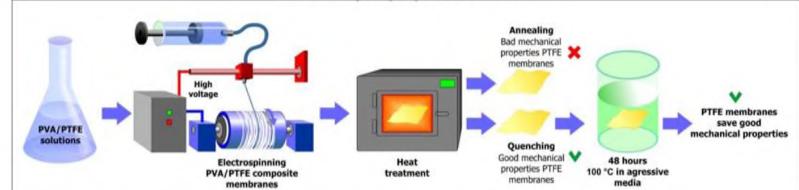
- Плоские мембранные размером 210×297 мм, толщиной от 20 до 500 мкм.
- Трубчатые мембранные внутренним диаметром от 1 до 40 мм, толщиной от 20 до 500 мкм

ГалоПолимер

Фторопласт-ЭМ	ГалоПолимер	Фторопласт-Ц-2	ГалоПолимер	РТФЕ	ГалоПолимер
Брендовое название: Фторопласт-ЭМ Наименование производителя: ОАО «ГалоПолимер» Брендовое название: ГалоПолимер Наименование производителя: ОАО «ГалоПолимер» Брендовое название: Фторопласт-Ц-2 Наименование производителя: ОАО «ГалоПолимер» Брендовое название: РТФЕ Наименование производителя: ОАО «ГалоПолимер»	www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru	www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru	www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru	www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru	www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru www.Galopolymer.ru

Отечественное сырье – основа низкой стоимости и технологического суверенитета в производстве фильтрующих элементов

Схема получения фильтрующих материалов из ПТФЭ методом электроформования

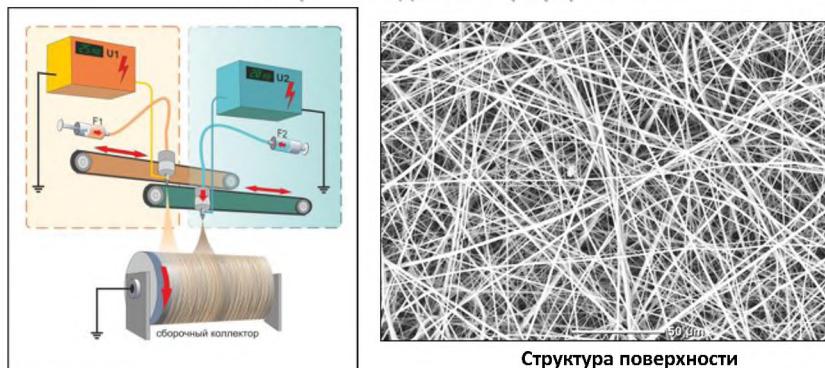


Структура поверхности и сечение фильтрующего материала из ПТФЭ полученного методом электроформования

Физико-химические свойства ПТФЭ мембран полученных методом электротиппинга

Наименование параметра	Параметрические характеристики
Материал мембран	Политетрафторэтилен
Прочность при одноосном растяжении	до 4 МПа
Относительное удлинение	до 200 %
Пористость	до 70 %
Размер волокон	от 300 нм до 2 мкм
Размер пор	от 30 нм до 30 мкм
Температура эксплуатации	от -200°C до +250°C
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, газообразному фтору и хлору
Краевой угол смачивания водой	160°
Краевой угол смачивания моторным маслом	менее 10°
Радиационная стойкость	До 2 МРад
Горючность	Не горит

Схема получения фильтрующих материалов из ПВДФ и его сополимеров методом электроформования



Электроформование за один технологический цикл без нагрева

Структура поверхности фильтрующего материала из ПВДФ полученного методом электроформования

12

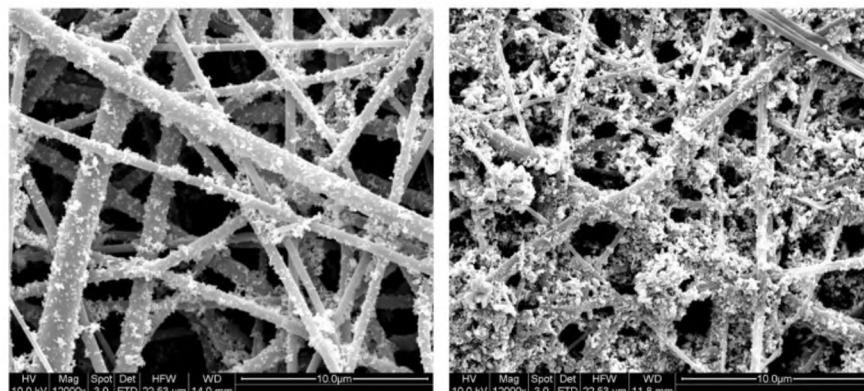
Физико-химические свойства ПВДФ мембран полученных методом электротиппинга

Наименование параметра	Параметрические характеристики
Материал мембран	ПВДФ, сополимер ТФЭ-ВДФ
Прочность при одноосном растяжении	до 20 МПа
Относительное удлинение	до 200 %
Пористость	до 70 %
Размер волокон	от 300 нм до 2 мкм
Размер пор	от 30 нм до 30 мкм
Температура эксплуатации	от -100 °C до +130°C
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам
Краевой угол смачивания водой	160°
Краевой угол смачивания моторным маслом	менее 10°
Электретные свойства	+
Время сохранения электретных свойств	До 3 лет

ПВДФ мембранны применяются для фильтрации органических кислот и щелочей, используются в воздушных HEPA-фильтрах

13

Поверхность фильтрующего материала из ПВДФ полученного методом электроформования



Через 10 часов работы

Через 20 часов работы

ПВДФ мембранны - эффективный воздушный НЕРА-фильтр ¹⁴

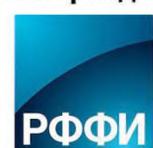
Основные заказчики НИР и НИОКР по фильтрующим материалам из ПВДФ полученного методом электроформования в ТПУ



соДвент

РНФ

Российский
научный фонд



Основные производители FDM принтеров в России:

PICASO



IMPRINTA



F2innovations

РУСАТОМ
АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ

Основные производители ПВДФ филамента для FDM 3D печати в России:

Отсутствуют ☹

Основные поставщики ПВДФ филамента для FDM 3D печати в Россию:

ARKEMA
INNOVATIVE CHEMISTRY



DAIKIN
3M

Основная проблема – отсутствие отечественного ПВДФ филамента для FDM 3D печати

16

Технологическая схема получения 3D изделий сложной формы на основе ПВДФ и его сополимеров методом FDM 3D печати реализованная в ТПУ



Подобраны марки и необходимые соотношения отечественных фторполимеров для экструзии ПВДФ филаментов



Отработаны режимы экструзии ПВДФ филамента для печати на распространённых отечественных FDM 3D принтерах



Отработаны режимы 3D-печати изделий сложной формы размером до 300×300×300 мм на отечественных 3D принтерах

Разработана первая суверенная отечественная технология изготовления изделий сложной формы методом 3D печати

Композитные материалы на основе ПВДФ и его сополимеров, углеродных нанотрубок для FDM 3D печати

Предназначены для изготовления стойких к минеральным кислотам и щелочам изделий сложной формы на производственных площадках заказчика.

Характеристики филамента: Тип 3D печати - метод послойного наплавления (fused deposition modeling, FDM). Содержание нанотрубок в композитном филаменте - от 0 до 5 % от массы полимерной матрицы. Диаметр филамента – от 1,75 до 2,85 мм.

Конкурентные преимущества: Впервые в России реализована комплексная технология переработки отечественного сырья производимого компаниями "Галополимер" и OCSiAL в современные композитные материалы для реализации метода FDM 3D печати, превосходящие по характеристикам продукты корпораций ARKEMA и DU POINT.



Композитные материалы на основе ПВДФ и его сополимеров, углеродных нанотрубок для FDM 3D печати

Основные технические характеристики 3D изделий	
Показатели	Значения
Температура эксплуатации, °C	от -90 до +160
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	до 0,45
Температурный коэффициент линейного расширения, °C ⁻¹	от 6,5×10 ⁻⁵ до 11×10 ⁻⁵
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	от 300 до 10 ¹³
Электрическая прочность, МВ/м	до 12
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 ³ Гц	до 0,02
Твердость по Шору (шкала D)	до 130
Коэффициент трения по стали	до 0,17
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	до 80
Относительное удлинение при разрыве, %	до 280
Модуль упругости при растяжении, МПа	до 2000
Ударная вязкость, кДж/м ²	до 200
Водопоглощение за 24 ч, %	Ниже 0,1
Радиационная стойкость, МДж/кг	1
Горючесть	Не горит
Способность к последующей механической обработке	Хорошая



Основные заказчики НИР и НИОКР по 3D печати изделий сложной формы на основе ПВДФ и его сополимеров в ТПУ



РУСАТОМ
АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
РОСАТОМ



СХК
РОСАТОМ

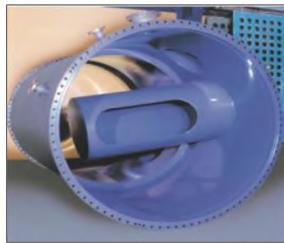


F2innovations

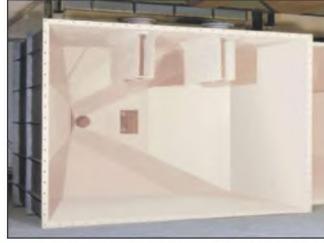


BESTFILAMENT

ГалоПолимер **приоритет2030^**
лидерами становятся



Корпус реактора с покрытием для защиты от соляной кислоты



Промывочная ванна с покрытием для защиты от раствора каустической соды



Перемешивающие устройства химического реактора

Название: Химически стойкие полимерные покрытия для защиты от жидких и газообразных агрессивных сред при повышенных температурах и давлениях.

Назначение: Защита от коррозии поверхности химических реакторов, резервуаров и трубопроводов работающих в условиях постоянного и периодического воздействия жидких и газообразных агрессивных сред (F2, H2, HF, HCl, NaOH и т.д.).

Варианты исполнения:

Покрытия "горячего" отверждения, толщиной от 20 до 300 мкм с температурой эксплуатации от -90 до +150 °C. Покрытия "холодного" отверждения толщиной от 20 до 300 мкм с температурой эксплуатации от -50 до +90 °C

21

Наименование параметра

Параметрические характеристики

Материал покрытий	Поливинилиденфторид и его сополимеры
Толщина покрытия	До 300 мкм
Адгезионная прочность к металлической подложке	до 24 МПа
Эластичность по Эриксену	До 4 мм
Температура эксплуатации	от -90°С до +150°С
Водопоглощение	менее 0,01 %
Химическая стойкость	Ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, газообразному хлору
Аbrasivostойкость, при температуре, 120 °C:	0,01 мм/цикл
Радиационная стойкость	До 2 МРад



Покрытия формируются на изделиях объемом до 6 м³ в том числе на производственной площадке заказчика

22

Бузник Вячеслав Михайлович
Институт общей и неорганической химии
имени Н. С. Курнакова РАН
buznikv@list.ru



Больбасов Евгений Николаевич
Томский Политехнический Университет
ftoroplast@tpu.ru
Тел: 8 (3822) 60-60-37

Трусова Марина Евгеньевна
Томский Политехнический Университет
trusova@tpu.ru
тел: +7 (3822) 706349 вн. т. 1440

**Благодарим за внимание
и приглашаем к
сотрудничеству !**

23

Сравнительные технические характеристики имплантатов		
Показатели	Сополимер ВДФ-ТеФЭ	Полиэтилфиркетон РЕЕК
Тип печати	FDM	FDM
Минимальная толщина слоя, мкм	от 10	от 20
Поддержка	Растворяемая	Удалляемая механически
Температура экструдера °C	230	400
Стоимость принтера, тыс руб	От 300	От 1500
Температура плавления полимера °C	175	340
Пьезоэлектрические свойства	Есть	Нет
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	до 80	до 95
Относительное удлинение при разрыве, %	до 280	до 20
Модуль упругости при растяжении, МПа	до 2000	до 3700
Стоимость сырья, тыс.руб/кг	До 10	До 50

24

Проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России

**академик РАН Н.С. Бортников, член-корреспондент РАН А.В. Волков,
д.г.-м.н. А.В. Лаломов**

***Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и
геохимии РАН***

Совместное заседание Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию, Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН и Бюро Отделения наук о земле РАН, посвященное состоянию и проблемам в области минерально-сырьевой базы и технологиям извлечения ряда редких и редкоземельных элементов.



ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Бортников Н.С., Волков А.В., Лаломов А.В. ИГЕМ РАН

Москва, РАН, 19 октября 2023 г.

ПРОГРАММА ПРЕЗИДИУМА РАН «ПОИСКОВЫЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ РАЗВИТИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РФ» (координатор академик А.И. Ханчук)

ПРОЕКТ ИГЕМ РАН «РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ (ЦВЕТНЫХ, РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ) АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ» (руководитель академик Н.С. Бортников)

Программа фундаментальных исследований Президиума РАН № I.4П «Месторождения стратегического сырья в России: инновационные подходы к их прогнозированию, оценке и добыче» (на 2015-2017 г.г.). Координаторы программы академик Н.С. Бортников, академик В.А. Чантuria

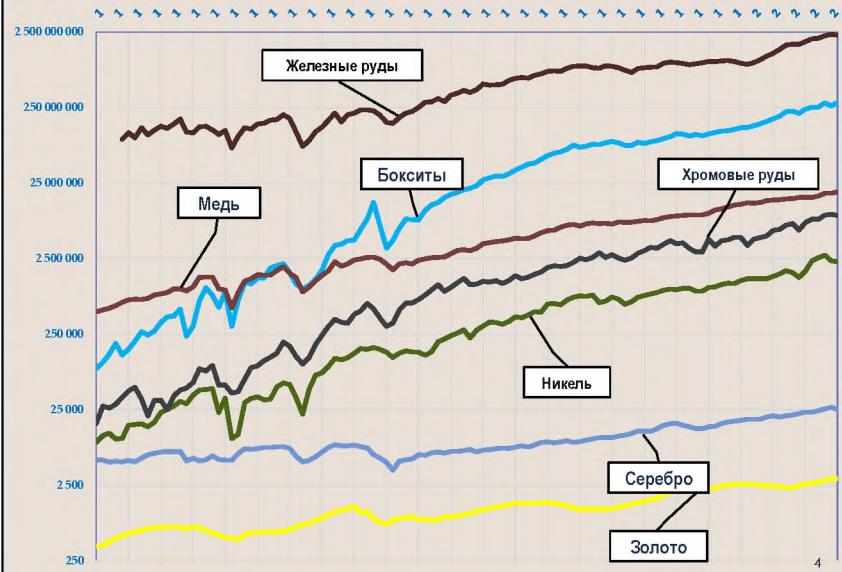
Проект Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018 «Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России» Руководитель академик Н.С. Бортников



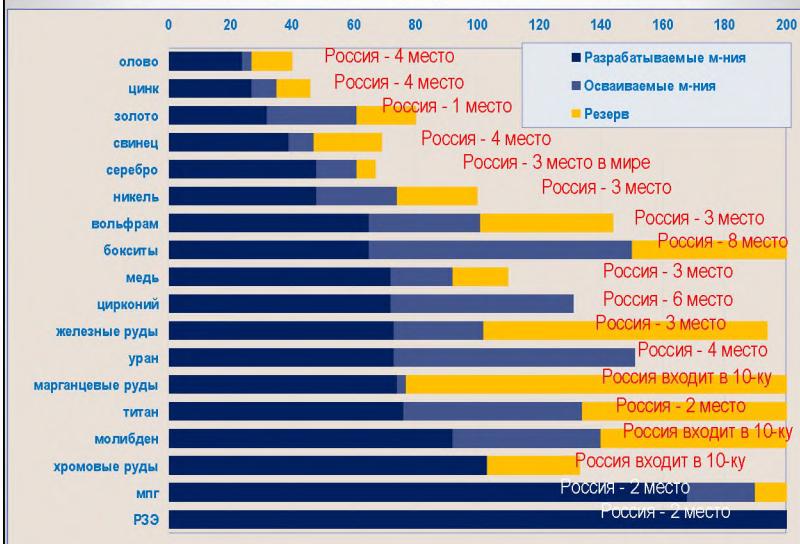
Проблема обеспеченности высокотехнологичной промышленности России минеральным сырьем с каждым годом становится все более острой в связи с неуклонным сокращением богатых и относительно доступных в техническом и экономическом отношении месторождений и неустойчивостью его импорта из стран-продуцентов вследствие политической нестабильности в мире.

Доля российского производства высокотехнологичных металлов (ВТМ) в мировой структуре их выпуска крайне незначительная, несмотря на имеющиеся запасы. Многие отечественные комплексные месторождения, содержащие ВТМ, не разрабатываются. Большая часть необходимых для российской промышленности ВТМ импортируется.

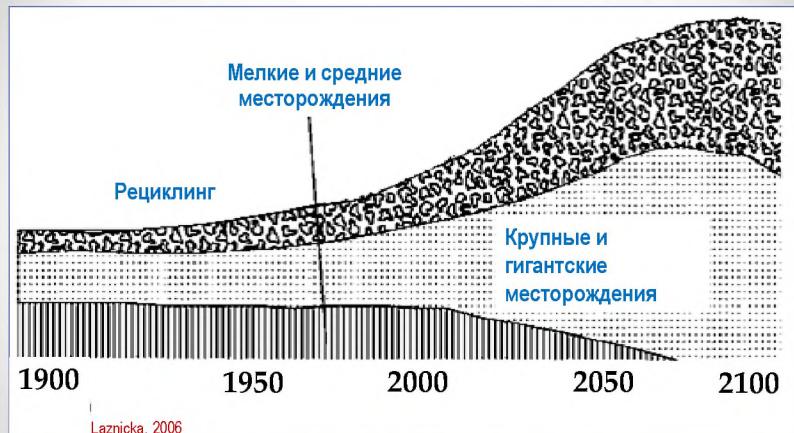
Динамика добычи основных металлов в XX-XXI вв., тонн



Обеспеченность мировой добычи ресурсами основных металлов, лет



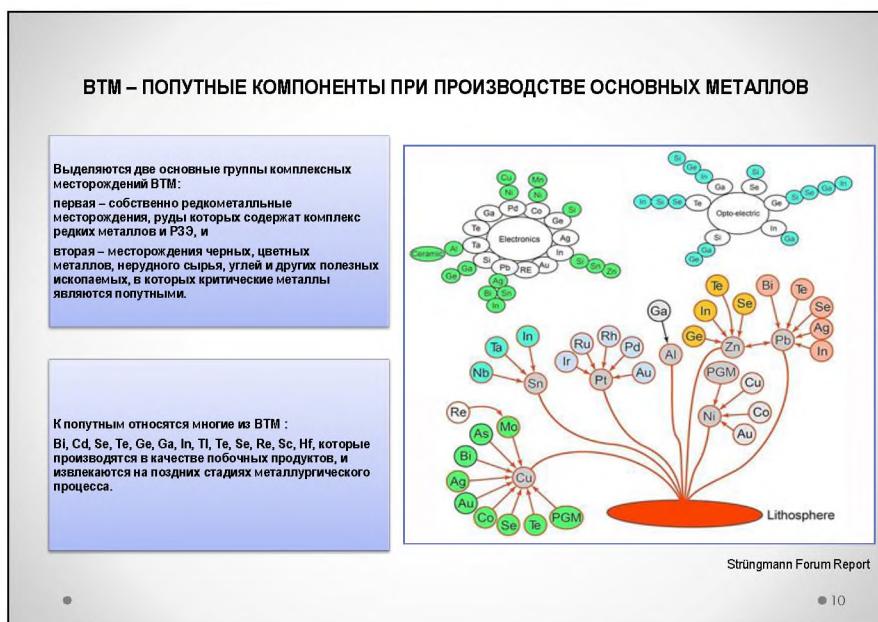
ИСТОЧНИКИ МЕТАЛЛОВ В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ





В результате "зеленого перехода" мировой спрос на металлы, как ожидается, повысится быстрее, чем на любое другое сырье: с 8 до 20 гигатонн в год к 2060 г. Прогноз организации по экономическому сотрудничеству и развитию (OECD)





Распоряжением Правительства РФ от 30 августа 2022 г. № 2473-р утвержден новый перечень основных видов стратегического минерального сырья. Он значительно расширен в сравнении с перечнем 1996 г. (61 позиция против 29). Предусмотрено приоритетное финансирование за счет федерального бюджета работ по воспроизводству минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья. Перечень будет обновляться не реже раза в 3 года.

НЕФТЬ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, БОКСИТЫ, АЛМАЗЫ, ГРАФИТ, ФОСФАТЫ (АПАТИТОВЫЕ РУДЫ), СОЛИ КАЛИЙНЫЕ, ШПАТ ПЛАВИКОВЫЙ, ОСОБО ЧИСТОЕ КВАРЦЕВОЕ СЫРЬЕ, ВОДЫ ПОДЗЕМНЫЕ И 51 ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ИЗ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА																																																					
I A		II A		III A		IV A		V A		VI A		VII A		VIII A		VIII A																																					
1	1.00784 1 H водород	2	0.941 3 Li литий	3	22.9898 11 Na натрий	4	24.3058 12 Mg магний	5	39.0983 19 K калий	6	40.077 20 Ca кальций	7	85.4678 37 Rb рубидий	8	87.62 38 Sr стронций	9	132.905 55 Cs цезий	10	137.327 56 Ba барий	11	174.967 [223] 87 Fr франций	12	180.945 [226] 88 Ra радий	13	184.116 [262] 103 Lr полуленский	14	186.908 [267] 104 Rf резерфордий	15	194.242 [270] 105 Db дубий	16	195.9415 [271] 106 Sg сиборгий	17	196.9961 [274] 107 Bh борхий	18	198.9330 [277] 108 Hs хассий	19	205.945 [278] 109 Mt мейтнерий	20	206.9332 [281] 110 Ds дирмитдин	21	207.9330 [284] 111 Rg диритин	22	208.9330 [287] 112 Cp гентиний	23	209.9330 [288] 113 Uut гентиний	24	211.9330 [289] 114 Fl фелтоний	25	212.9330 [290] 115 Uup ливерморий	26	213.9330 [291] 116 Lv ливерморий	27	214.9330 [292] 117 Uus ливерморий
* ЛАНТАНОИДЫ		57 La лантан	58 Ce цитрон	59 Pr лантаноид	60 Nd неодим	61 Pm плометик	62 Sm самарий	63 Eu европий	64 Gd гадолиний	65 Tb тербий	66 Dy дицербий	67 Ho тодицербий	68 Er тербий	69 Tm тодицербий	70 Yb тицербий	* АКТИНОИДЫ		[227] 232.038 89 Ac актиний	[231.036 90 Th торий	[238.029 91 Pa протактиний	[237] 74 U уран	[244] 92 U неупотреб.	[243] 93 Np плутоний	[247] 94 Pu плутоний	[241] 95 Am америций	[247] 96 Cm цирконий	[247] 97 Bk берклий	[251] 98 Cf калифорний	[252] 99 Es зинкелитий	[257] 100 Fm ферми	[268] 101 Md менделевий	[259] 102 No нонгений																					
** АКТИНОИДЫ		[227] 232.038 89 Ac актиний	[231.036 90 Th торий	[238.029 91 Pa протактиний	[237] 74 U уран	[244] 92 U неупотреб.	[243] 93 Np плутоний	[247] 94 Pu плутоний	[241] 95 Am америций	[247] 96 Cm цирконий	[247] 97 Bk берклий	[251] 98 Cf калифорний	[252] 99 Es зинкелитий	[257] 100 Fm ферми	[268] 101 Md менделевий	[259] 102 No нонгений																																					

Производство и потребление стратегических и высокотехнологичных металлов по РФ

ВТМ	2018 г.	ВТМ	2018 г.
Никель, тыс. т	211/75	Марганец (руды), млн. т	0.05/1.3
Медь, тыс. т	1039/450	Ванадий, тыс. т	18.0/10.0
Серебро, т	1119/250	Свинец, тыс. т	360/40
Золото, т	313.6/297	Молибден, тыс. т	2.4/0.7
Алюминий, млн. т	3.8/0.7	Вольфрам, тыс.т	2.5/3.0
Уран, тыс. т	2.9/30	Тантал, т	38/20
Платиноиды, т	106/0.6	Олово, тыс. т	1.5/0.7
Редкие земли, тыс.т	2.6/1.1	Сурьма, тыс.т	14/5
Цирконий, тыс. т баделинит	0 / 9.9 – конц. 6.8 / 0.6	Германий, т	6.0/1.5
Литий, тыс. т	/3.0	Цинк, тыс. т	254/213
Рений, т	0/3.5	Кадмий, тыс. т	1.2/0.7
Скандий, т	30/30	Индий, т	5.0/1.0
Хром (руды), млн т	0.5/1.5	Галлий, т	6.0/1.0
Титан, тыс. т м-л	32/15	Селен, т	150/10
Диоксид (TiO_2) тыс. т	60/111	Теллур , т	42.0/2.0

Соотношение добычи, спроса и потребления ВТМ в России

ВТМ	Добыча сырья	Выпуск продукции	Импорт	Экспорт
P3Э	+	+	+	+
Be	-	+	+	-
Li	-	+	+	-
Ga	+	+	-	+
In	+	+	-	+
Ge	+	+	+	+
Se	+	+	-	+
Te	+	+	-	+
Sr	+	+	-	+
Cd	+	+	-	+
Tl	+	-	+	-
Bi	+	+	+	+
Re	+	+	+	-
Cs	-	+	+	+
Rb	-	+	+	+
Sc	+	+	-	+
Hf	+	+	-	-

В России возможно увеличить производство критически важных для зеленых технологий двух групп ВТМ – "батарейных" металлов (Ni, Co, Li, Pt, Pd, Ro, P3Э) и компонентов для "фотовольтаики" (Cd, Se, Te, Ge, Ga, In).

В последнее время сотрудники Минприроды (МПР) РФ из утверждённого перечня выделяют 17 видов стратегического минерального сырья, зависимых от импорта. Причем 12 видов стратегического минерального сырья из этого списка (синяя группа) частично добываются на территории России или имеют надежные каналы импортных поставок из дружественных стран. В тоже время большое количество продуктов metallургического передела из импортируемого СМС не находят потребителя внутри страны. В красную группу критически зависимых от импорта видов минерального сырья были объединены всего пять видов (Mn, Ti, Nb, Li, REE). По данным МПР РФ, эта группа имеет наиболее высокие риски остановки поставок.

ИМПОРТОЗАВИСИМЫЕ СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ВИДЫ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

17 стратегических дефицитных видов минерального сырья

5 Критически зависимых от импорта виды минерального сырья

U	W	Cr
уран	вольфрам	хром
Mo	Бокситы	Be
молибден		бериллий
Ta	Zr	V
тантал	цирконий	ванадий
Re	Графит	Плавиковый шпат
рений		

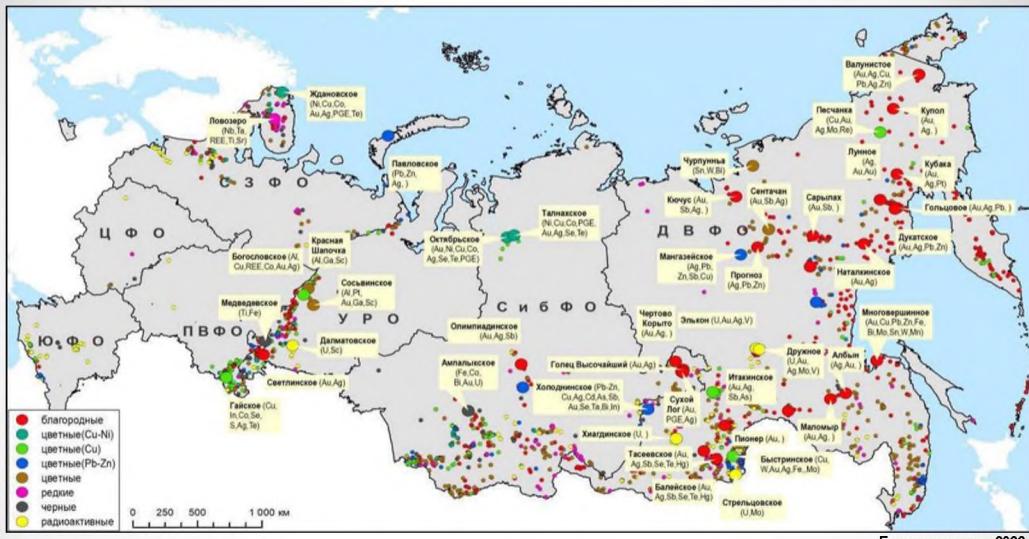
Mn	Ti	Li	Nb	REE
марганец	титан	литий	ниобий	Редкоземельные металлы
Y	La	Ce	Pr	Tm
иттрий	лантан	церий	празеодим	неодим
Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
самарий	европий	гадолиний	тербий	диспрозий
Er	Yb	Lu		Гольмий
эрбий	иттербий	лютеций		



На территории России выделены 8 главных рудообразующих систем стратегических металлов: расслоенные интрузивов основных пород (магматическая базитовая и ультрабазитовая); скарново-порфировая и порфирово-эпимермальная; орогенная (в том числе связанная с интрузивами гранитоидов); связанная с щелочными гранитами; ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов; колчеданно-вулканогенная и осадочно-вулканогенная; осадочных бассейнов; россыпей и кор выветривания.

Рудообразующая система (тип месторождения)	Геологическая обстановка	Главные металлы	Сопутствующие критические металлы	Примеры месторождений
Магматическая базитовая и ультрабазитовая (Ni-Cu компактитовый, Ni-Cu, PGE и Fe-V-Ti в расслоенных базитовых и ультрабазитовых интрузивах)	Зеленокаменные докембрийские пояса, островодужные офиолиты, орогенные пояса	Ni, Cu, Co, PGE, Fe, V, Ti, Au, Ag, Te, Se		Норильская и Печенгская группы, Кингаш, Чинейское, Медведковское
Скарново-порфировая и порфирово-эпимермальная (Cu-Mo-Au и Cu-Mo-порфировый, Au-Ag и Ag эпимермальный, Cu-Au и Pb-Zn скарновый, Pb-Ag эпимермальный)	Островодужные, окраинно-и внутриконтинентальные вулканоплатонитические пояса	Cu, Mo, Au, Ag	Re, Sb, Pt, Pd, Pb, Zn, Te, In, Se, Bi, Cd, V, REE	Песчанка, Малмыж, Байстринское, Михеевское, Синкохинское, Сорское, Бугдаинское, Дукат, Гольцовое, Мутновское, Дальнегорская группа
Орогенная, связанная с интрузиями гранитоидов (Au-Bi, Sn-W, Mo-W и Mo-жильно-штокверковый, Mo-W скарновый), Ta-Li-Sn-Be пегматитовый	Магматические пояса, области и зоны тектономагматической активизации пассивных континентальных окраин	Au, Sn, W, U, Mo, B, Sb, Li, Ta, Be	Re, Bi, In, Cd, Ge, REE, Ag, Pb, Zn, Te, Co, U	Правоуральское, Депутатское, Инкуруское, Холтогоонское, Вишняковское, Тигриное, Забитое, м-я Колымского пояса
Колчеданные вулканогенные и осадочно-вулканогенные (Cu-Zn и Cu-Zn-Pb)	Островодужные вулканические пояса, зоны рифтогенеза	Cu, Zn, Pb, Ag, Au	Bi, Cd, Te, In, Se	Уральская и Алтай-Саянская группы
Осадочные бассейнов (Миссисипи тип Zn-Pb-Ag, медистые песчаники (Cu-Co-Ag), неоглазий (U), доломитный (U) и др.)	Платформы, эпизиалические бассейны, рифтогенные зоны, пассивные континентальные окраины	Cu, Co, Mn, Zn, Pb, U, Ag	Re, Bi, In, Cd, Ge, REE, Ag, Pb, Zn, Te, Sc, Sr, Ga, Ga	Сардана, Павловское, Удокан, Хиагдинская группа, Дулурукское
Связанная с щелочными гранитами (Nb, Ta, Zr, Be, REE-месторождения)	Внутриплитная, все типы бассейнов и фундамента	Nb, Ta, Zr, Be, REE, криолит	U, Th, Au, Ag, Te, Co, Sr, Rb, Pb, Zn, Sn	Катутгинское, Зашихинское, Улуг-Танзек
Связанная с массивами ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов (Nb, Ta, апатитовые, железорудные, REE и U-Th-REE месторождения)	Внутриплитная, все типы бассейнов и фундамента	U, Th, REE, Nb, Ta, апатит, магнетит	Au, Ag, Te, Co, Sr,	Хибинская группа, Томтор, Белозиминское, Чукотконское и др.
Россыпей и кор выветривания (Au, Sn, W, PGE, Ti-Zr, палеороссыпи Au-U), вторичного обогащения (Cu, Zn и Pb бесцельсulfидный, бокситы, Ni-Co-Cr! латеритовый), соленых озер (Li-K-B)	Все	Au, Sn, W, алмазы, Ti, Zr, Ni, Fe, Li, PGE, K, B, Бокситы	REE, Co, Cr, Ga, Sc, Mn, Re	Инувеемская, Рывеемская, Берелекская, Чайоринская, Тирехтах, Одинокое, Млеловеем, Серовское, Красная шапочка, Баскунчак

Месторождения стратегических металлов РФ



Крупные значки крупные месторождения, мелкие – мелкие и средние.

Бортников и др., 2022

ЛИТИЙ

В целом спрос на литий в РФ, по экспертным данным, в настоящее время минимален и связан с атомной отраслью и ВПК. Кроме того, из лития в России производят стекло и смазочные материалы. Учитывая, что производство лития – процесс энергоемкий, а электроэнергия в России значительно дешевле, чем в Европе и США, себестоимость отечественного металла будет достаточно привлекательна. Карбонат лития собственного производства планируется получить через 2–3 г.

По данным Минпромторга, «Химико-металлургический завод» в г. Новосибирск оформляет лицензию на добычу лития из техногенных отвалов Завитинского месторождения в Забайкальском крае, кроме того, будут лицензированы месторождения в Мурманской области совместным предприятием Росатома и Норникеля. Планируется, что литий будет добываться на Ковыктинском месторождении из минерализованных подземных вод (проект Газпрома и Иркутской нефтяной компании).

В случае успешной реализации Завитинского проекта ожидается, что из 20 млн. т отвалов можно будет извлечь до 40 тыс. т. карбоната лития. Потенциальные запасы лития в Ангаро-Ленском бассейне позволяют организовать добычу от 5000 до 10000 т в год, что сопоставимо с крупными международными компаниями. Столько возможно добывать и в Мурманской области.

Подготовленный еще в СССР проект добычи Li из рассолов Тарумовского месторождения (Дагестан) предполагал: суммарную годовую добычу – 5.5 млн. м³ при суточном дебите 15000 м³, в том числе карбоната лития 4500 т, способ эксплуатации фонтанный. В энергетическом плане планировалось строительство Тарумовской ГеоТЭС мощностью 400 МВт.

МАРГАНЕЦ

Импорт марганцевых руд в Россию в 2021 году составил 1394 тыс. тонн

В Кемеровской области расположено крупное месторождение марганца - Усинское. Запасы – 127,7 миллиона тонн (это 45% всех известных в России запасов марганца). Руды Усинского месторождения характеризуются сравнительно низким содержанием марганца (в среднем 20,2%) и повышенным содержанием фосфора (0,2–0,3 %).

В 2005 году ЗАО "ЧЕК-СУ.ВК" получила лицензию на добычу на Усинском. Но затем проект, в который успели вложить немалые деньги, был остановлен. Была проложена ЛЭП, построены объекты инфраструктуры, включая дорогу (80 км).

В 2015 году «ЧЕК-СУ.ВК» подписала соглашение с китайской госкорпорацией Sinosteel о реализации проекта производства электролитического марганца. Его стоимость составляла 5 млрд юаней и 19,3 млрд рублей.

Ti, Nb, REE

Отработка россыпных месторождений не просто экономически выгодна, она дает возможность в кратчайшие сроки и с минимальными затратами решить проблему импортозамещения и обеспечения воспроизводства МСБ дефицитных видов стратегического минерального сырья. Это особенно актуально в настоящее время, когда трудно рассчитывать на международное кредитование горнодобывающей промышленности, а импорт сырья имеет высокие логистические риски.

Доля россыпей различных типов в структуре запасов и добычи

Вид сырья	Доля запасов категорий A+B+C ₁ (≈ measured resources) россыпей, %	Доля россыпей в общей добыче %
Золото (Россия) в 2021 г.	10,2	19,9
Платиниды (Россия)	0,3	4,5
Алмазы (Россия) (карат)	6,8	11,0
Олово (СССР, 1989 г.)	12,4	25
Олово (мир)	46,6	65
Титан (мир)	33	70
Цирконий (мир)	80	95
Ниобий (мир, с корами выветривания)	20	70
Тантал (мир, с корами выветривания)	4	>10
Вольфрам	0,73	3,2
Хром (Россия)	0,56	1,14

Ti, Nb, REE

Наиболее быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов минерального сырья (Ti, Nb, REE, Ta, Zr,) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений, преимущества которых по сравнению с коренными месторождениями заключаются в следующем:

Относительно неглубокое залегание промышленного пласта (десятки метров), позволяющее проводить отработку открытым карьером.

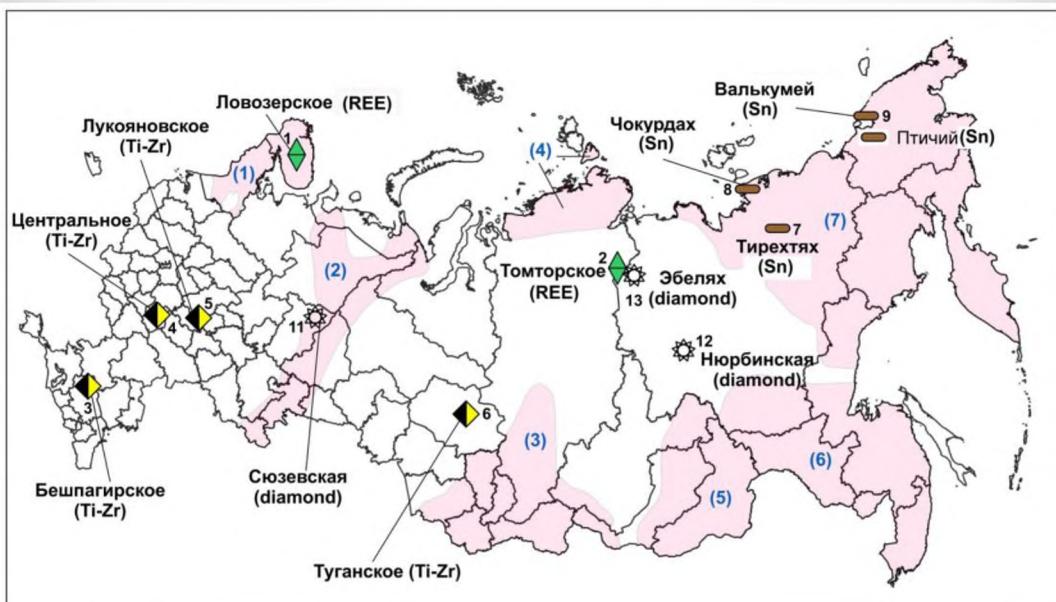
Для глубокозалегающих россыпей возможно применение метода СГД, который по эффективности сопоставим с открытой отработкой.

Технологическая простота процессов обогащения (преимущественно, гравитационное обогащение).

Энергетическая эффективность процессов обогащения, исключающая дробление материала, на которое уходит 50% энергетических затрат при разработке коренных месторождений.

Быстрое (часто, в течение одного сезона) начало отдачи средств, вложенных в добычу россыпей.

Перспективные россыпные месторождения для обеспечения России дефицитными видами стратегического минерального сырья



Северо-Ловозерский редкометалльный узел (REE, Ta, Nb, Ti)



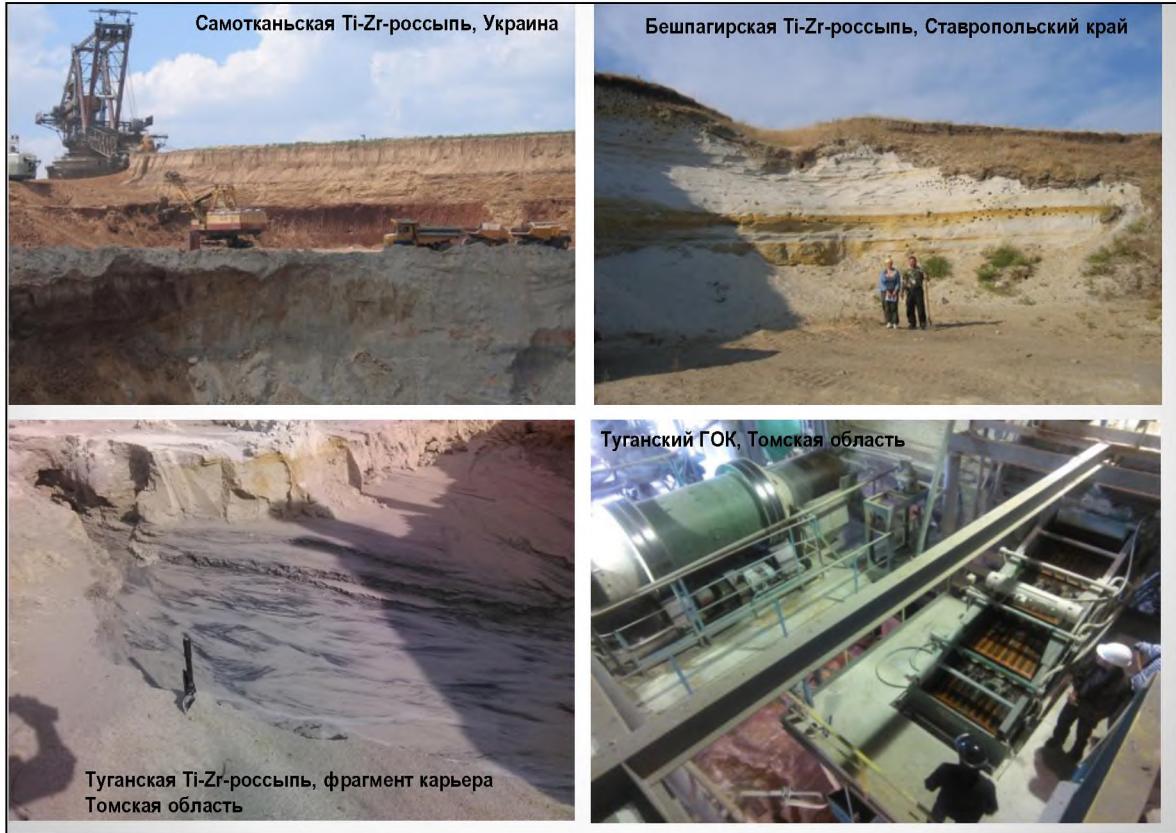
- 1 – поселок Ревда,
- 2 – обогатительная фабрика Карнасурт,
- 3 – коренное месторождение Карнасурт,
- 4 – Сергеваньская россыпь лопарита,
- 5 – хвостохранилище Карнасурт.



Техногенные отложения сосредоточены в хвостохранилищах Карнасурт-1 и Карнасурт-2, где складируются хвосты обогащения начиная с 1951 г. По последним данным за 2021 г. (Госдоклад..., 2022) содержание лопарита в хвостах составляет 8.4 кг/м³, Σ РЗМ – 2.7 кг/м³. По предварительной оценке, запасы РЗМ в хвостохранилищах могут оцениваться в 75–80 тыс. т, лопарита – 230–250 тыс. т.

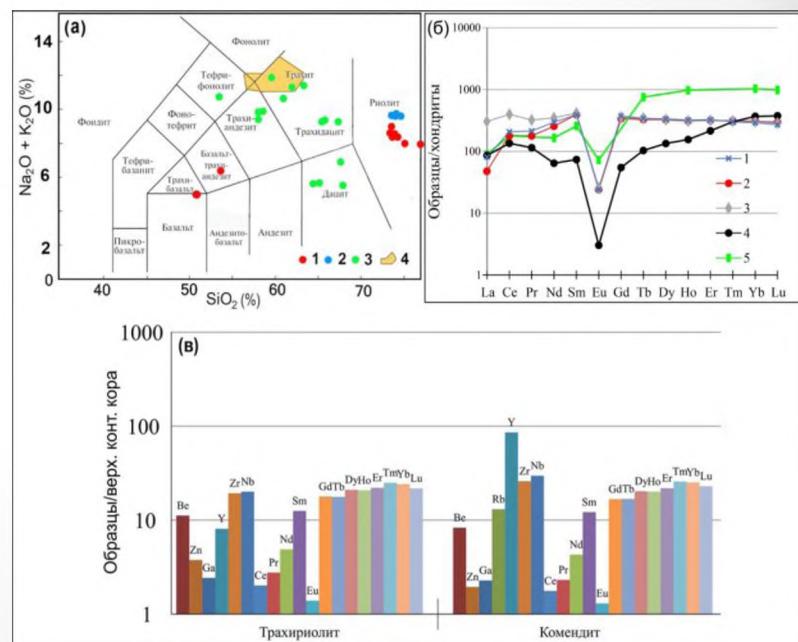
Параметры основных циркон-рутит-ильменитовых россыпей России

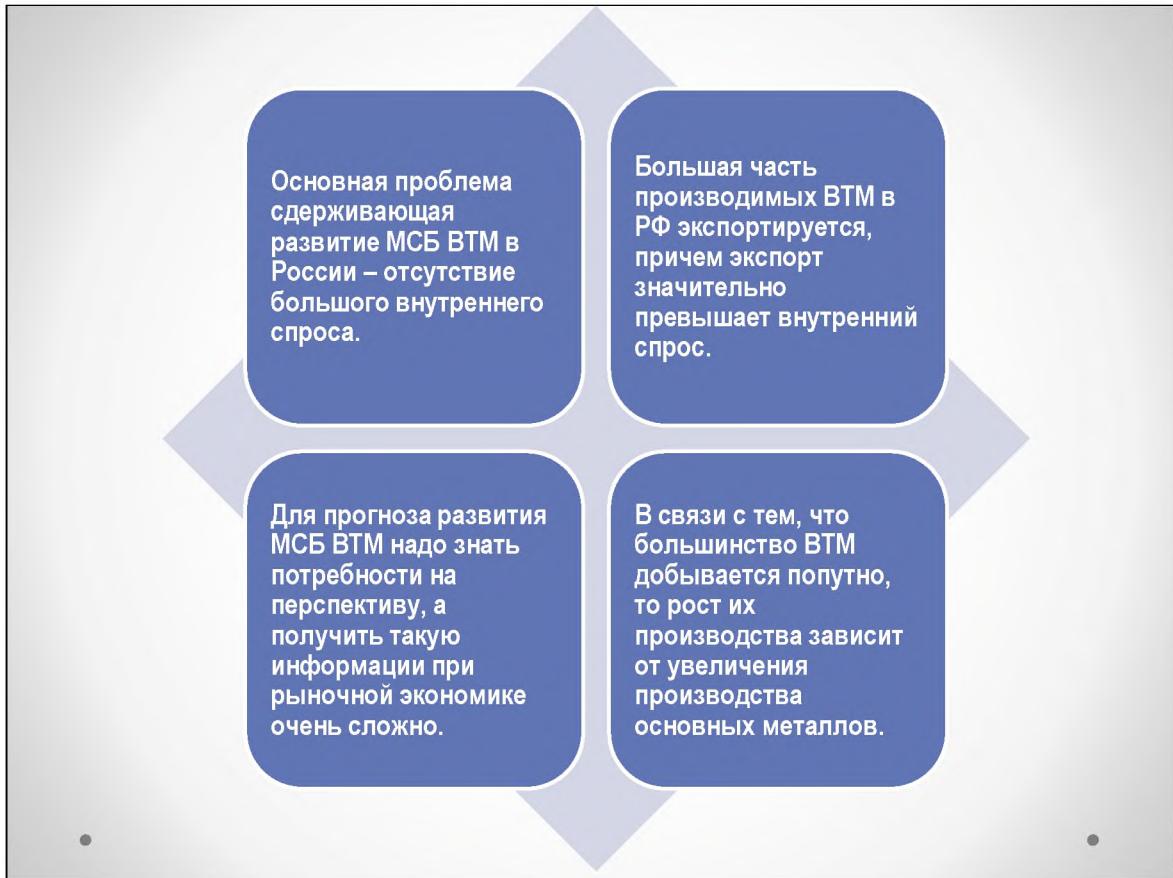
Месторождение	TiO ₂		ZrO ₂	
	Запасы А+В+C ₁ +C ₂ тыс.т.	Среднее содержание кг/м ³	Запасы А+В+C ₁ +C ₂ тыс.т.	Среднее содержание кг/м ³
Восточно-Европейская мегапровинция				
Бешлагирское*	2630	20.9	620.6	5.1
Центральное	6396	24.1	830.3	3.1
Лукояновское*	166	5.5	346.4	13.0
Западно-Сибирская мегапровинция				
Тарское	1001	32.2	181.4	6.4
Самсоновское	1674	34.2	256.6	5.2
Туганское	2502	19.7	1007.3	7.7
Георгиевское	1568	17.6	408.8	4.9



HREE

ЩЕЛОЧНЫЕ РИОЛИТЫ ПЕЧАЛЬНИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)
– ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ БОЛЬШЕОБЪЕМНЫЙ ИСТОЧНИК ТЯЖЕЛЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Недра России содержат значительный ресурсный потенциал критических металлов, в том числе и для зеленых технологий, позволяющий создать новые или значительно увеличить объемы производства на действующих предприятиях. Препятствуют реализации этого потенциала: отсутствие достоверной информации о количестве попутных критических металлов в рудах и концентратах из многих отечественных месторождений; технологически вопросы извлечения и низкая рентабельность производства.

Поставки большинства попутных ВТМ, извлекаемых из комплексных руд, потенциально могут быть увеличены в результате специальных мероприятий, стимулирующих их производство, включая:

- ❖ рост цен на попутный металл, оправдывающий увеличение его производства на обогатительных фабриках за счет расширения существующих и строительства новых мощностей;
- ❖ производство попутных металлов на рудниках, где они в настоящее время не добываются, но потенциально могут быть извлечены;
- ❖ улучшение технологии metallurgического восстановления попутных металлов;
- ❖ переоценка запасов комплексных месторождений, на которых в настоящее время не производятся рассматриваемые металлы;
- ❖ извлечение попутных металлов из остаточных отходов добычи и переработки комплексных руд;
- ❖ улучшение показателей переработки попутных металлов.

Наиболее быстрыми темпами самообеспечение по ряду импортозависимых видов минерального сырья (Zr, Ti, Nb, Ta, REE и др.) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений

Потенциал горнодобывающего комплекса России по обеспечению рудами критических металлов

академик РАН В.Н. Захаров

Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН)



Соотношение доли открытых (карьера) и подземных (рудники) горных работ для объектов чрезвычайно высокого и высокого классов опасности



2

Закономерности изменения минерально-сырьевой базы России и условий освоения рудных месторождений:



- рост доли мощных месторождений в общей добыче минерального сырья низкого качества; возрастание количества маломасштабных месторождений;
- снижение содержания в руде ценных компонентов и, как следствие, понижение бортового содержания;
- повышение доли добываемых труднообогатимых руд; увеличение проектной глубины открытых горных работ в пределах до 1100 м, глубины ведения подземных работ на: железорудных месторождениях до 1000 м, медноколчеданных до 1200 м, медно-никелевых более 2500 м, золоторудных до 1200 м;
- накопление больших объемов техногенных образований, сопоставимых по объему и качеству с запасами перспективных месторождений;

- устаревшие принципы подсчета запасов, установления рационального извлечения из недр минерального сырья и ценности компонентов извлекаемого вещества;
- оставление в недрах Земли значительных объемов природно-техногенных запасов, расположенных в сложных геомеханических, газогидродинамических и горнотехнических условиях;
- смещение объектов разработки полезных ископаемых в труднодоступные районы с неразвитой инфраструктурой и неблагоприятными природно-климатическими условиями;
- рост доли месторождений, разрабатываемых в криолитозоне;
- рост техногенных катастроф, влекущих человеческие жертвы и потерю запасов в недрах;
- интенсификация техногенной нагрузки на окружающую среду.

3

Принципы сочетания геотехнологий на осваиваемом участке недр для интенсивного наращивания объема добычи металлов из природного и техногенного рудоминерального сырья



4



Месторождение (% к запасамNb и Ta)	Основные компоненты	Попутные компоненты	Сложность геологического строения	Освоенность района месторождения
Ловозерское (17,9)	TiO ₂ , Nb ₂ O ₅ , Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂ , Ln ₂ O ₃	Sr, Th, Mn	Простая	Освоено
Белозиминское (39,7)	Nb ₂ O ₅ , P ₂ O ₅	Ln, Ta, U, Zr	Средняя	Не освоен, сейсмоопасен
Улуг-Танзекское (21,3)	Nb ₂ O ₅ , Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂ , Ln ₂ O ₃	Ln, Li, U, Th, Hf, Rb	Средняя	Не освоен
Катунинское (14,1)	Nb ₂ O ₅ , Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂ , Ln ₂ O ₃	Zn, Pb, U, Th, Hf	Средняя	Не освоен
Томторское (2,4)	Nb ₂ O ₅ , Sc ₂ O ₃ , Ln ₂ O ₃	P	Средняя	Не освоен
Татарское (0,5)	Nb ₂ O ₅	P	Высокая	Мало освоен
Чукотконское (<0,5)	Nb ₂ O ₅	Ln, P, Mn	Средняя	Мало освоен
Зашихинское (<0,5)	Nb ₂ O ₅ , Ta ₂ O ₅ , ZrO ₂	Th	Средняя	Мало освоен

Краткая характеристика природного и техногенного сырья, содержащего редкоземельные элементы*

Источник сырья	Содержание, % от Σ РЭО								
	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Dy	Σ	
Лопарит (Ловозерское месторождение)*	-	25	53	6	14	0.9	0.09	0.41	
Эздиалит (Ловозерское месторождение)*	22	11.5	28.5	3.8	14.5	3.6	4.4	6.1	
Монацит (Красноуфимск)	1,1	22	47	5	20	1,9	0,18	1,18	
Томторское месторождение	7,6	21	46	5	14	2,1	0,8	2,5	
Зашихинское месторождение	66,3	0,63	1,13	0,34	1,12	2,38	6,13	4,98	
Акрон (переработка апатитового концентрата)	3,7	23,5	40,5	4,6	22	2,5	0,65	2,1	
Фосфорилит	3,5	20,5	45,9	5,1	17	2,3	0,9	2,5	
Экстрактивная фосфорная кислота (АО «Фосагро»)	18,2	14,1	26,7	3,9	24,8	4	2,3	5,65	
Красный шлам	16,2	17,6	32,1	3,8	15,3	3,4	2,5	5	
Мировая структура потребления, %	7	29	35	7	18	1	1	2	

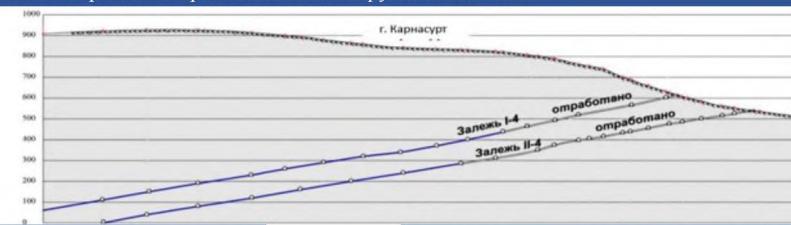
* - источник: Кардаполов А.В. И др. Лопарит и эздиалит...

5

**ЛОВОЗЁРСКИЙ ГОК
Рудник «Карнасурт» (действующий)**



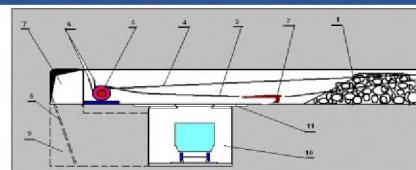
a) схематичное изображение отработанных частей рудных залежей



б) камерно-столбовая система разработки



в) скреперная доставка рудной массы (отдельные участки)



6

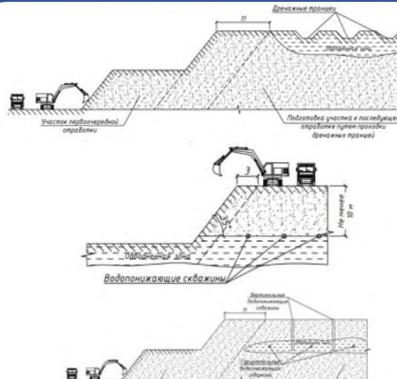
Создание специального оборудования для работы в стесненных условиях – погрузочно-доставочных машин (а); оборудования для крепления кровли (б); систем непрерывного транспорта (в)



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Хвостохранилище	Время заполнения начало	конец	Насыпные крупности хвостов, мм	Заполнение площадь, га	Полезные ископаемые в отходах
<i>АО «Кольская ГМК»</i>					
ОФ-1 «Нечугинель»	1965 г.	1974 г.	Песок до 0,1	1050	Ni, Cu, Co
поле 2	1974 г.	Действую- щее	То же	1050	Ni, Cu, Co
ОФ-2	1945 г.	1994 г.	и	Н. д.	Ni, Cu, Co
Плавик	1945 г.	Действую- щее	Гранулометри- ческая ширина до 2,5	86	Ni, Cu, Co
Мончегорская ОФ	1935 г.	1978 г.	Песок до 1,0	Н. д.	Ni, Cu, Co
<i>ООО «Ловозерский ГОК»</i>					
ОФ «Карнасурт»	пое 1	1951 г.	1987 г.	Песок до 1,0	60
	пое 2	1987 г.	Действую- щее	То же	380
ОФ «Умбозор»	1984 г.	Законсервиро- вано	и	13,5	Nb ₂ O ₅ , Na ₂ O, K ₂ O
<i>АО «ОЛКОН»</i>					
Дробильная ОФ основное	1954 г.	Действую- щее	Песок до 1,6	1087	Fe ₂ O ₃
аварийное	1954 г.	То же	То же	320,4	Fe ₂ O ₃
<i>АО «Кондозерский ГОК»</i>					
Магнитная ОФ	пое 1	1962 г.	1981 г.	Песок до 2,5	291,7
	пое 2	1981 г.	Действую- щее	Песок до 1,25	1030
					P ₂ O ₅ , ZnO, MgO, CaO
<i>АО «Лаптев»</i>					
АНОФ-1 (16 км)	1957 г.	1963 г.	Песок до 0,02	120	P ₂ O ₅ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃
АНОФ-2	1968 г.	Действую- щее	Песок до 0,25	1653	P ₂ O ₅ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃
АНОФ-3	1963 г.	То же	То же	1248,7	P ₂ O ₅ , TiO ₂ , Al ₂ O ₃
<i>ООО «Кондурспект»</i>					
Верхнекултунская ОФ	1955 г.	Законсервиро- вано	Песок, гравий	35	Озимин, верхнекулт., дебеска

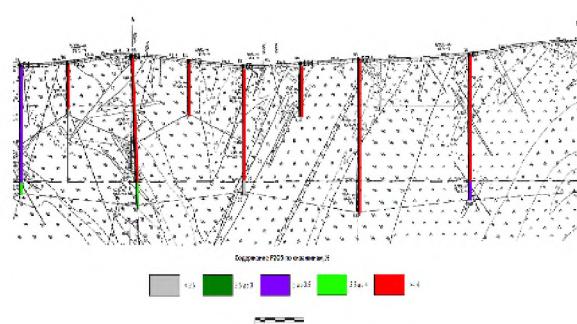
Пример разработанных типовых технологических схем открытой разработки обводненного участка хвостохранилища с учетом локализации выявленной в ходе опережающей оценки обводненной зоны вблизи поверхности (а), в основании (б) или в толще техногенного объекта (в)



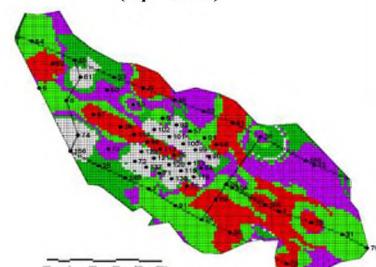
* источник: Рациональное использование вторичных минеральных ресурсов в условиях экологизации и внедрения наукоемких доступных технологий : монография / в коллaborации авторов ; под науч. ред. д.э.н., проф. Ф. Д. Лариненко, д.э.н., проф. В. А. Кныша. — Апатиты : Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2019. — 252 с

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ АПАТИТОВЫХ РУД (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АПАТИТОВЫХ РУД ОШУРКОВСКОЕ)

Распределение содержаний P₂O₅ в рудах
по длине разведочных скважин



Блочная 3-Д модель месторождения
(гор. +590 м)



Распределение запасов по содержанию ценнего компонента

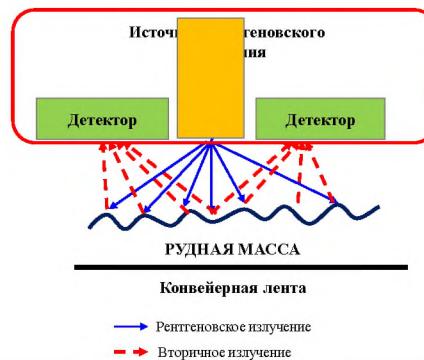
содержание ЦК	объем	плотность	масса	К
более 3,5	398179712	2,73	1087030614	0,6
1,5 - 3,5	236099392	2,73	644551340,2	0,36
менее 1,5	30965312	2,73	84535301,76	0,04

МЕТОД И СПОСОБ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОБЫТОЙ РУДНОЙ МАССЫ



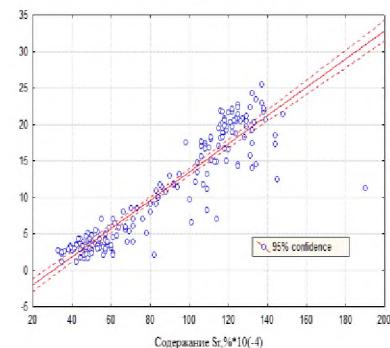
Рентгенорадиометрический метод

Схема обработки рудной массы рентгеновскими лучами



Зависимость содержания апатита С от содержания элемента-спутника стронция C_{Sr} :

$$C = 0,018C_{\text{Sr}} - 0,6, \%$$



10

СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ С ЗАДАННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

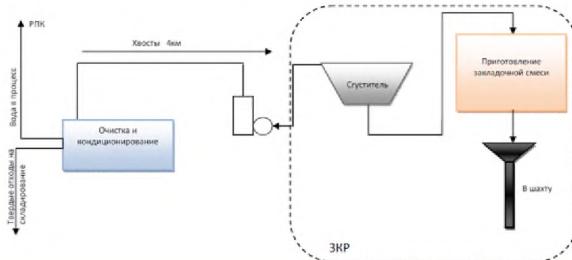


12

Месторождения Эльконского урановорудного района

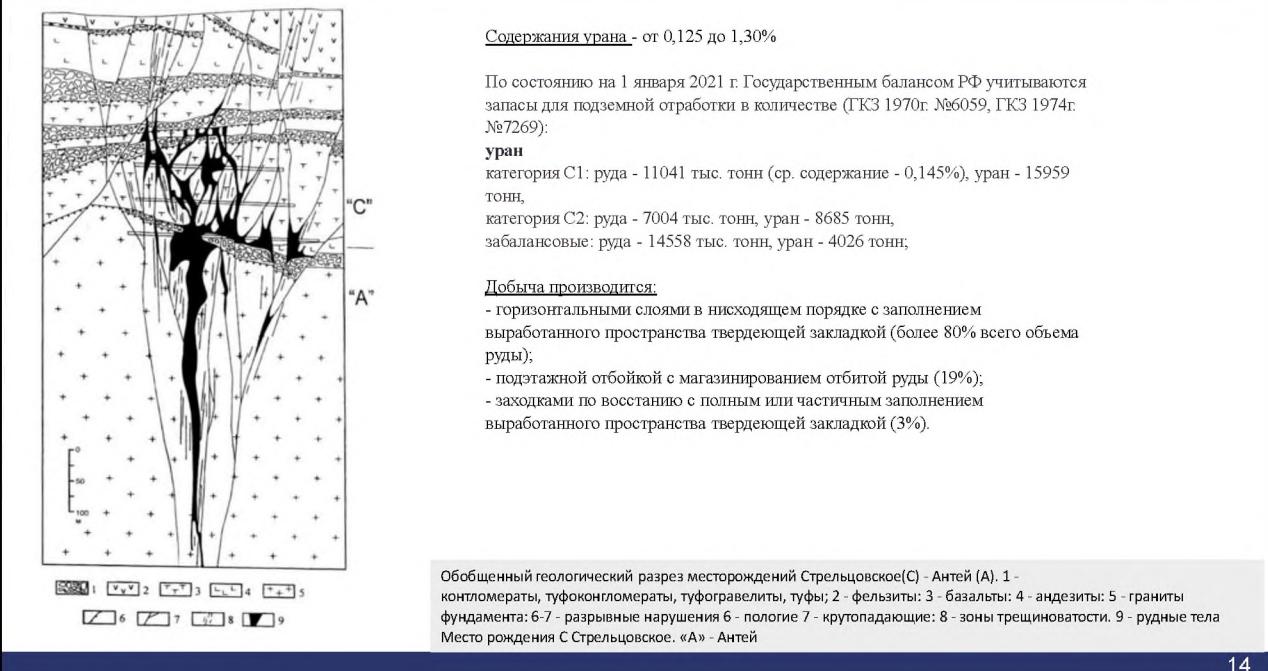
Месторождение	Геологические запасы руды, тыс. т	Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	Запасы урана, т	Запасы золота, кг	Запасы молибдена, т	Запасы серебра, кг
Элькон	21084	21831	28944,4	9614,0	215,8	86932,3
Эльконское плато	39541	40942	54111,8	19658,0	819,2	264953,1
Курунг	31710	32833	42558,6	20290,8	528,3	279569,2
Знакомая	4324	4477	6040,2	2328,9	67,1	22242,8
Старая	6621	6856	8424,5	4173,5	158,8	60483,4
Непроходимое	10404	10773	13177,0	7851,9	390,2	72099,7
Дружное	47162	48832	67196,6	21716,1	12639,5	242541,2
ИТОГО:	160846	166543	220453,0	85633,2	14819,0	1029631,7
Среднее содержание (эксплуатационное) зона Южная:			0,132	0,514	0,0089	6,182
Северное	55102	56598	91086,8	20743,2	0,0	391072,7
Среднее содержание (эксплуатационное) м-ние Северное:			0,161	0,367	0,000	6,910

Принципиальная схема подачи сгущенных хвостов обогащения урановых руд в подземный рудник



13

СТРЕЛЬЦОВСКОЕ УРАНОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ



14

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ СКАЛЬНЫХ РУД СТРЕЛЬЦОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Традиционные способы подземной добычи	Подземное блоковое выщелачивание	Выщелачивание руд в подземных камерах
Доля удельных затрат на закладочные работы достигает 30%	Низкая себестоимость добычи	Исключение влияния агрессивных растворов на окружающую среду
Высокие затраты на транспортирование бедных и забалансовых руд на поверхность	Миграция агрессивных растворов за пределы блоков подземного выщелачивания	Повышение скорости реакции путем организованной подачи и отвода окислителя
Разубоживание 25-50%	Извлечение не более 60%	Возможность загрузки по сортам
Высокое извлечение, достигающее 97%	Кольматация взорванной массы	Загрузка сырьем требуемой крупности
Высокая себестоимость добычи полезного ископаемого	Высокий риск эманации радона в шахтную атмосферу	Выдача на земную поверхность меньших объемов горной массы
Необходимость складирования хвостов обогащения на поверхности	Невозможность взрывной подготовки рудной массы до требуемой крупности	Оставление отходов в недрах с возможностью консервации камер (изоляции)

15

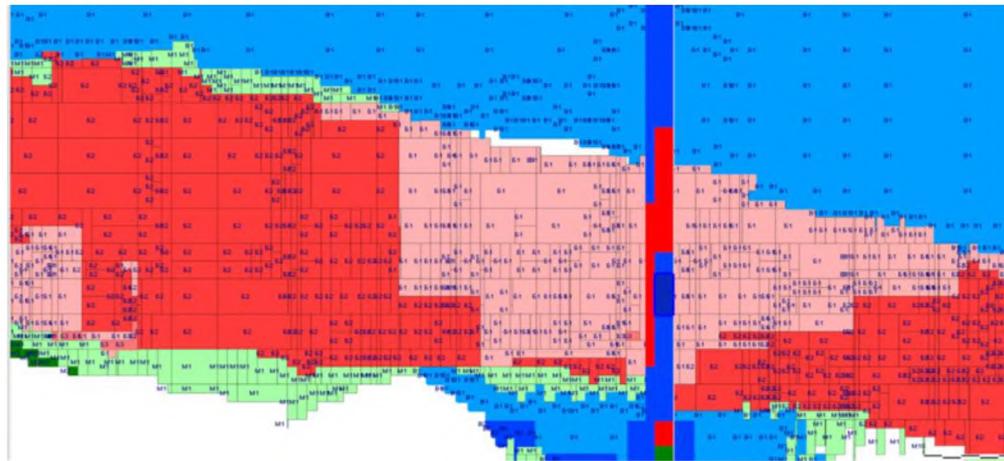


Проба	Содержание в минерале, г/т												Доля минеральной формы, %				Доля рассеянной формы, %			
	Пентландит				Пирротин				халькопирит				Pt	Pd	Rh*	Au	Pt	Pd	Rh*	Au
	Pt	Pd	Rh	Au	Pt	Pd	Rh	Au	Pt	Pd	Rh	Au	Pt	Pd	Rh*	Au	Pt	Pd	Rh*	Au
Октябрьский вкрапленная	0,05	2,36	0.12	0,26	0,39	0,4	0.07	0,48	0,16	8,8	0	0,04	99.7	90	80	98	0.3	10	20	2
Октябрьский медистая	2,12	54,86	0.1	0,26	0,17	0,42	1.51	0,06	1,54	6,46	0	0	87	64	не опр	93	13	36	не опр	7
Комсомольский медистая	2,32	40,6	3,64	0,57	0,54	0,8	3,55	0,38	0	8,92	0	0,15	91	73	не опр	82	9	27	Rh*	18
Таймырский богатая	5.05		0.25	0.86	0.51	0.3	0.35	0.53	0.26	0.36	0.3	0.2	49	65	65	32	51	35	35	68
Октябрьский богатая	1.07		0.03	0.42	0.39	0.4	0.07	0.48	0.58	0.35	0.36	0.32	78	62	56	56	22	38	44	44
Скалистый богатая	0.5	67	0.64	0.59	0.67	0.76	0.57	0.37	0.11	0.91	0	0.5	89	24	71	10	11	76	29	90

* баланс рассеянной и минеральной форм не получен из-за низких содержаний в минералах

16

ДЕТАЛИЗАЦИЯ БЛОЧНОЙ МОДЕЛИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СОРТАМ
(НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД)*



* - источник: Бигуняк С. Потребности Заполярного филиала в реализации динамической системы управления качеством рудопотоков в новой концепции системы управления

17

РАБОЧИЕ ИНДЕКСЫ ДРОБЛЕНИЯ ИЗУЧЕННЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА
ШИХТА 1 – ТОФ-2 ПК, ШИХТА 2 – НОФ ВКРАПЛЕННАЯ, ШИХТА 3 – НОФ МЕДИСТАЯ

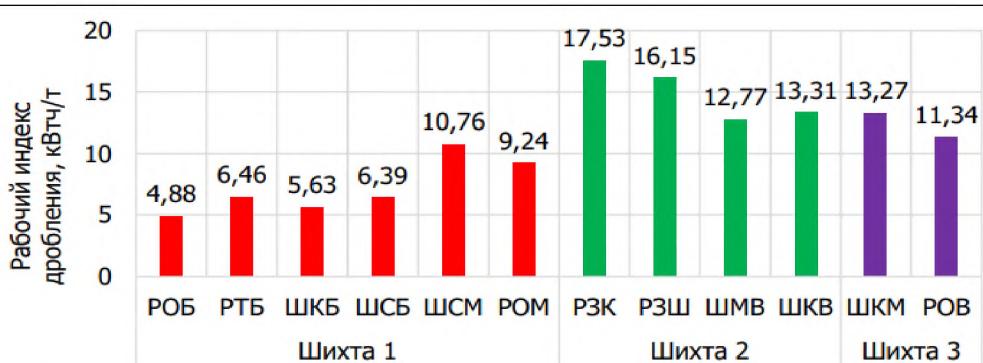
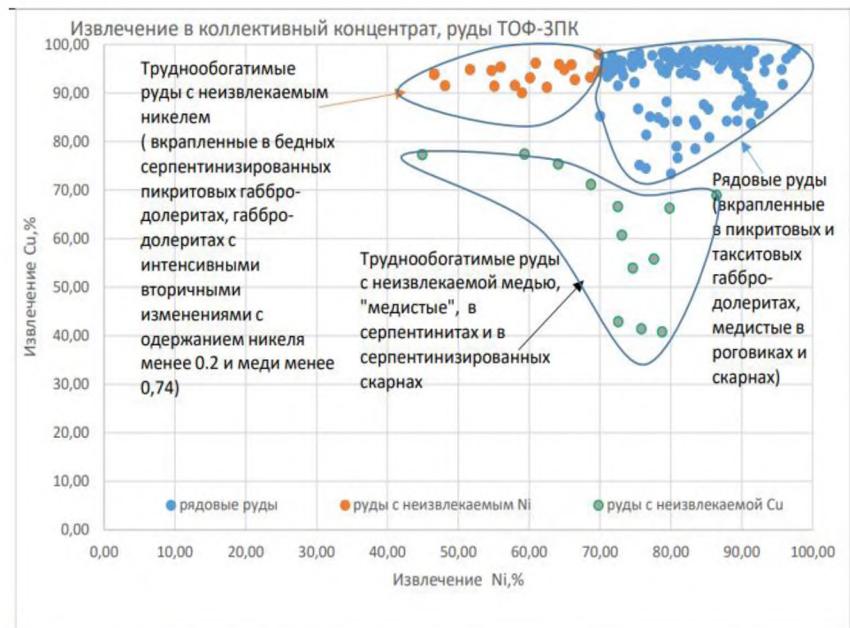
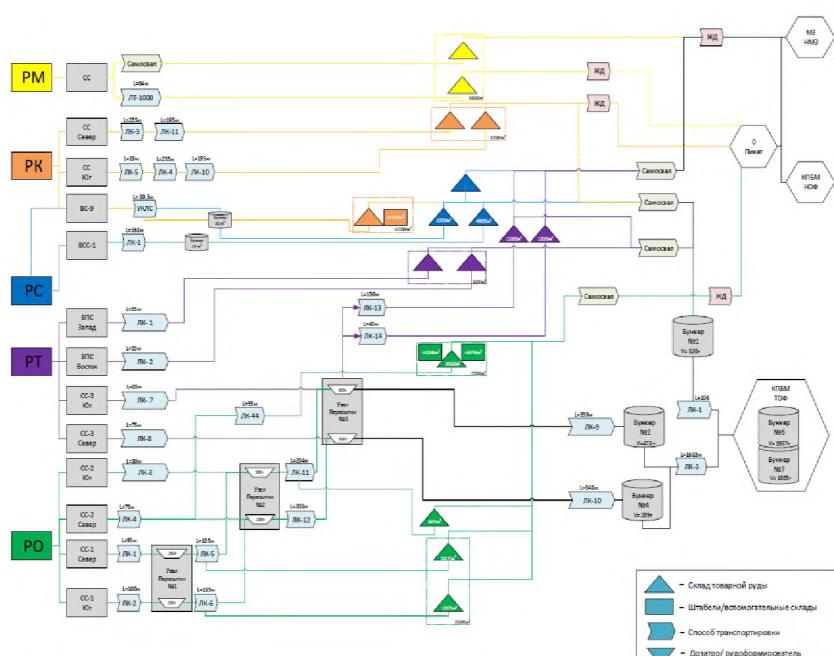


Рисунок 2.2.Рабочие индексы дробления изученных руд НПР, шихта 1 – ТОФ-2 ПК, шихта 2 – НОФ вкрашенная, шихта 3 – НОФ медистая

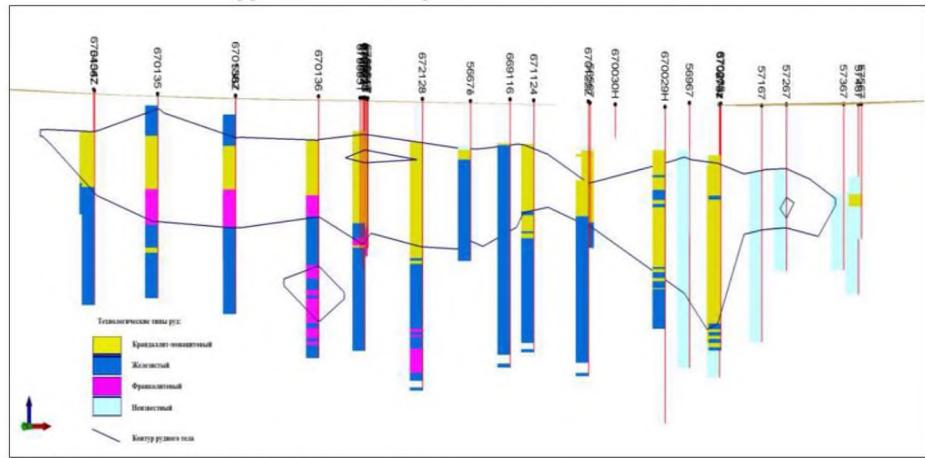
18



19



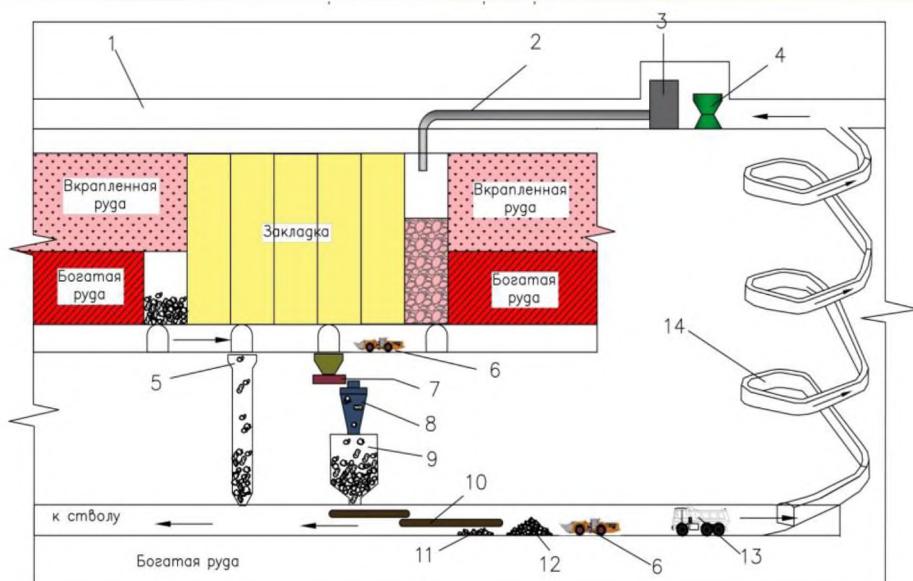
20



1. Железистый тип: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} > 25\%$;
2. Франколитовый тип: $\text{CaO} > 15\%$ и $\text{P}_2\text{O}_5 > 15\%$;
3. Крандаллит-монацитовый тип: $\text{CaO} < 15\%$; $\text{P}_2\text{O}_5 < 15\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO} < 25\%$;

* - источник: Петров С.В. Геометаллургия...

ГОРНОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СОВМЕСТНОЙ РАЗРАБОТКИ РАЗНОСОРТНЫХ РУД НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ С ПРЕДКОНЦЕНТРАЦИЕЙ ПОД ЗЕМЛЕЙ ОТБЫТИХ ВКРАПЛЕННЫХ РУД И ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУСТЫХ ПОРОД ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА



1 – вентиляционно-закладочный горизонт; 2 – закладочный трубопровод; 3 – пункт приготовления смеси; 4 – конусная дробилка; 5 – грохот; 6 – ПДМ; 7 – вибропитатель; 8 – щековая дробилка; 9 – бункер; 10 – сепаратор; 11 – руда после предконцентрации; 12 – отходы сепарации; 13 – самосвал; 14 – спиральный уклон

ТИП И ПРОИЗВОДИТЕЛИ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ КАРЬЕРАХ И ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ НА ПРИМЕРЕ КРУПНЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ХОЛДИНГОВ



Тип оборудования	ГМК «Норильский никель»	АК «АЛРОСА»	УГМК
Буровые установки (99,9% импорт)	AtlasCopco (Швеция) Sandvik (Финляндия)	AtlasCopco (Швеция) Sandvik (Финляндия)	AtlasCopco (Швеция) Sandvik (Финляндия)
Подземные погрузчики (98% импорт)	AtlasCopco (Швеция) Sandvik (Финляндия)	Sandvik (Финляндия)	AtlasCopco (Швеция) Sandvik (Финляндия)
Добычные комбайны (95% импорт)		Ferst Alpine (Австрия)	
Установки для анкерного крепления (97%)	Sandvik (Финляндия)	-	-
Установки для токретирования	AtlasCopco (Швеция) Normet (Швеция)		
Железнодорожный транспорт	Россия	Россия	Россия
Конвейерный транспорт (100%)	Continental (Германия)	Metso (Финляндия)	
Вспомогательное оборудование	70 % - Швеция, Финляндия 20 % - Китай 10 % - Россия	100 % - Финляндия	
Экскаваторы		100%	
Самосвалы		99%	
Буровые станки		54%	

23

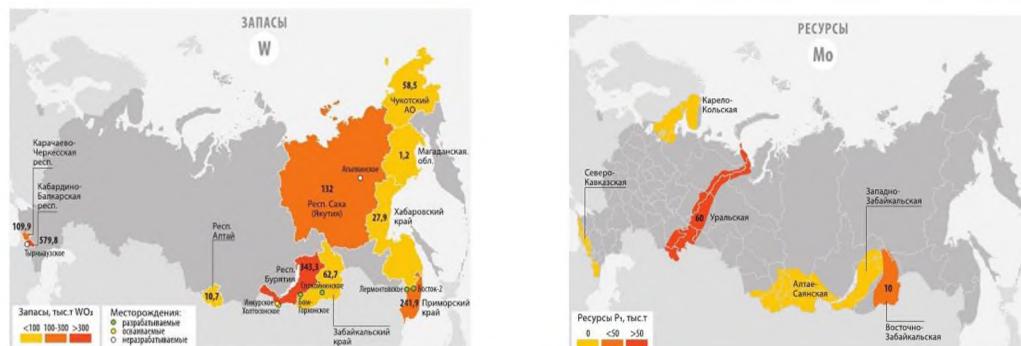
ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



Процесс	Приоритетное направление развития	Возможность реализации без привлечения технологий и оборудования из недружественных стран	Возможность реализации без привлечения зарубежных технологий и оборудования
Технологии добычи руды без присутствия людей в выработанном пространстве	Внедрение дистанционно управляемых, автоматизированных и роботизированных комплексов для бурения, заряжания и доставки руды. Адаптация конструктивного оформления систем разработки для применения безлюдной выемки.	Наиболее интенсивно данное направление реализуется на основе технологий и оборудования Швеции, Финляндии, Германии, США, Японии, Канады, Австралии, вместе с тем в последние годы интенсивное развитие оборудования и технологий происходит в Китае	В перспективе ближайших 20-30 лет создание технологий даже современного уровня является маловероятным
Внутрирудничный транспорт	Автоматизированные интеллектуальные системы конвейерного, колесного и железнодорожного транспорта	Возможно с использованием оборудования и технологий Китая	Возможно для железнодорожного транспорта
Подъем руды на поверхность	Автоматизированные системы склонового подъема. Применение вертикальных конвейерных систем	Склоновой подъем возможен. Вертикальные конвейерные системы нет.	При наличии импортной компонентной базы возможно.
Рудничная вентиляция и кондиционирование	Интеллектуальные системы рудничной вентиляции и кондиционирования. Внедрение системы «воздух по требованию»	Возможно	Возможно при наличии импортной компонентной базы.
Закладка выработанного пространства	Внедрение бесцементных закладочных смесей, смесей на основе хвостов обогащения, внедрение пастовой закладки	Возможно	Внедрение пастовой закладки без применения зарубежного оборудования проблематично, остальное возможно.
Управление качеством минерально-сырьевых потоков	Внедрение систем, обеспечивающих требуемое качество минеральных потоков практически в режиме реального времени	Возможно	Разработка технологий возможна, оборудование скорее всего нет.
Управление технологическим процессом	Внедрение системы «Интеллектуальный рудник» на базе интеграции различных рудничных подсистем	Теоретически можно, но технологии и компонентная база из недружественных стран будет присутствовать	В перспективе ближайших 10-15 лет создание технологий даже современного уровня является маловероятным

24

ОСНОВНЫЕ ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ



В настоящее время из вольфрам-добывающих предприятий работают несколько:

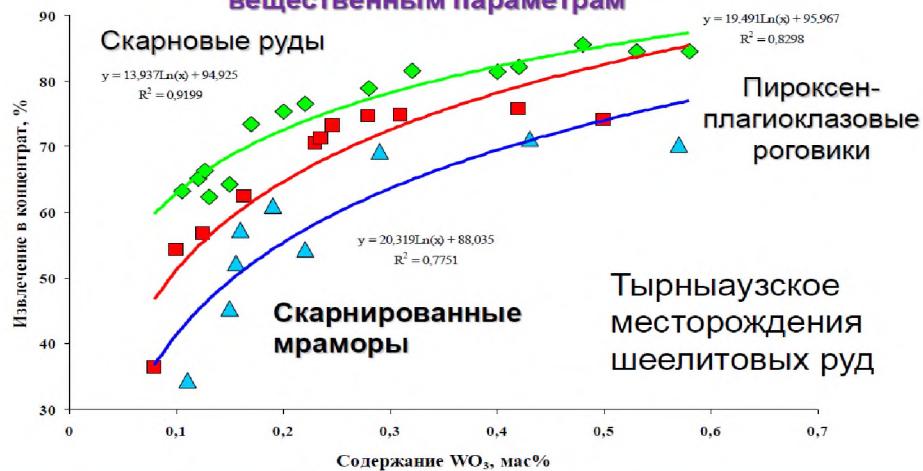
- «Приморский ГОК» на Дальнем Востоке, производящий около 3600 т/год концентратов;
- «Новоуральский ГОК», находящийся в Читинской области и выдающий до 80 т/мес концентратов;
- в незначительном количестве вольфрам добывается и перерабатывается в концентрат компанией «Правоурмийское», разрабатывающая Правоурмийское оловорудное месторождение в Хабаровском крае, осуществляет попутное производство вольфрамового концентрата.
- «Лермонтовская ГРК» (в стадии банкротства ввиду убыточности).
- предприятие «Закаменск» перерабатывает отвалы Барун-Нарынского техногенного месторождения и Инкурского месторождения в Бурятии.

Состояние отечественной вольфрамовой отрасли, обеспечивающей потребности предприятий оборонно-промышленного комплекса, машиностроения, металлургии, добывающих и других отраслей, требует принятия мер по развитию ее сырьевой базы, в том числе и вовлечению в переработку «вторичных» ресурсов – хвостохранилищ.

25



Прогнозирование показателей переработки руды по вещественным параметрам



Тырныаузское
месторождения
шеелитовых руд

26

**ПЕРСПЕКТИВЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ
ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУД ТВМК**



**Запасы в хвостохранилище №2 по данным
ООО «Эльбрус-Строй» и ЗАО «Артель
старателей – Чайбуха»**

Наименование металла	Среднее содержание в г/м ³	Объем хвостов в млн м ³	Запасы в тоннах
Вольфрам	660	26	17622
Молибден	180	26	4806
Бисмут	33	26	881
Золото	0.1	26	2.67

**Запасы в хвостохранилище №3 по данным
ТВМК**

Наименование металла	Среднее содержание в г/м ³	Объем хвостов в млн м ³	Запасы в тоннах
Вольфрам	460	26	12282
Молибден	250	26	6675
Бисмут	35	26	910
Золото	0.25	26	6.68

**Содержание промышленных элементов в промышленных
отходах хвостохранилищ № 2 и 3 по данным РФА и РСА [2]**

Отвал	Содержание элементов, г/т											
	W	Mo	Zn	Cu	Pb	Sn	As	Sb	Sr	Rb	Tl	U
№2	мин	200	36	200	21	9	40	25	4	240	-	-
	макс	1450	320	430	183	66	86	143	17	340	-	-
	ср	520	129	280	72	25	68	69	10	303	-	-
№3	мин	200	100	230	39	14	57	39	5	220	69	<5
	макс	910	240	460	120	68	185	180	5	350	170	<5
	ср	420	145	290	65	26	89	96	5	315	118	<5

27

**ВОВЛЕЧЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ
РУД ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СДЕРЖИВАЕТСЯ:**



- топографическими условиями расположения месторождения в гористой местности с позиций обеспечения транспортной доступности и выбора параметров систем разработки техногенных образований и транспортирования техногенного сырья;
- сложной гидрогеохимией региона и необходимость решений по управлению динамичными гидропотоками в ходе разработки;
- отсутствием решений по выемке тонкодисперсного техногенного сырья в гористой местности и в обводненной среде;
- отсутствием исходных данных по структуре массива хвостохранилища Тырныаузской обогатительной фабрики и закономерностей изучения содержаний ценных компонентов и вещественного состава техногенного сырья;
- отсутствием решений по утилизации всего объема отходов после переработки хвостов, особенно особо токсичных элементов;
- необходимостью технологического согласования мощностей и объемов переработки хвостов с объемами переработки добываемых руд после возобновления работы Тырныаузского комбината.

28

Поверхность хвостохранилища №2 была полностью рекультивирована в 1976–1977 гг. В 2000г. был разработан карьер по добыче «инертного» материала, в результате чего был нарушен слой рекультивации, а захороненные отходы были вскрыты на всю их мощность в северной его части. Сейчас хвостохранилище продолжает оказывать воздействие на экосистему региона [2]

Пляжная часть хвостохранилища №3 защищена от ветровой эрозии зеркалом воды, глубиной до 6 м. Однако после частичной рекультивации «защитное» озеро разделилось на два самостоятельных водоема, один из которых дренировался частичным стоком излишков воды по двум деривационным тоннелям в р.Баксан [2]

[2] Источник: Вицкюров, С. Ф. Экологические риски хранения отходов Тырныаузского содово-магниевого комбината и проблемы их комплексной утилизации [Текст/монография] / С. Ф. Вицкюров, О. А. Богатиков, А. Г. Гурбаков, Б. С. Карапузов, В. М. Газеев, А. Б. Лекон, А. В. Шевченко, С. М. Долов, З. И. Дударов, О. Д. Серегин, В. А. Сычкова. – Нальчик : Каб.-Балк. ун-т, 2018.– 130 с. – 150 экз.

Нарушение сохранности хвостохранилищ путем частичного или полного геомеханического разрушения «запорных» насыпных дамб также обуславливает большие экологические риски, которые могут быть вызваны рядом природных явлений: неотектонической активностью, повышенной сейсмичностью и селевой опасностью.



[4] Источник: Залиханов М.Ч. Противоселевая защита г. Тырныауз от затопления // Труды Всероссийской конференции по селям 26–28 октября 2005. М. :УРСС, 2005. С. 283–286.

29

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОВЛЕЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННУЮ ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАЗИРУЮТСЯ НА ПРИНЯТИИ МЕР ПО:

- обеспечению транспортной доступности и выбору параметров систем разработки техногенных образований и транспортирования техногенного сырья;
- управлению динамичными гидропотоками в ходе разработки хвостохранилища и выемке тонкодисперсного техногенного сырья с учетом структуры его массива хвостохранилища;
- утилизации вторичных отходов после переработки хвостов с доизвлечением ценных компонентов;
- обоснованию рационального соотношения объемов переработки хвостов с объемами добычи руд после возобновления работы Тырныаузского комбината.

30

Выводы:

1. Оценка потребности в георесурсах.
2. Оценка доступности ресурсов в соответствии с прогнозом развития.
3. Геотехнологическая оценка минерально-сырьевой базы.
4. Направления развития геотехнологий:
 1. Комбинированные физико-технические и физико-химические геотехнологии;
 2. Вовлечение забалансовых запасов (камера-реактор);
 3. Разработка техногенных образований;
 4. Доработка законсервированных объектов;
 5. Интеллектуализация и роботизация технологических процессов.

31

Горнотехническая система с элементами дистанционного управления и роботизации



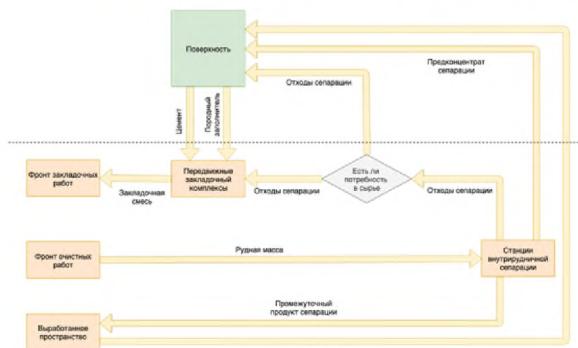
32

Пример комбинированных геотехнологий для обеспечения потребностей в рудоминеральном сырье



Обозначения к рис. а: 1 – рудная залежь; 2 – буровой орт; 3, 7 – рудоспуски; 4 – откаточный орт; 5, 6, 9 – откаточный и вентиляционные штреки; 8 – буровое оборудование открытых горных работ; 10 – камеры подземного рудника; 11 – камера-реактор для выщелачивания руд.

б) принципиальная схема полного цикла добычи руд и утилизации отходов без выдачи их на поверхность

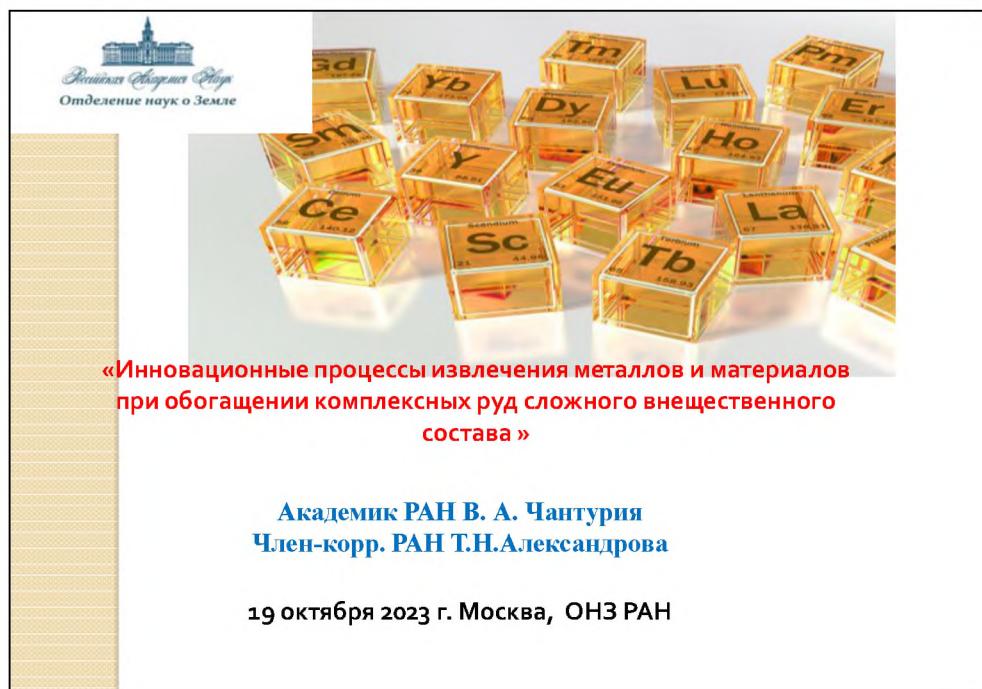


33

Иновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава

**академик РАН В.А. Чантурия (ИПКОН РАН),
член-корреспондент РАН Т.Н. Александрова (СПбГУ)**

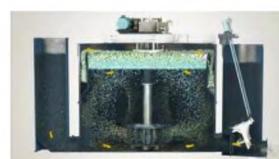
*Институт проблем комплексного освоения недр РАН
Санкт-Петербургский государственный университет*



Актуальность исследования

Стратегическим является минеральное сырье, которое отражает геополитические интересы страны, имеет особое значение для обеспечения ее экономического развития, обороны и безопасности. Перечень такого сырья и материалов устанавливается правительством и может меняться в зависимости от • военно-политических и экономических приоритетов государства, • структуры материального производства и прогнозируемой обстановки, • конъюнктуры мирового рынка, • состояния внешнеэкономических связей и других обстоятельств. В настоящее время Минприроды из утвержденного перечня выделяют 17 видов стратегического минерального сырья (СМС), зависимого от импорта, причем в критическую группу выделено всего **пять видов: марганец, титан, литий, ниобий и редкоземельные металлы.**

Российская минерально-сырьевая база — фундамент экономики России. Основные тенденции развития современного горно-металлургического комплекса России определяются необходимостью широкого вовлечения в переработку труднообогатимых руд и техногенного редкometального сырья, которые характеризуются низким содержанием ценных компонентов, тонкой вкрапленностью минеральных комплексов и близкими технологическими свойствами слагающих их минералов. При этом **эффективность процессов обогащения полезных ископаемых** во многом предопределяет экономику всего горно-металлургического производства.



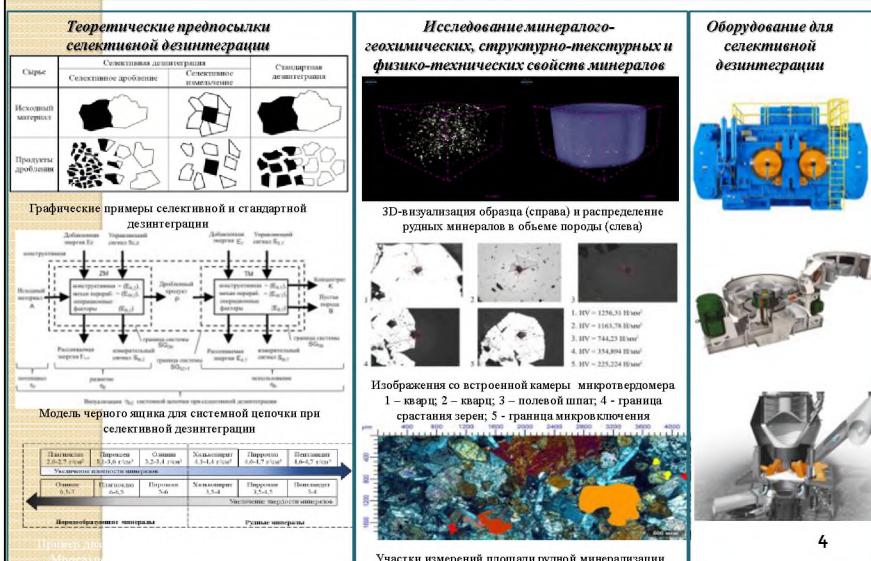
2

Современные технологии комплексной и глубокой переработки стратегического минерального сырья

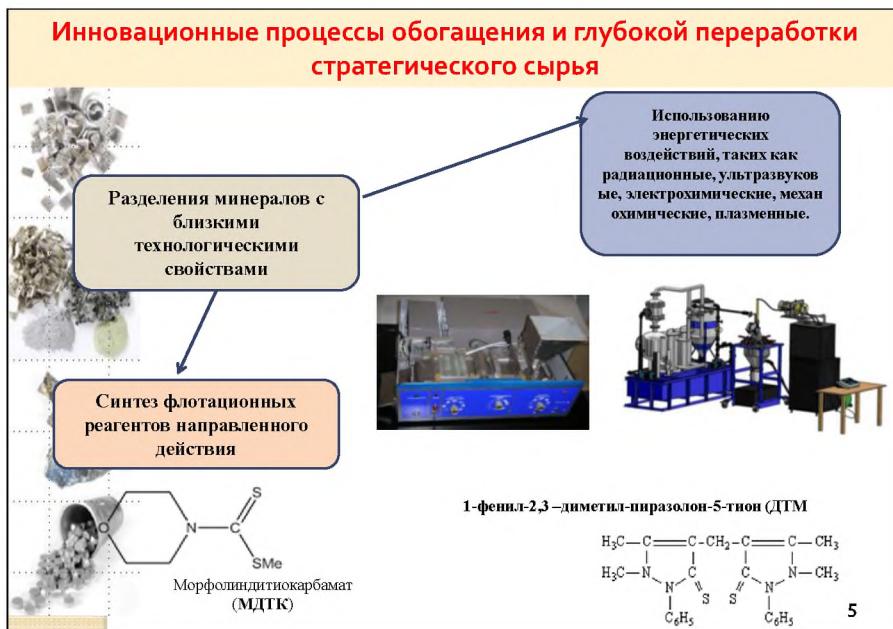


3

Селективная дезинтеграция и предконцентрация минерального сырья



4



Основные месторождения редких и редкоземельных элементов

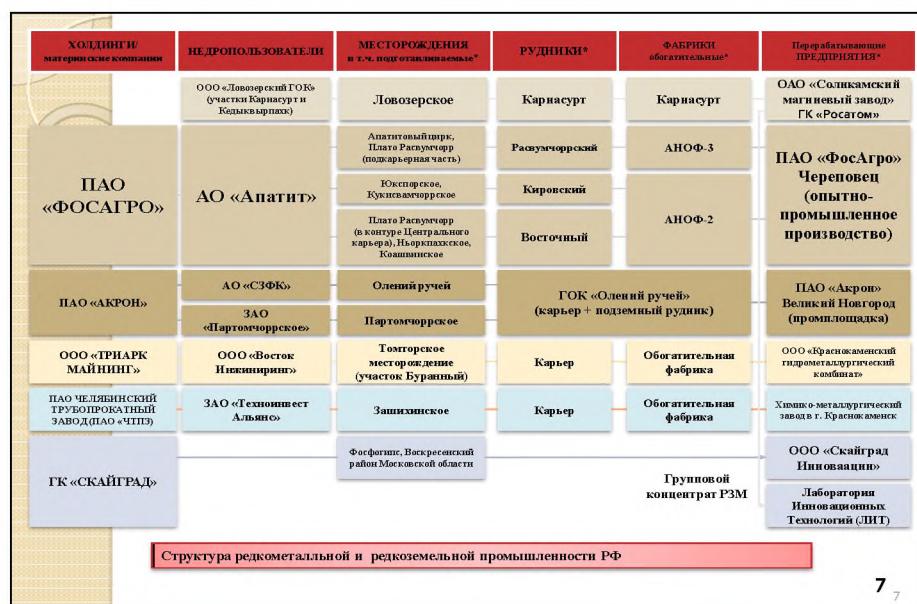
Проектируемые (перспективные) предприятия

Месторождение (запасы РЗМ в пересчете на оксиды, млн. тонн)	Содержание РЗМ, %	Страна	Компания	Минералы РЗМ	Мощность по руке, тыс. тонн	Методы обогащения	Объем товарной продукции, тыс. тонн РЗМ в пересчете на оксиды	Содержание таковых РЗМ, %
Томторское (3,2)	10,59	Россия	Ростех	Монацит, ксенотит (55- 60% оксидов РЗМ)	10 (200)	Гидрометаллургические методы	2,5 (10)	12
Качугинское (0,67)	0,2 – 1,3	Россия		Гагаринит, литофлюорит	600 (3 000)	Гравитация, магнитная сепарация, флотация	1,4 (5,7)	32
Чукучонское (0,49)	7,3	Россия		Монацит	150	Гидрометаллургические методы	3,1	5 – 6

Действующие предприятия

Ловозерское (лонгиритовое сырье)	1,2	Россия	Ловозерский ГОК	Лонгирит (30- 35% оксидов РЗМ)	до 450	Гравитация, магнитная сепарация, флотация	2,7 – 6,5	1
-------------------------------------	-----	--------	--------------------	--------------------------------------	--------	--	-----------	---

6





8

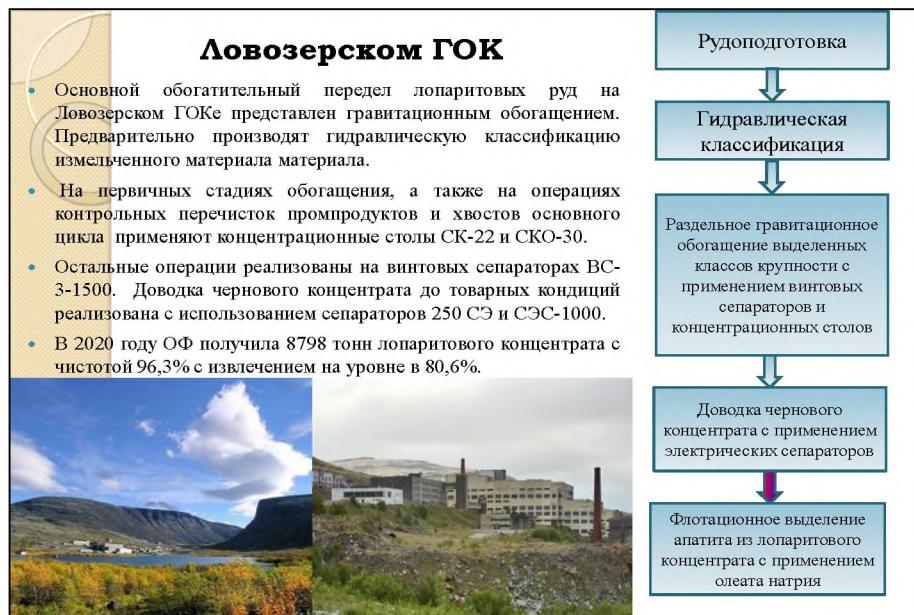
Обогатительный передел лопаритовых руд на Ловозерском ГОКе

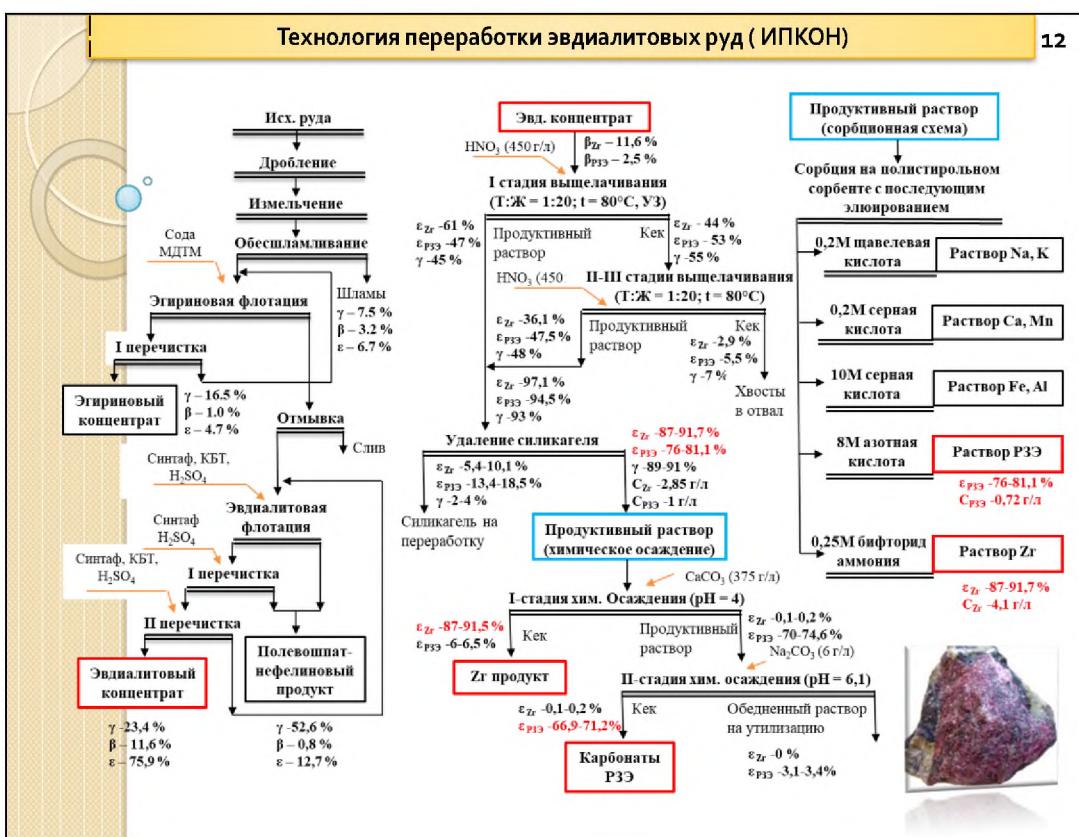
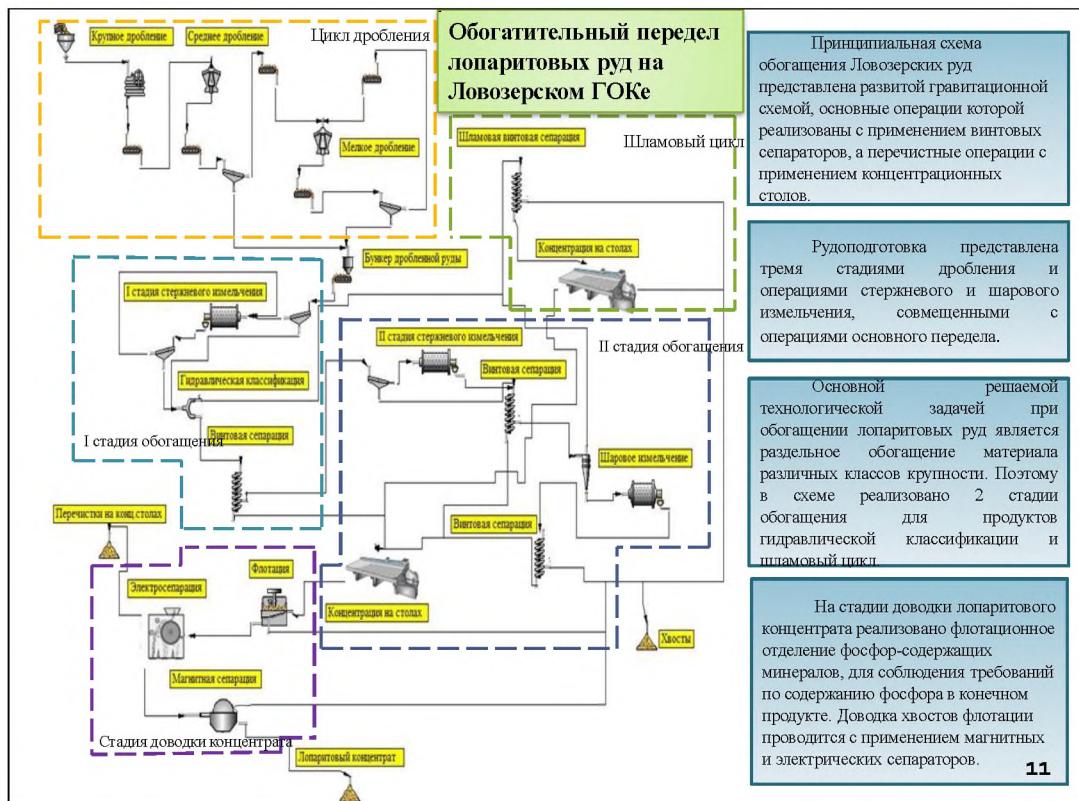
- Ключевые месторождения РЗМ расположены на территории Мурманской области. Одним из семи месторождений РЗМ в этом регионе является Ловозерское лопаритовое месторождение. Основным минералом-концентратом РЗМ является **лопарит**, содержащий до 34% элементов цериевой группы и до 12% суммы пентаоксидов ниобия и тантала и до 0,5 % тория. В значительных количествах в руде присутствуют эгирин и нефелин. Обогащение руды производится по развитой гравитационной схеме с последующей доводкой чернового концентрата с использованием электромагнитных сепараторов.




Источник: <https://webmineral.ru/deposits/photo.php?id=459>

9





Титаномагнетитовые руды

АКТУАЛЬНОСТЬ. В России около 50% мировых запасов железных руд данного типа. Возможно попутное извлечение скандия, ванадия.

ПРОБЛЕМА. Руды комплексные, тонковкрашенные. Концентраты глубокого обогащения с высоким содержанием титана ($> 5\% \text{ TiO}_2$)

ТЕХНОЛОГИИ

- Крупнокусковое радиометрическое магнитное обогащение
- Селективная дезинтеграция и тонкое грохочение в цикле рудоподготовки
- Применение нового оборудования размагничивающих аппаратов, магнитных сепараторов на постоянных магнитах, электросепарации.
- Металлургическая переработка высокотитанистых титаномагнетитовых концентратов

- Ильменитовый концентрат (TiO_2 48%);
- Феррованадий ($\text{Fe}_{\text{общ}} - 50\%$, $\text{V} - 35\%$), ГОСТ 27130-94;
- Низкоуглеродистая сталь ($\text{Fe}_{\text{общ}} - 93\%$, $\text{V} - 0,35\%$), ГОСТ 4543-91
- V_2O_5 (96-98%);
- Щебень

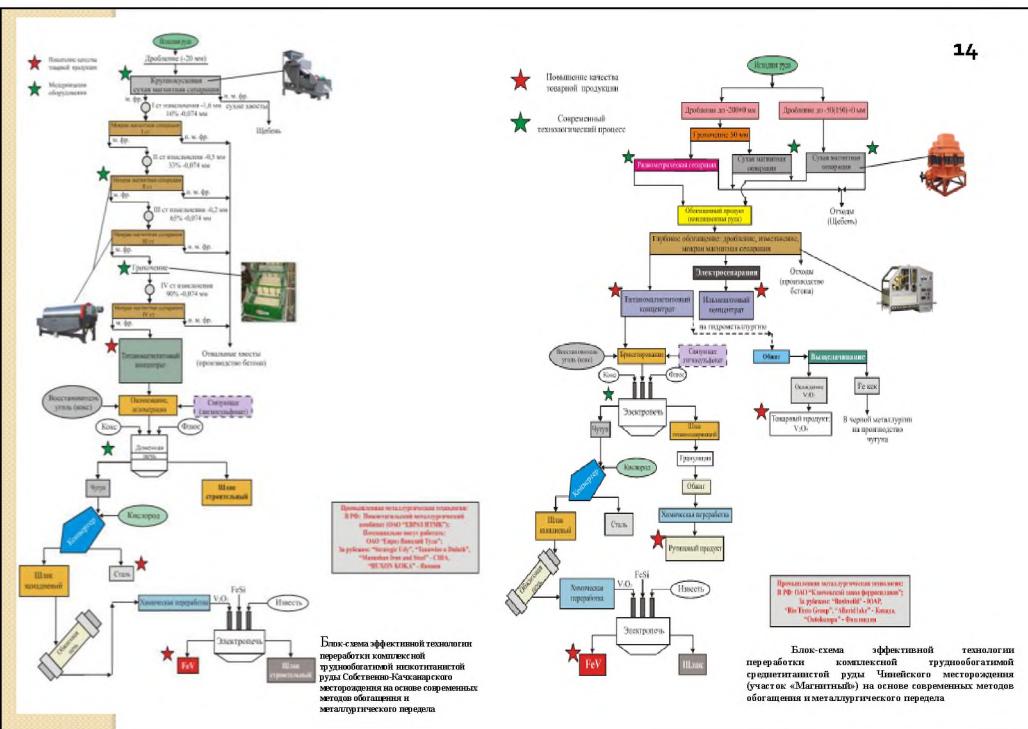
ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

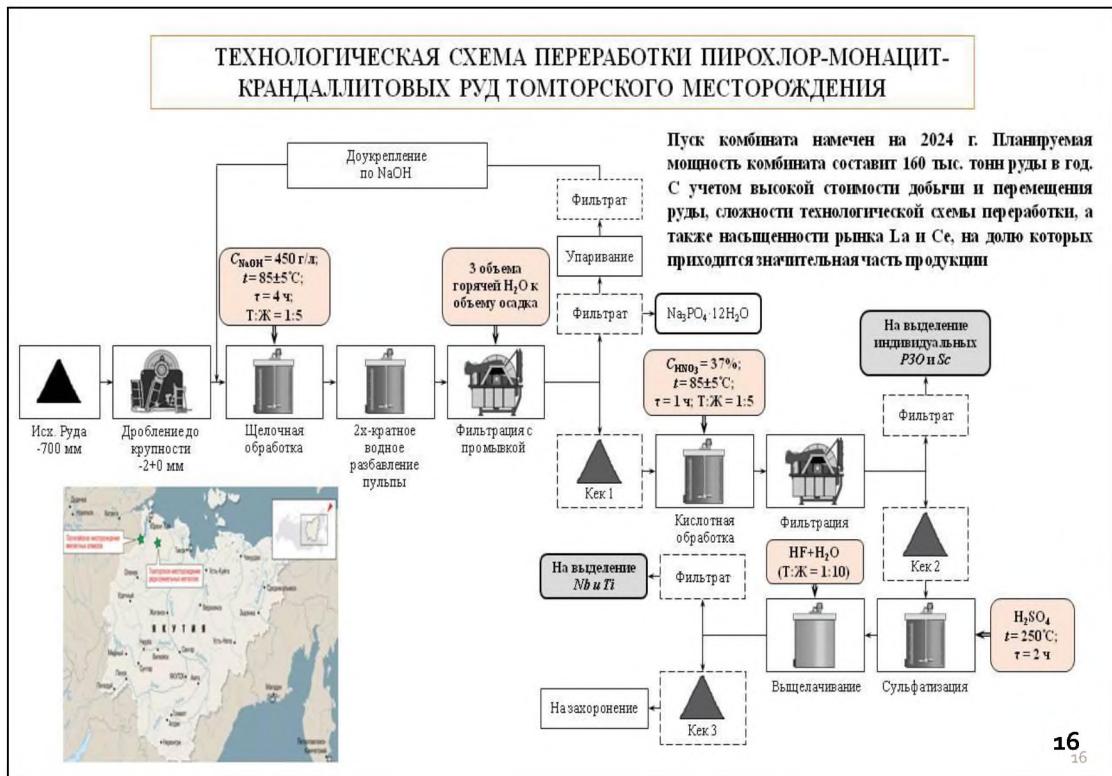
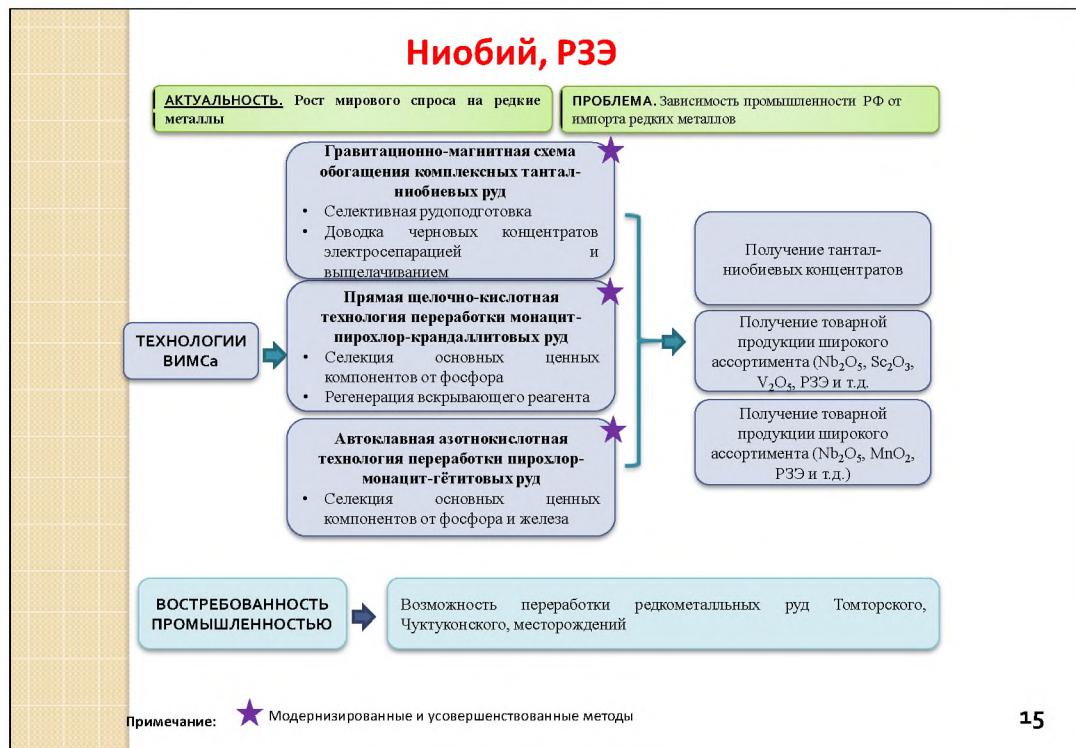
«Олекминский рудник», ОАО «Ванадий» (недропользователь - АО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК»), Чинейское (недропользователь - ОАО ГМП «Забайкальстальинвест») Яргеское месторождение титано - магнетовых песков.

Примечание: ★ Применено впервые;

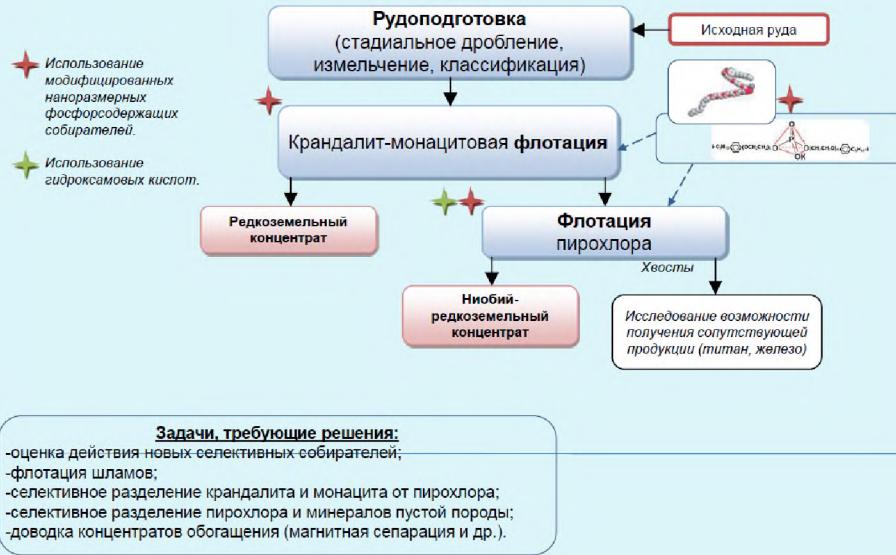
★ Модернизированные и усовершенствованные циклы обогащения

13



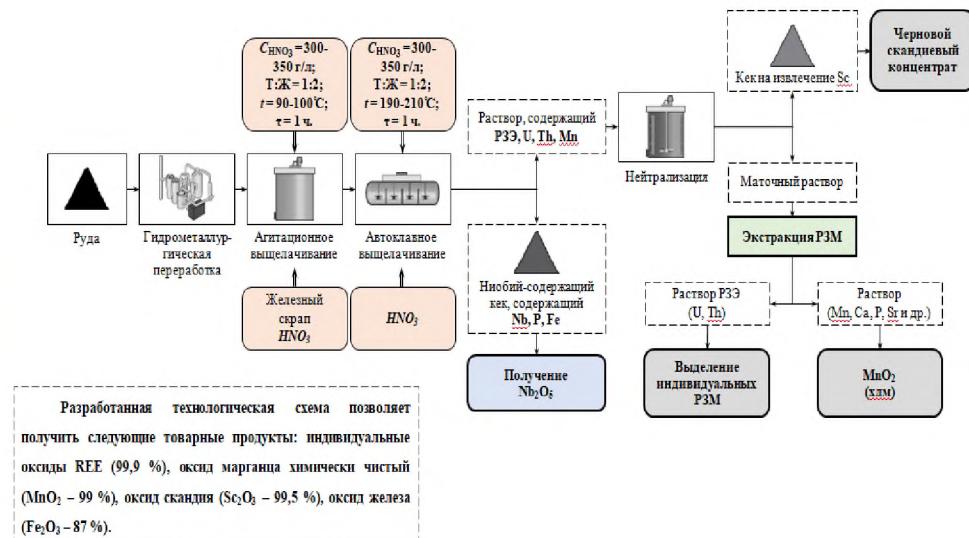


Направление исследований по усовершенствованию процессов глубокого обогащения руды Томторского месторождения (участок Южный и Северный)



17

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПЕРЕРАБОТКИ ПИРОХЛОР-МОНАЦИТ-ГЁТИТОВЫХ РУД ЧУКТУКОНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



18

18

Тантал, ниобий, РЗЭ

- Рост мирового спроса на редкие металлы
- Ликвидация зависимости промышленности РФ от импорта редких металлов

ТЕХНОЛОГИИ

Прямая щелочно-кислотная технология переработки монацит-пирохлор-крандаллитовых руд

- Селекция основных ценных компонентов от фосфора
- Получение товарной продукции широкого ассортимента (Nb_2O_5 , Sc_2O_3 , V_2O_5 , РЗЭ и т.д.)
- Регенерация вскрывающего реагента

Автоклавная азотнокислотная технология переработки пирохлор-монацит-гейтитовых руд

- Селекция основных ценных компонентов от фосфора и железа
- Получение товарной продукции широкого ассортимента (Nb_2O_5 , MnO_2 , РЗЭ и т.д.)

Гравитационно-магнитная схема обогащения комплексных tantal-ниобиевых руд

- Селективная рудоподготовка
- Доводка черновых концентратов
- Электролиз
- Выщелачивание

ВОСТРЕБОВАННОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ

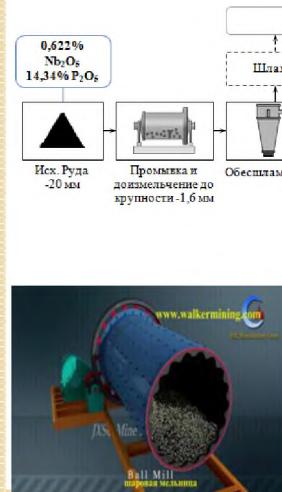
Выданы исходные данные для составления технологического регламента и технологической части ТЭО постоянных кондиций и отчета с подсчетом запасов, создания проекта промышленного предприятия (г. Краснокаменск) (Томторское месторождение)

Защищено ТЭО временных кондиций и отчет с подсчетом запасов (Чуктуконское месторождение)

Технология использована при проектировании промышленного предприятия (Зашихинское месторождение, Белозиминское)

19

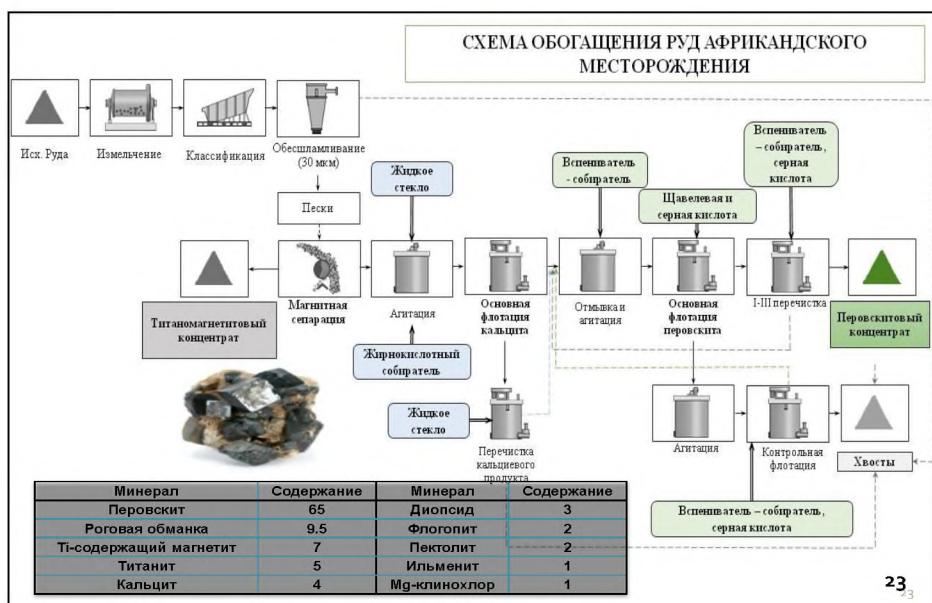
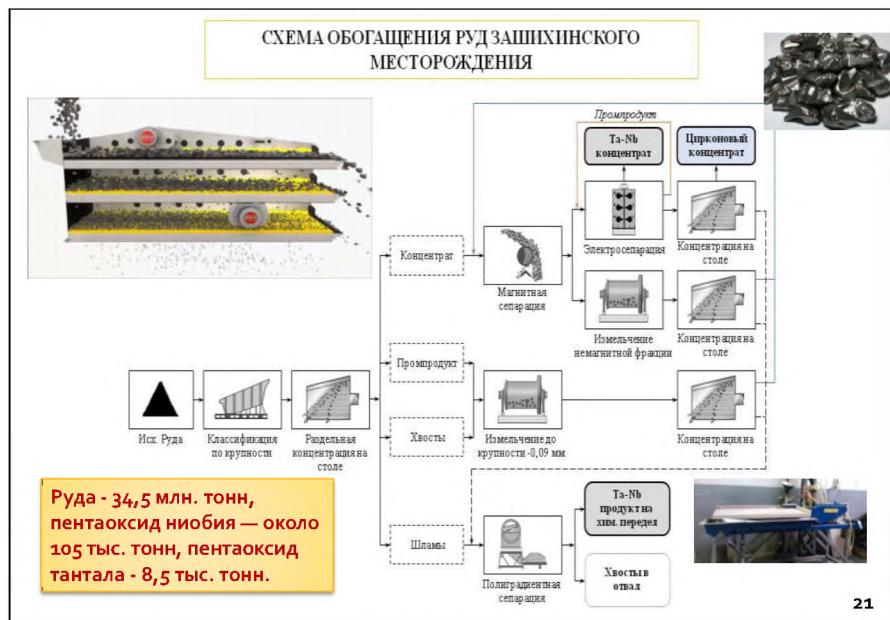
БЕЛОЗИМИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ

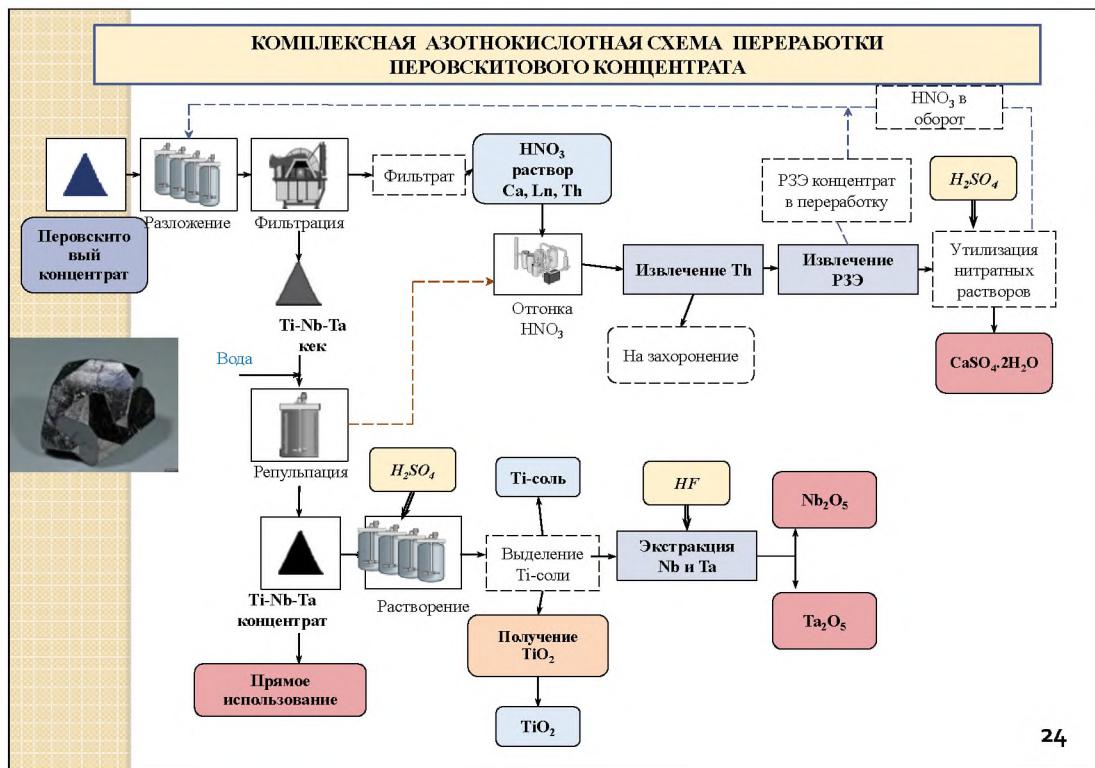


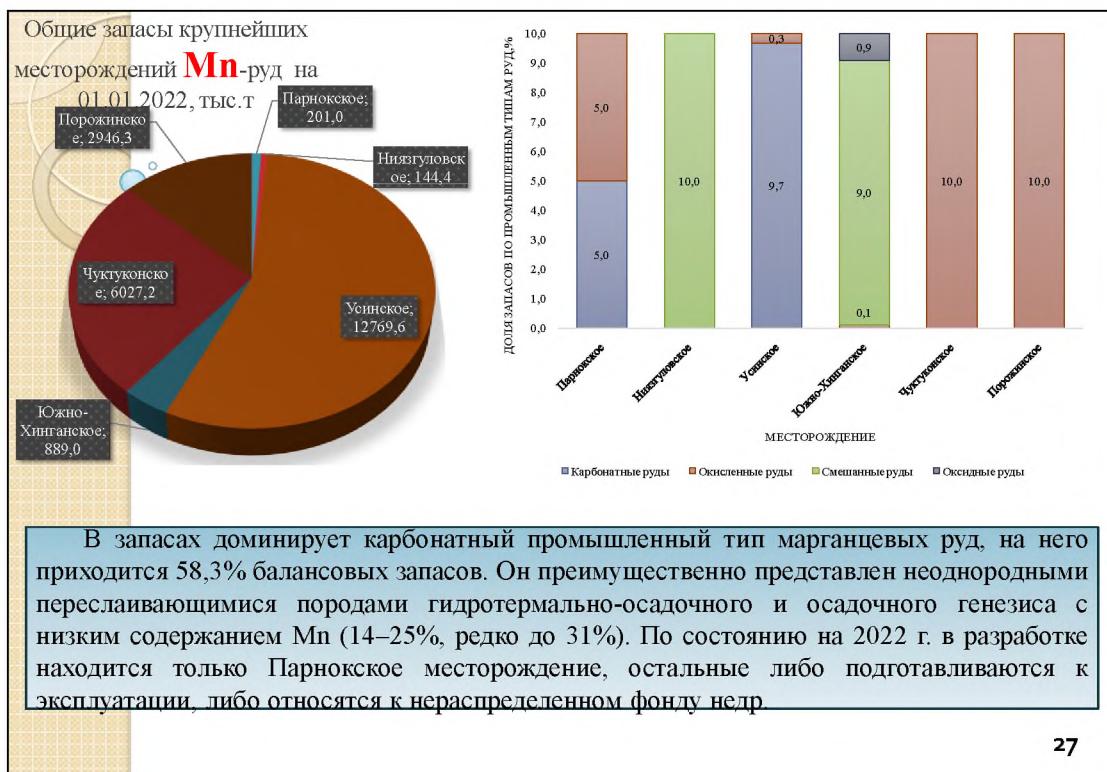
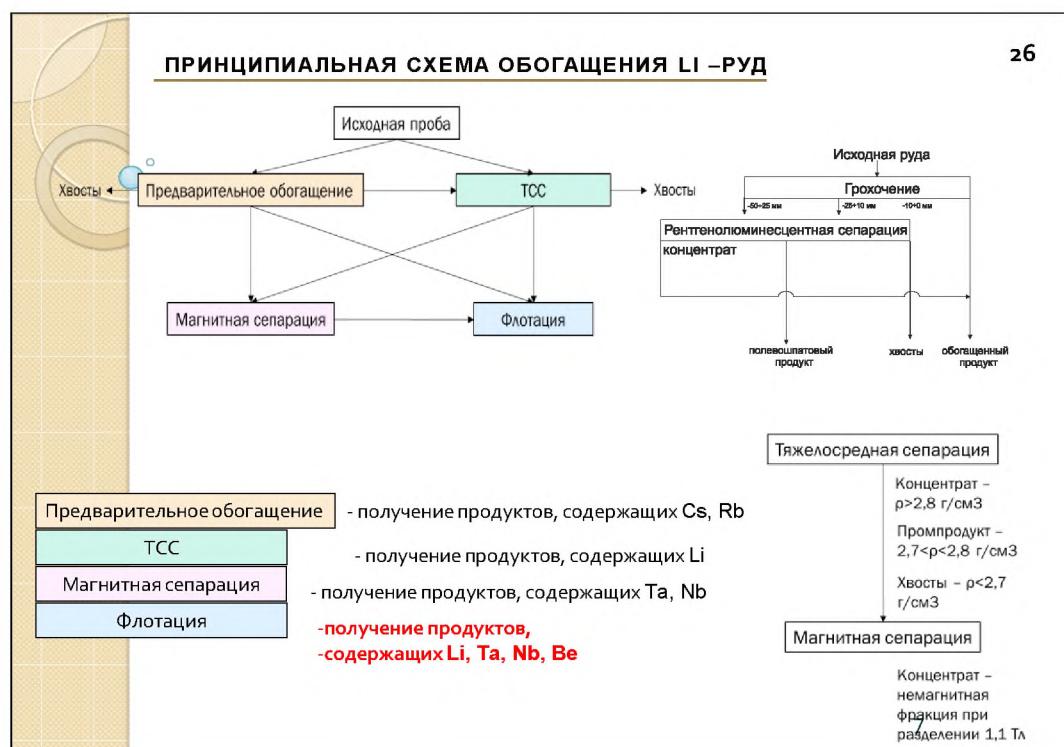
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %			Извлечение, %		
		Nb_2O_5	P_2O_5	TR_2O_3	Nb_2O_5	P_2O_5	TR_2O_3
Пирохлоровый концентрат	0,86	40,00	1,00	0,64	55,30	0,06	0,65
Апатитовый концентрат	22,64	0,20	38,0	0,85	7,28	60,00	22,64
РЗО концентрат	0,52	4,50	6,50	46,0	3,76	0,24	28,14
Исходная руда	100,00	0,622	14,34	0,85	100,00	100,00	100,00

Наименование продукта	Выход, %	Содержание			Извлечение		
		Nb_2O_5	P_2O_5	TR_2O_3	Nb_2O_5	P_2O_5	TR_2O_3
Пирохлоровый концентрат	1,16	44,3	1,89	1,13	55,83	0,13	2,02
Апатитовый концентрат	26,85	0,26	39,09	1,05	7,59	62,1	43,23
РЗО концентрат	0,16	1,78	15,84	40,8	0,31	0,15	10,04
Исходная руда	100	0,92	16,9	0,65	100	100	100

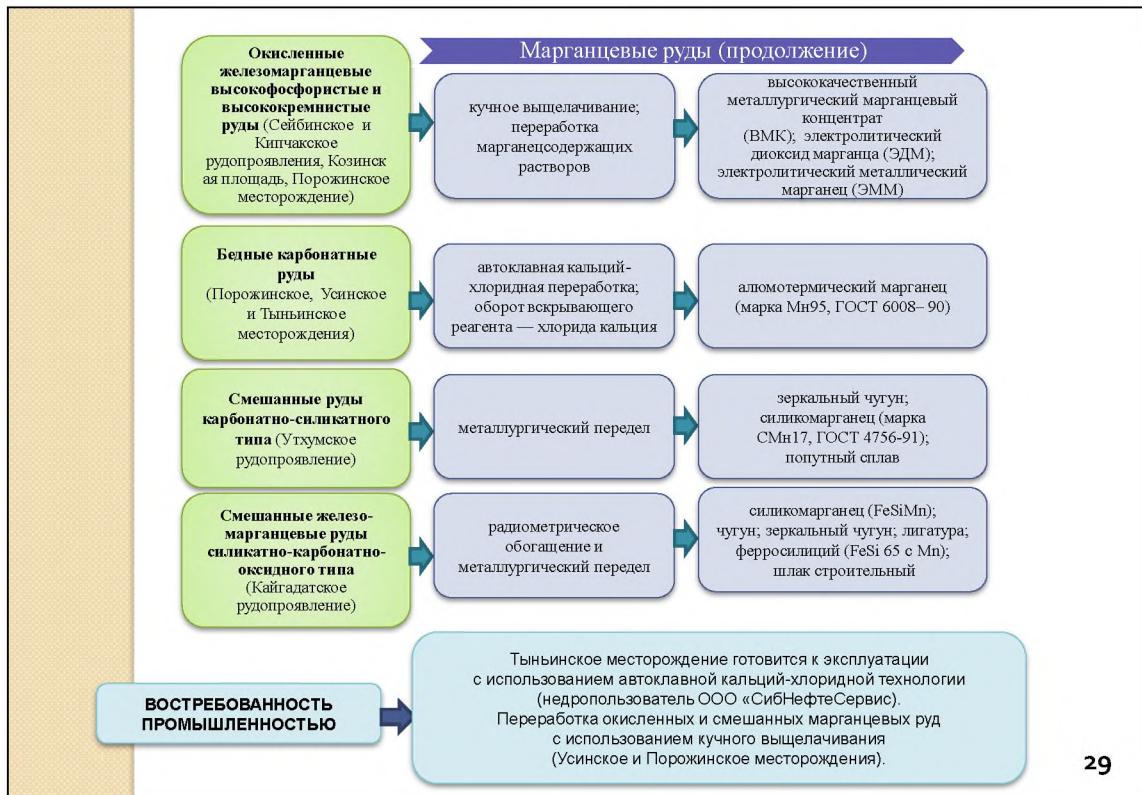
20
20

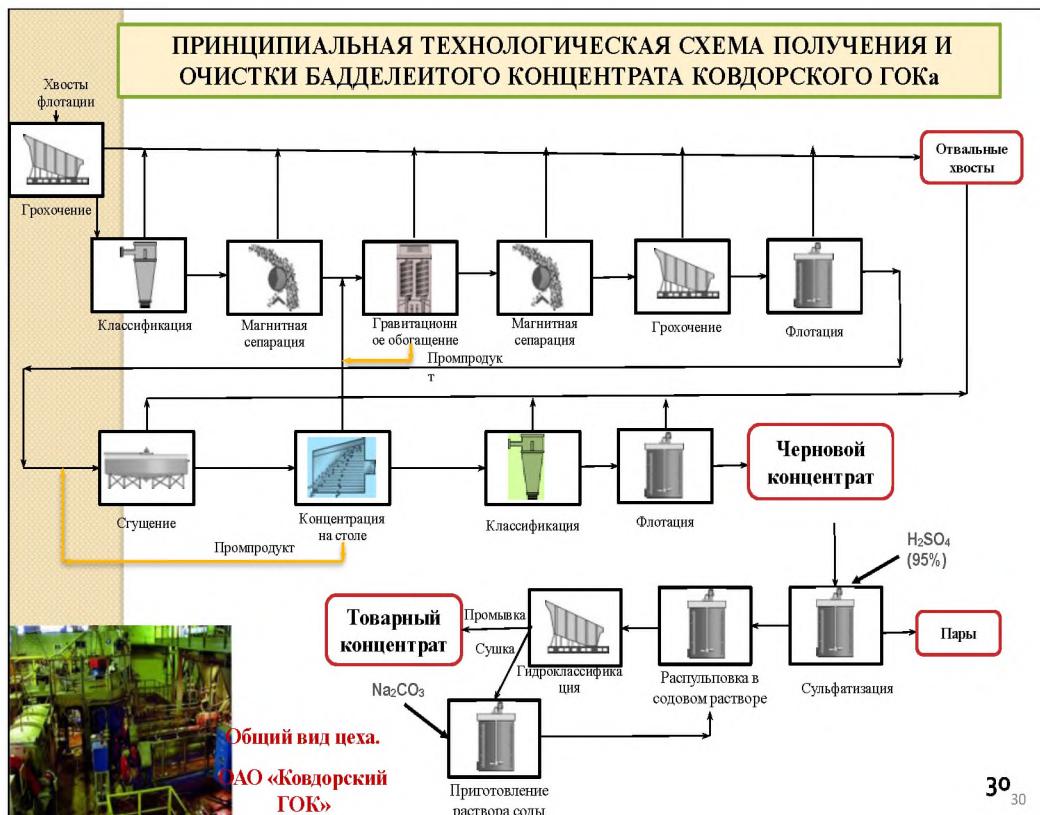






Марганцевые руды





ГРАФИТ

Актуальность. Развитие собственного производства высокотехнологичных углеродных материалов (сферический графит – премиальные цены; сорбент нефтепродуктов).

Востребованность: производство Li-ионных аккумуляторных батарей, огнеупоров; металлургическая промышленность.



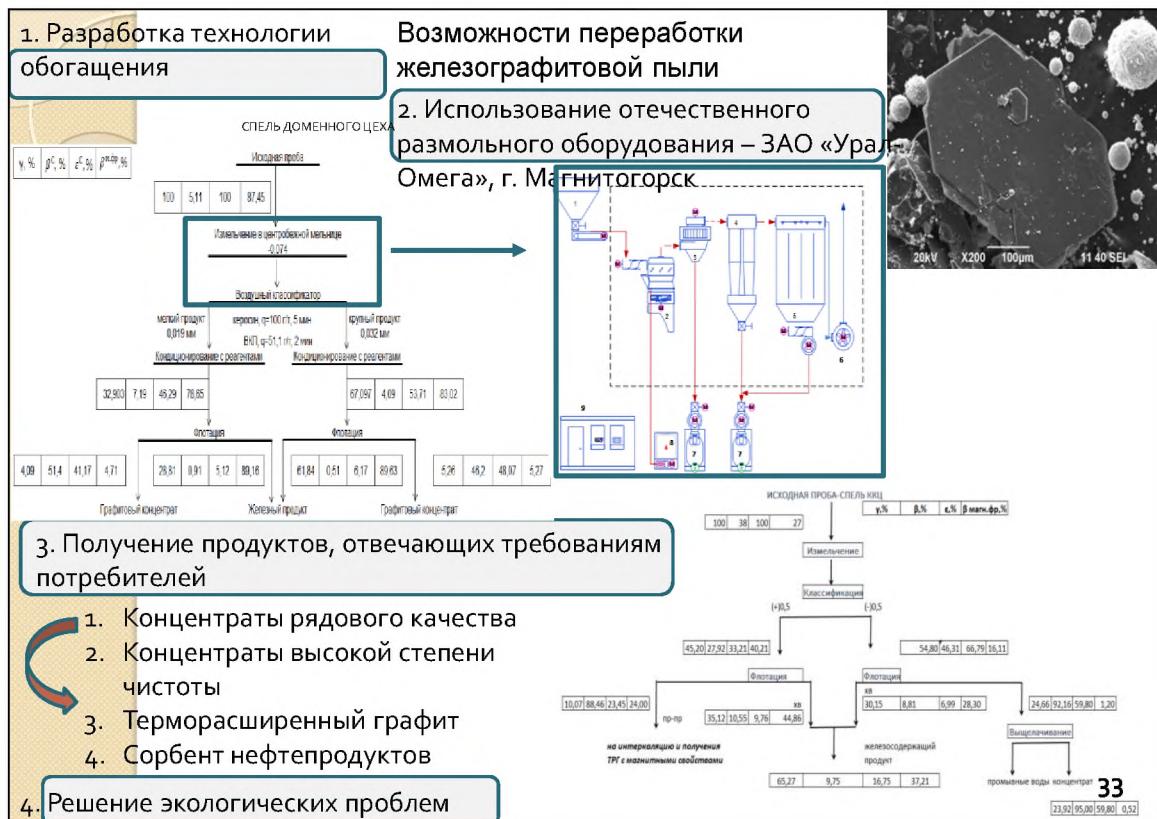
Месторождение, участок (субъект РФ)/ предприятие	Запасы на 01.01.2021/2 2 категорий А+В+С1, тыс.т	Производство графита, тыс. т/год
Природный графит. Разрабатываемое месторождение		
Тайгинское (Челябинская обл.), ООО «Карьер»*	785,1 768,7	12,9 16,2
Природный графит. Подготавливаемое к освоению месторождение		
Союзное, уч. Тополихински		
Техногенный графит. Предприятия черной металлургии РФ		
Доменный, электросталепла вильный, кислородно-	20,590 – 30,885	-

Проблемы. Основные запасы (80,5 %) – аморфного графита, 80% в Курейском месторождении (сложная транспортная логистика, добыча периодическая). Основные потребности – чешуйчатый графит высокого качества (96% и выше С). Низкое качество сырья. Высокая стоимость добычи и переработки.

Альтернативный источник – техногенная железографитовая пыль, образующаяся при переработке чугуна в сталь.

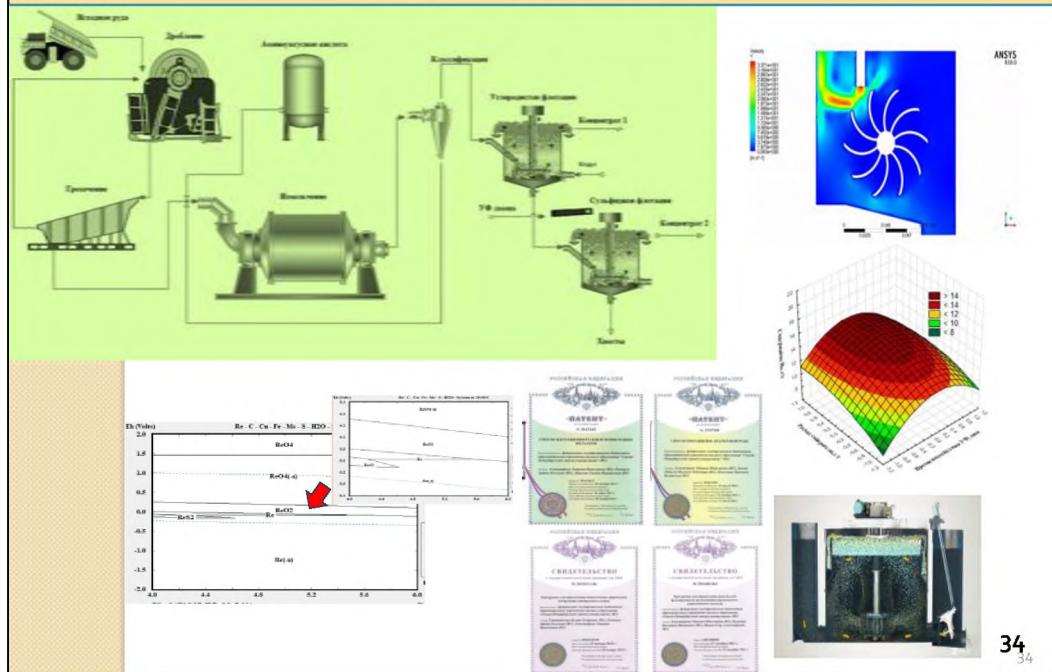
Преимущества: возобновляемый ресурс; графит высокого качества; отсутствие затрат на добычу.
Проблемы: отсутствие методологии оценки ресурса; отсутствие технологии получения графита высокой

32



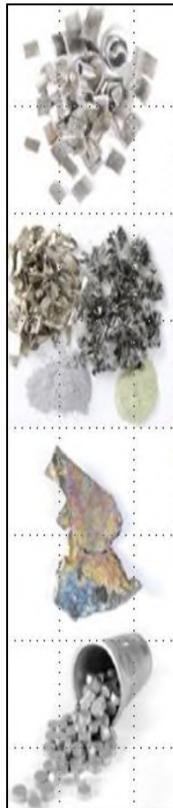
33

Рений (диктионемовые сланцы)



34

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Россия обладает мощной сырьевой базой редкometалльной продукции. Разработаны для ряда месторождений эффективные процессы обогащения и глубокой переработки. Однако, развитие минерально-сырьевой базы редких и редкоземельных металлов в России сдерживается крайне низким спросом на них со стороны потребителей. В подавляющем большинстве металлы вывозятся из страны в виде руды или концентратов.

Помимо работ по добыче сырья, обогащению и переработке с получением требуемого количества и качества СМС продуктов необходимо предусмотреть стадии ОКР, создания модельных и опытно промышленных установок.

Необходимо создание отечественных флотореагентов, оборудования и материалов.

Для обеспечения технологического суверенитета России необходимо обеспечение государственными заказами горно-металлургических компаний, производящих СМС продукцию.

35

Научно-производственное партнерство

Создание на базе КНЦ РАН научно-исследовательского центра по изучению апатит-нефелиновых руд перспективной добычи.



Целью планируемых исследований является достижение максимально возможного извлечения полезного компонента при стабильно высоком качестве апатитового концентратата на обогатительных фабриках Кировского филиала АО «Апатит» (группа «ФосАгро») в условиях изменчивости минерального состава руды.

Центр будет вести собственные научно-прикладные исследования и формировать задания для привлечения профильных высших учебных заведений, академических и отраслевых институтов для решения сложных междисциплинарных задач обогащения апатит-нефелиновых руд.

Инвестиции «ФосАгро» в строительство центра составят более 400 млн. руб. Запуск НИЦ запланирован на осень 2023 года.



Сырьевая база лития и редкоземельных металлов Сибири: состояние, преимущества и проблемы освоения

академик РАН Н.П. Похilenко

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

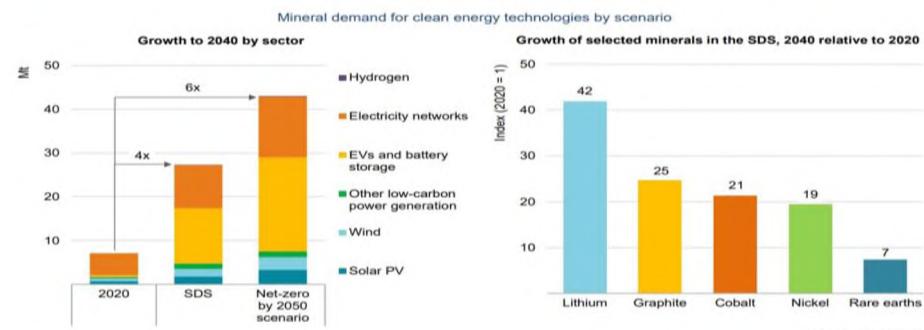


Основные проблемы развития сырьевой базы стратегических видов твердых полезных ископаемых Сибири

- Сокращение и практическое исчерпание поискового задела по большинству стратегических видов полезных ископаемых
- Резкое сокращение государственного фонда рентабельных участков недр для их предоставления в пользование
- Инфраструктурные ограничения новых открытий в неосвоенных районах страны
- Отсутствие научно-обоснованных предпосылок концентрации имеющихся ресурсов на отдельных направлениях и территориях (необходимо программно-целевое планирование)
- Отсутствие необходимых организационно-финансовых условий для эффективной поисковой деятельности юниорных компаний

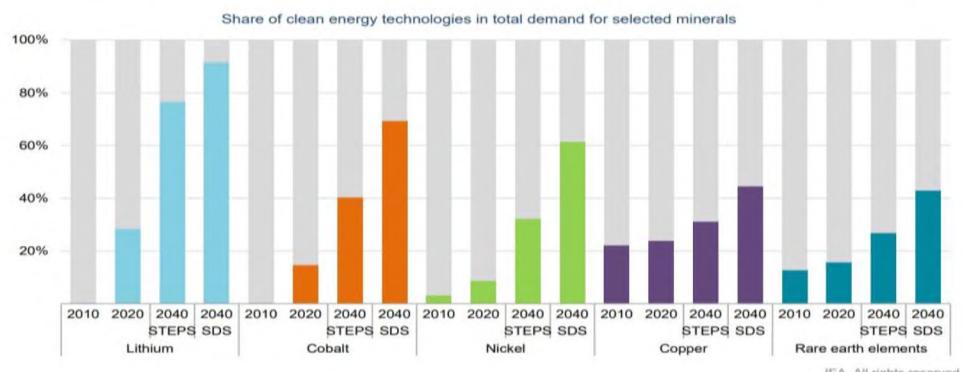
ПОТРЕБЛЕНИЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЙ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ ВЫРАСТЕТ, КАК МИНИМУМ, В 4 РАЗА К 2040 ГОДУ, И ОСОБЕННО ВЫСOKИМ БУДЕТ РОСТ СЫРЬЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Mineral demand for clean energy technologies would rise by at least four times by 2040 to meet climate goals, with particularly high growth for EV-related minerals



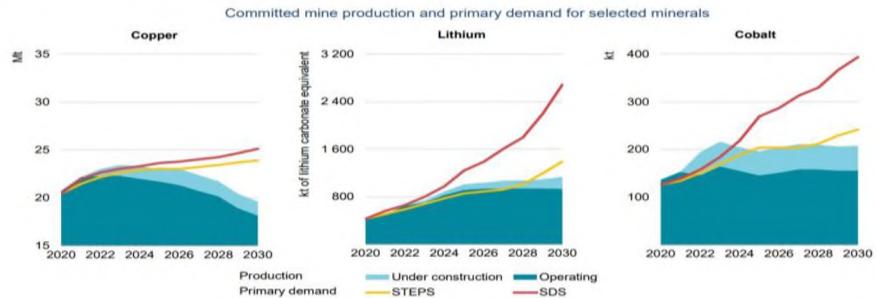
Notes: Mt = million tonnes. Includes all minerals in the scope of this report, but does not include steel and aluminium. See Annex for a full list of minerals.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР СТАНОВИТСЯ ЛИДИРУЮЩИМ ПОТРЕБИТЕЛЕМ СЫРЬЯ ПРИ УСКОРЯЮЩЕМСЯ ПЕРЕХОДЕ К «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ



СРАВНЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ,
НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ РАЗВИТИЯ «ЧИСТОЙ» ЭНЕРГЕТИКИ

Meeting primary demand in the SDS requires strong growth in investment to bring forward new supply sources over the next decade



Notes: Primary demand is total demand net of recycled volume (also called primary supply requirements). Projected production profiles are sourced from the S&P Global Market Intelligence database with adjustments to unspecified volumes. Operating projects include the expansion of existing mines. Under-construction projects include those for which the development stage is indicated as commissioning, construction planned, construction started or preproduction. Mt = million tonnes.

Source: IEA analysis based on S&P Global (2021).

IEA. All rights reserved.

По данным агентства Benchmark Mineral Intelligence в **2022 году** мировой спрос на карбонат лития составил **668 тыс. тонн**.

Установленная в конце марта 2023 года консорциумом ведущих на литиевом рынке компаний минимальная цена за тонну карбоната лития равна **36 380 \$.**

В **2032 году** потребуется добывать уже **2,9 млн. тонн** карбоната лития, а это больше, чем все его мировое производство за период с **2015 по 2022 годы (2,7 млн. тонн).**

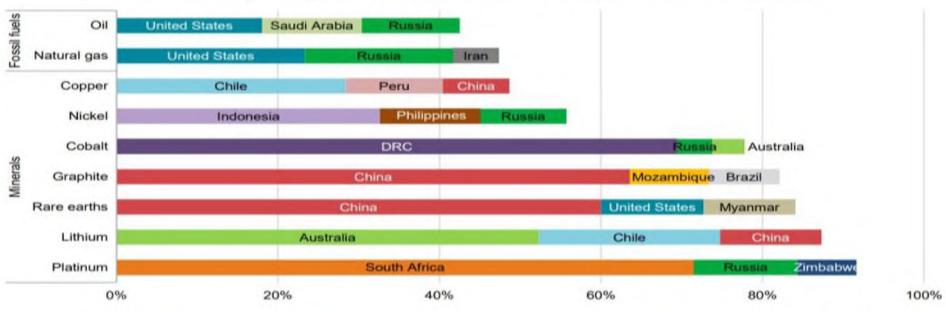
К 2040 году весь литий, добытый в мире в 2022 году составит объем менее месячного спроса, даже если добавить к нему литий, добытый из переработанных батарей.

К **2050 году** спрос на карбонат лития достигнет уже **11,7 млн. тонн**, причем 2/3 этого материала будет уходить на нужды накопления энергии, и только менее 1/3 – на обеспечение автомобильной промышленности.

ПРОИЗВОДСТВО МНОГИХ ВИДОВ СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕХОДНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ, В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИ БОЛЕЕ СКОНЦЕНТРИРОВАНО, НЕЖЕЛИ ПРОИЗВОДСТВО НЕФТИ И ГАЗА

Current production of many energy transition minerals is more geographically concentrated than that of oil or natural gas

Share of top three producing countries in total production for selected minerals and fossil fuels, 2019



Sources: IEA (2020b); USGS (2021).

IEA. All rights reserved.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ ЛИТИЯ В МИРЕ (в млн. тонн)
И ЕГО ДОБЫЧИ (в тысячах тонн)**

ЗАПАСЫ:

1. Боливия – 21
2. Аргентина - 19
3. Чили – 9,6
4. США – 9,1
5. Австралия – 7,3
6. Китай – 5,1
7. **Россия ~ 1**

Индия в феврале 2023 года заявила об открытии крупнейшего месторождения (~5,9 млн. тонн), следом Иран заявил об открытии еще более крупного месторождения (8,5 млн. тонн).

ДОБЫЧА:

1. Австралия – 56
2. Чили - 26
3. Китай – 14
4. Аргентина – 6,2
5. Зимбабве – 1,2
6. Боливия ~ 1, 0
7. Португалия ~ 0,9

До середины 90-х годов прошлого века литий в мире, включая Россию, добывался из сподумен-пегматитового сырья (сподумен – Li-содержащий силикат – $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$, содержание Li_2O в сподумене составляет 6,5–7,7 мас.-%). Однако начиная с середины 90-х годов на мировом рынке появился новый поставщик дешевого карбоната лития, производимого из рапы соленых озер района Салара-де-Атакама (Чили), который вытеснил производителей литиевой продукции, *включая Россию, производившую в период до 90-х годов до 20% мирового объема лития и его соединений.*

Это привело к утрате позиций России на мировом рынке лития и стагнации всего отечественного литиевого промышленного комплекса. За прошедшие 40 лет сложившаяся ситуация практически не изменилась.

Однако в настоящее время стало очевидным, что российские месторождения сподуменовых пегматитов Центрально-Азиатского складчатого пояса и литиеносные подземные рассолы Сибирской платформы, общие запасы Li и его прогнозные ресурсы категорий P1 и P2 в которых огромны (~4,5 млн. тонн) и они сопоставимы с таковыми для Чили, Аргентины, Боливии и Китая.

Они, вне сомнения, будут востребованы в связи с переходом на технологии «чистой энергетики», электромобили и связанным с этим острым дефицитом лития для производства аккумуляторов, а также стремительно растущими потребностями лития в широком ряде других высокотехнологических отраслей.

В Иркутской области известны Ковыктинское и Знаменское месторождения гидроминерального сырья. Содержание лития и дополнительных компонентов в рассолах этих месторождений значительно превышают их концентрации в традиционном промышленно перерабатываемом сырье. Это единственное место в мире, кроме соленых озер в Чили, где концентрация лития достигает до 0,7 г/дм³. Задокументированы скважины с дебитом до 5–7 тыс. м³/сут., выносящие за сутки до 10 т хлористого лития.

Запасы рассолов в Ангаро-Ленском бассейне могут обеспечить годовой объём производства более 17 000 тонн карбоната лития, что превышает мощность действующих производств по извлечению лития из рассолов озёр в Китае (более 15 000 тонн карбоната лития в год), США (6 000 т в год) и Аргентине (12 000 т в год).

По предварительной оценке, запасов промышленных рассолов Ангаро-Ленского бассейна, а также анализа технико-экономической оценки использования этих рассолов для производства лития и дополнительных компонентов (брома, бора, стронция, калия, магния) Иркутскую область можно рассматривать как крупную минерально-сырьевую базу.

В настоящее время такие компании как «Газпром» и «ИНК» занимаются развитием проектов по добыче лития из промышленных рассолов месторождений Иркутской области.

Микрокомпонентный состав дренажных рассолов карьера трубы "Удачная".

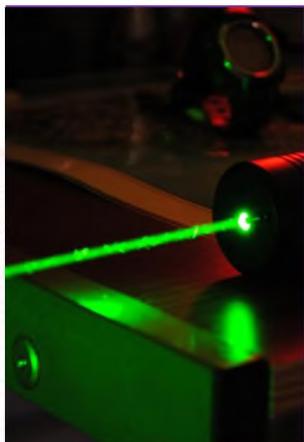
№п/ п	Название элемента	Содержание, мг/л
1	Аммония сульфат $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$	300
2	Цезий Cs	0,1-0,7
3	Медь Cu	0,468
4	Барий Ba	1,5-2,1
5	Кадмий Cd	0,044
6	Свинец Pb	2-3
7	Бром Br	3000
8	Литий хлористый LiCl	340

Ключевым моментом развития минерально-сырьевой базы лития являются новые и незаслуженно забытые химико-технологические исследования, связанные с механохимическим переделом минерального сырья, позволяющим резко удешевить получение конечных промпродуктов из богатых сподумен-пегматитовых руд и хвостов горно-обогатительных комбинатов. В этой связи проводившиеся и проводимые в профильных институтах Сибирского отделения РАН исследования, задачей которых является разработка новых методов поиска и изучения рудных и техногенных месторождений лития, а также создание **экологически безопасных технологий обогащения и переработки минерального сырья**, закладывают научные основы вывода из стагнации производства лития в России.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск), Институт геохимии им. А.П. Виноградова (г. Иркутск), Институт земной коры (г. Иркутск) провели комплексные экспедиционные работы и минералогические исследования, сейчас они располагают геоинформационной базой данных и уникальной коллекцией опытно-лабораторных проб качественных сподуменовых руд (0,5-2,5 т) по всем перспективным сподумен-пегматитовым месторождениям Сибири.

Эти материалы позволили перейти к решению вопросов технологической минералогии и разработке новых схем извлечения лития и его соединений из сподуменовой руды (Алахинское месторождение в Горном Алтае, Гольцовое, Белореченское и Урикское месторождения сподуменовых пегматитов в Восточных Саянах), а также хвостов Забайкальского ГОКа (Читинская область).

ПРИМЕНЕНИЕ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ



Обеспечение экономики страны редкими и редкоземельными металлами (далее – РМ и РЗМ) носит критический характер для национальной безопасности и является важным условием модернизации промышленности. Без РМ и РЗМ невозможно полноценное внедрение 14 из 27 критических технологий, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 07 июня 2011 г. № 899, в том числе:

- военные и промышленные для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники;
- создание электронной компонентной базы и энергоэффективных световых устройств;
- силовая электротехника;
- атомная энергетика, ядерный топливный цикл, безопасное обращение с РА-отходами и отработавшим ЯТ;
- информационные, управляющие, навигационные системы;
- наноустройства и микросистемная техника;
- новые и возобновляемые источники энергии, включая водородную энергетику;
- получение и обработка конструкционных наноматериалов;
- создание высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта;
- создание ракетно-космической и транспортной техники нового поколения;
- создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии;
- производство металлов и сплавов со специальными свойствами.



Облако сфер применения РЗМ



Известно более 100 областей применения РЗМ, а номенклатура конечной РЗМ-продукции насчитывает тысячи позиций.

РМ и РЗМ включены в технологические цепочки производства вооружений и военной техники, поставляемых в ВС РФ и на экспорт.
РЗМ — высокотехнологичная сырьевая продукция для обеспечения обороноспособности страны

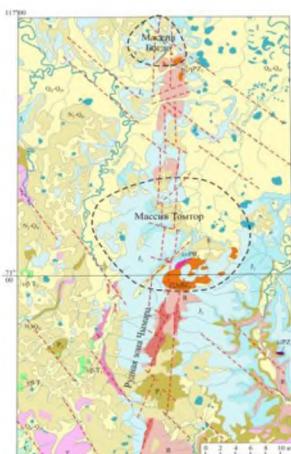


5

Редкие и редкоземельные элементы в современных высокотехнологичных отраслях промышленности

Высококачественные стали	Nb, V, TR, Sr, Zr
Сверхжаропрочные и сверхлегкие сплавы	Nb, Ta, Be, Li, Y, Sc, Zr, Re
Новое поколение авиационных и космических двигателей	Re, Nb, Hf
Сотовая и волоконнооптическая связь	Ta, Zr, La, Er, Ge, Ga, In
Дисплеи персональных компьютеров	Y, Eu, Tb, Ce, Sr, In, Ga
Новые химические источники тока	Li, La, Nd, Zr, Y, Pr, Sm
Высокоэффективные катализаторы	Re, TR, V, Ge, Sb
Сверхпроводники	Nb, Y, Sr, Bi
Новейшие медицинские препараты	Ge, Re, Bi, Se, V

Варианты воссоздания редкоземельной промышленности в России возможны в трех направлениях:



1. Реанимации мощностей по производству РЗМ из лопарита Ловозерского месторождения (Мурманская область) на базе которого Соликамский МЗ сегодня производит коллективный концентрат РЗО в минимально возможных объемах, экспортируемых полностью за рубеж;

2. За счет попутного получения РЗМ из Хибинского месторождения апатита, в котором заключено около 60% их балансовых запасов, что требует создания целой отрасли;

3. За счет освоения балансовых месторождений, готовых к эксплуатации, из которых самым богатым является Томтор (уч. Бурунний, Северный и Южный).

Первые два варианта, несмотря на их очевидную ясность, требуют создания многочисленных цепочек перерабатывающих предприятий, опираясь на реанимацию устаревших и старых технологий и производств, а также организацию новых мощностей, удаленных друг от друга на тысячи километров.

Вариант, базирующийся на источнике сибирского сырья — месторождении Томтор с уникально высокими параметрами содержания в его руде остродефицитных редкometальных и редкоземельных компонентов, гарантирует реализацию самых смелых стратегических интересов нашей страны.

17

Параметры Томторского Nb-редкоземельного месторождения

Общие ресурсы Томторского месторождения колоссальны: Nb_2O_5 – 73,6 млн.т., TR_2O_3 - 153,7 млн.т., P_2O_5 - около 2 млрд.т.

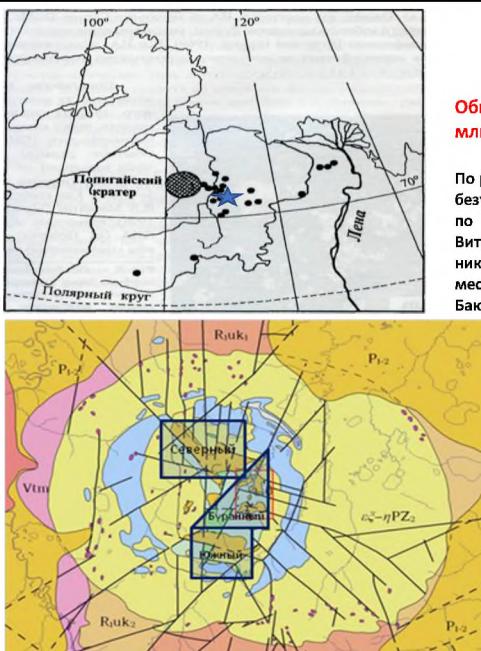
По ресурсам редких и редкоземельных металлов и их концентрациям Томтор является безусловным лидером нашей планеты. В мире такие объекты редки, поэтому Томтор по праву стоит в одном ряду с месторождениями-гигантами, такими, как Виттвательсранд или Сухой лог (золото), Чукимаката (медь), Норильская группа (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе Nb-РЗМ объектов, опередив месторождения ниобия (Арапша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай).

На площади ~ 35 км² располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пирохлор-монацит-крандаллитовых руд (Северный, Бурунний и Южный). На участке Бурунний оценено свыше 42 млн т. руды (Толстов, 1999).

Томтор имеет приоритетное значение среди других сырьевых источников, поскольку позволяет обеспечить любые потребности российской промышленности и мировой экономики в РЗМ на обозримый период в полном спектре. В пределах рудного поля можно выделить блоки руды практически с любыми заданными параметрами, как например блок иттрий-скандиевых руд.

В пределах Томтора установлены блоки богатых марганцевых руд, а также присутствие в его породах вкраплений самородного золота и платины, что требует дозучения массива на распределение этих компонентов.

Кроме того, на территории Уджинского поднятия, поблизости от Томтора, имеются еще четыре практически не изученных массива подобного типа, что значительно повышает перспективы развития сырьевой базы РЗМ региона.



Состав руды Томторского месторождения редких элементов (участок Бурунний)

№	Элемент,	Сод-е, % / кг/т
1	Er ₂ O ₃	<u>12,5 / 125</u>
	B т.ч. La ₂ O ₃	<u>2,6 / 26</u>
	CeO ₂	<u>6,3 / 63</u>
	Pr ₂ O ₃	<u>0,56 / 5,6</u>
	Nd ₂ O ₃	<u>2,17 / 21,7</u>
	Sm ₂ O ₃	<u>0,25 / 2,5</u>
	Eu ₂ O ₃	<u>0,08 / 0,8</u>
	Gd ₂ O ₃	<u>0,25 / 2,5</u>
	Tb ₂ O ₃	<u>0,02 / 0,2</u>
	Dy ₂ O ₃	<u>0,15 / 1,5</u>
	Ho ₂ O ₃	<u>0,02 / 0,2</u>
	Er ₂ O ₃	<u>0,04 / 0,4</u>
	Tm ₂ O ₃	<u>0,01 / 0,1</u>
	Yb ₂ O ₃	<u>0,04 / 0,4</u>
	Lu ₂ O ₃	<u>0,01 / 0,1</u>
2	Y ₂ O ₃	<u>0,73 / 7,3</u>
3	Sc ₂ O ₃	<u>0,057 / 0,57</u>
4	Nb ₂ O ₅	<u>6,7 / 67 !!!</u>
5	Ta ₂ O ₅	<u>0,007 / 0,07</u>
6	TiO ₂	<u>5,0 / 50</u>
7	V ₂ O ₅	<u>1,2 / 12</u>
8	Al ₂ O ₃	<u>17,1 / 171</u>
9	P ₂ O ₅	<u>16,0 / 160</u>

10	MnO	0,15
11	PbO	0,28
12	ZnO	0,18
13	CuO	0,02
14	MgO	0,12
15	CaO	2,55
16	SrO	<u>3,8 / 38</u>
17	BaO	<u>3,2 / 32</u>
18	Na ₂ O	<u>0,15</u>
19	K ₂ O	<u>0,07</u>
20	ZrO ₂	<u>0,29 / 2,9</u>
21	ThO ₂	<u>0,15 / 1,5</u>
22	UO ₃	<u>0,01 / 0,1</u>

Уникальность разработанной в ИХХТ СО РАН технологии переработки томторских руд в том, что в полезную переработку вовлекается 75% компонентов руды, в результате чего нет необходимости предварительного обогащения руды.

Работы по совершенствованию переработки томторских руд (Кузьмин В.И., 2006-2014 г.г.) позволили увеличить количество товарных продуктов до 20, среди которых главную ценность представляют индивидуальные оксиды средних и тяжелых РЗМ, что позволяет говорить о новых возможностях получения практически полной линейки РМ и РЗМ из одного сырьевого источника.

Вариант 2 переработки томторской руды (железногорская схема), Кузьмин В.И., 2012

Продукт	Чистота, %	Выход с 1 т руды	Извлече ние, %
1 Оксиды РЗМ			
V т.ч. La ₂ O ₃	99,996 %	20,5 кг	78,8
CeO ₂	99,99-99,995	42,0 кг	66,9
Nd ₂ O ₃	99,5-99,99	4,3 кг	77,7
Pr ₆ O ₁₁	96%	16,8 кг	77,7
Sm ₂ O ₃	99,5-99,995%	2,1 кг	82,8
Eu ₂ O ₃	99,99%	0,66 кг	82,8
Gd ₂ O ₃	99,5-99,999%	2,05 кг	81,9
Tb ₂ O ₃	99,5-99,995%	0,16 кг	80,6
Dy ₂ O ₃	99,98	1,25 кг	82,8
Ho ₂ O ₃	99,5-99,995%	0,16 кг	82,5

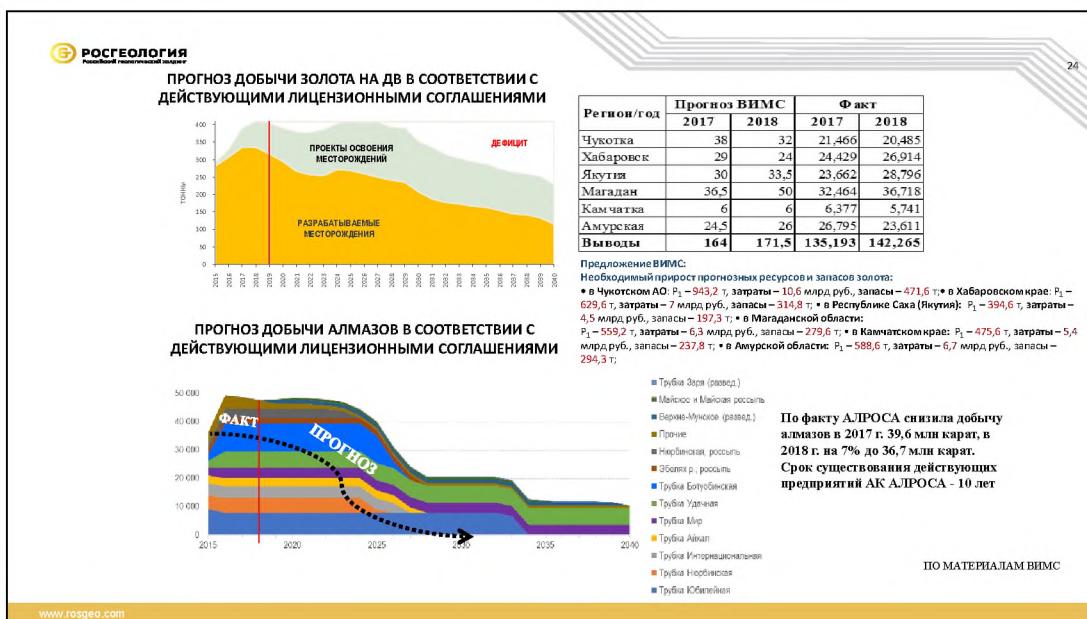
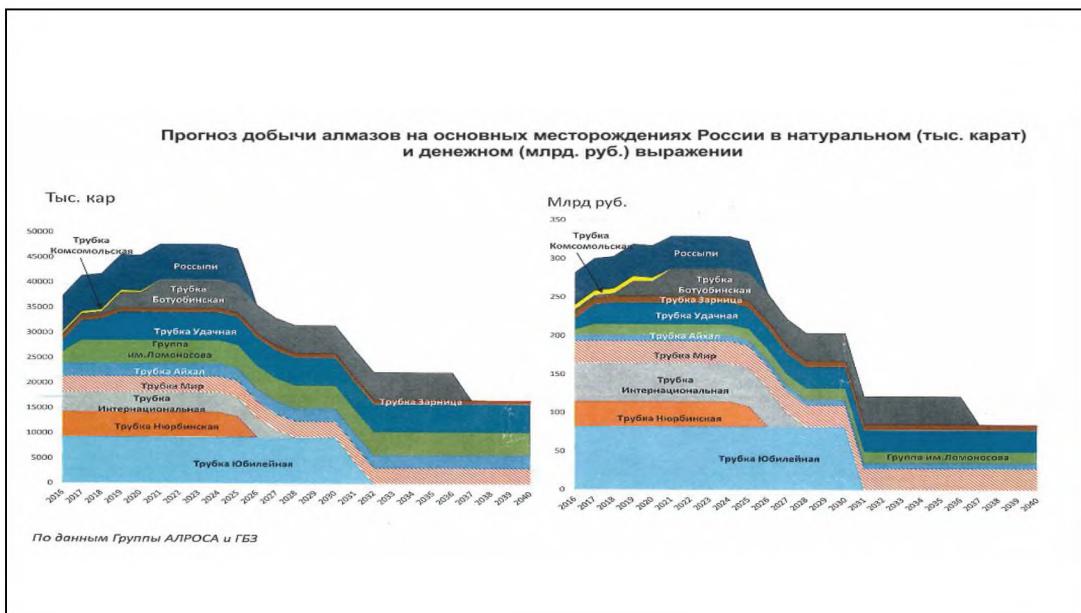
Er ₂ O ₃	99,5-99,995%	0,33 кг	82,5
Tm ₂ O ₃	99,5-99,998%	0,083 кг	83,3
Yb ₂ O ₃	99,5-99,998%	0,33 кг	82,9
Lu ₂ O ₃	99,5-99,998%	0,080 кг	80,1
Y ₂ O ₃	99,95-99,99%	20,5 кг	77,9
ФН658	60%	66 кг	85,0
3Sc ₂ O ₃ , ТУ 95-148- 77	99,9 %,	0,57 кг	82,0
4 Тринатрий фосфат, Na ₃ PO ₄ ·12H ₂ O, ГОСТ 20176-77.	не менее 95%; оксид ванадия не более 0,005%	0,77 т	85,0
5 Al(OH) ₃ мар- ка Г-00.	класса +45-125 мкм 80- 85%.	0,22 т	85,0
TiO ₂	5-7% Al	28 кг	88

Главные критерии привлекательности Томтора:

При воссоздании отечественной редкоземельной промышленности, базирующейся только на одном типе - уникально богатых пирохлор-монацит-крандаллитовых рудах Томтора, будет гарантировано:

- 1) стабильное обеспечение на сотни лет в любом количестве отечественных высокотехнологичных предприятий стратегическим сырьем – редкими и редкоземельными металлами, включая особо дефицитные и наиболее дорогостоящие тяжелые лантаноиды (неодим, самарий, европий, диспрозий и др.), независимо от импортных поставок и волатильности мировой конъюнктуры;
- 2) создание непрерывной технологической цепочки полного цикла: Добыча Nb–РМ-РЗМ руд – переработка – выпуск концентратов – разделение РМ и РЗМ – получение чистых металлов и высокотехнологичной продукции, содержащей РМ и РЗМ, опираясь только на отечественную сырьевую базу;
- 3) максимально полная интеграция России в мировой рынок РМ и РЗМ с конкурентоспособной продукцией.

Реализация Томторского проекта возможна как с помощью зарубежных инвестиций, так и независимо от них: она весьма удачно вписывается в рамки программы государственно-частного партнерства.



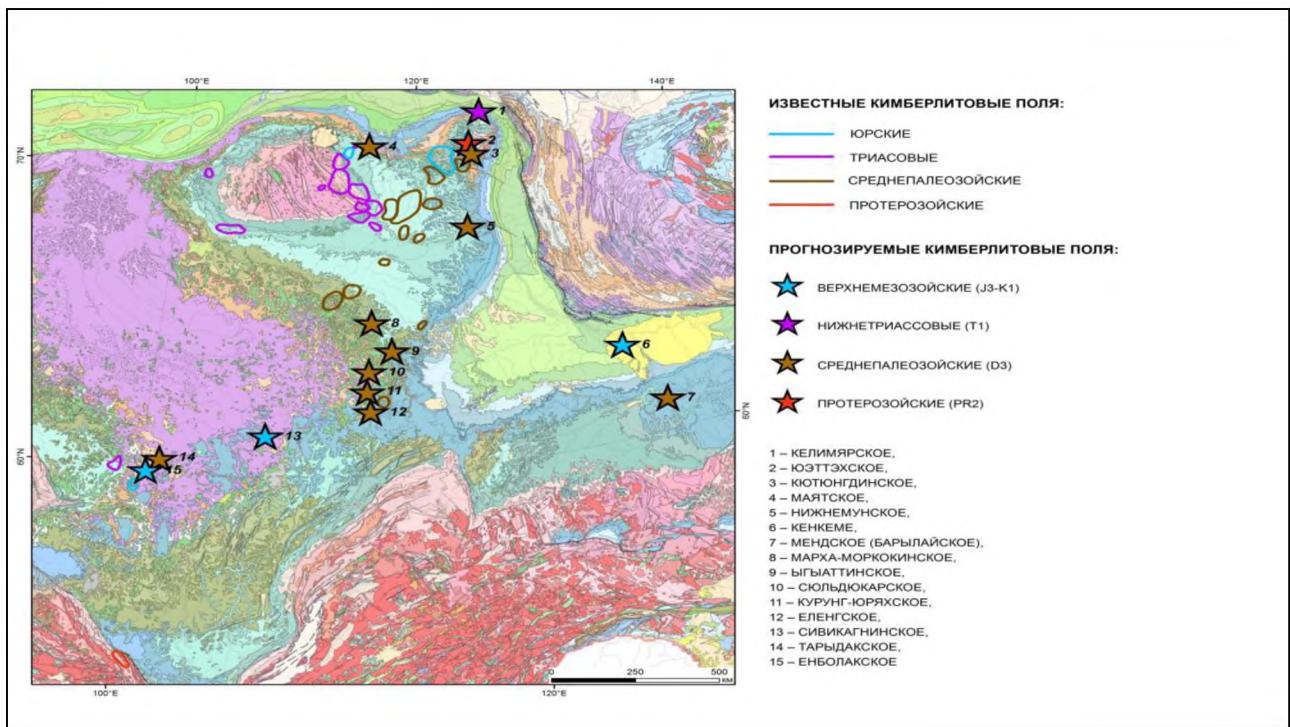
ПЕРСПЕКТИВЫ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ВЕРХОЯНЬЯ

Основные перспективы коренной алмазоносности арктических территорий Сибирской платформы связываются с кимберлитами среднепалеозойского возраста.

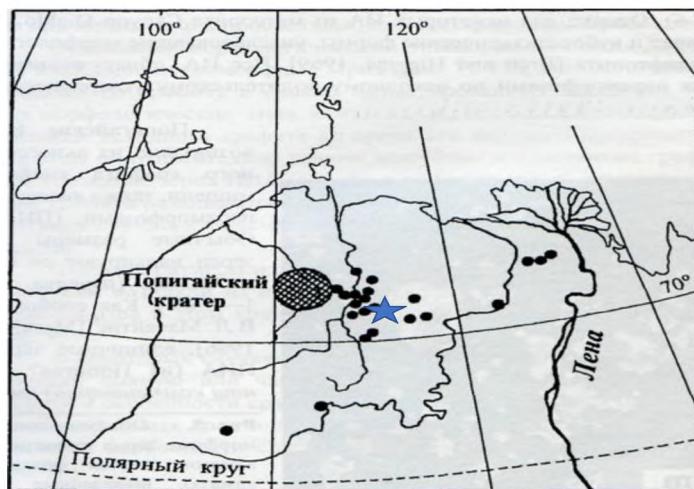
С учетом резкого осложнения ситуации с сырьевой базой отечественной алмазодобывающей промышленности начиная уже с 2030 года по причине последовательного исчерпания экономически качественных балансовых запасов необходима постановка опережающих работ по выявлению новых объектов с алмазным сырьем в арктических регионах Сибирской платформы.

В частности, в верховьях правых притоков реки Анабар в районе Уджинского поднятия, а также на территориях северного и южного обрамления Кютюнгдинского прогиба установлены прямые признаки присутствия новых полей кимберлитов среднепалеозойского возраста, содержащих высокопродуктивные тела. Для их выявления необходимо проведение тематических работ прогнозно-поискового характера с использованием научно-методического и экспертного сопровождения специалистов Сибирского отделения РАН.

Обоснованные перспективы выявления месторождений золота и платины имеет территория Уджинского поднятия и Анабарского щита.



Географическое положение Попигайской астроблемы и Томторского ниобий-редкометального месторождения



~ 36 млн. лет назад метеорит размером более 6 км со скоростью около 30 км/сек врезался в Землю в арктической части Сибирской платформы, образовав кратер диаметром около 100 км.

При взрыве, длившемся около 1 секунды, давления достигали 140 GPa (1,4 млн. атм.), а температура - 3500-4000°C. В этих условиях часть графита, содержащегося в кристаллических породах мишени, трансформировалась в природный наноструктурированный агрегат кубического алмаза и более плотной и твердой гексагональной фазы углерода - пенсдейлита.

Разведанные в 80-х годах прошлого столетия и поставленные на баланс запасы изученного участка, площадь которого составляет лишь 0,3 % от общей площади кратера - 342 млрд. карат, что более чем в 60 раз выше мировых запасов обычных алмазов, а прогнозные ресурсы всего месторождения измеряются триллионами карат.

Звездочкой обозначено положение Томторского ниобий-редкометального месторождения.

Технологические свойства импактных алмазов

Результаты испытаний абразивной способности алмазных шлифпорошков, полученных из импактного и синтетического сырья

Порошки импактного алмаза		Порошки синтетического алмаза	
Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн.ед.	Зернистость порошка, мкм	Абразивная способность, отн.ед.
40	8,01	40	3,70
50/60	8,45	50/40	3,90
63/50	8,60	63/50	4,00
80/63	8,71	80/63	4,21
100/80	9,60	100/80	4,30
125/100	8,41	125/100	4,52
160/125	9,5	160/125	4,58
200/150	7,71	200/150	4,52
250/200	8,02	250/200	4,47

Благодаря уплощенной форме частиц импактных алмазов они обеспечивают чистоту обрабатываемой поверхности примерно на класс выше, чем синтетические алмазы, частицы которых имеют изометричную форму и царапающие углы и вершины.

Основной объем технологических исследований проводится совместно с НАН Беларусь, где хорошо понимают ценность импактных алмазов и с энтузиазмом работают с ними.

Результаты технологических испытаний показали, что абразивный состав на основе импактных алмазов при магнитно-абразивной обработке пластин кремния обладает в 1,7-2 раза более высокой абразивной способностью и в 2-4 раза более высокой стойкостью (временем эксплуатации) по сравнению с составом на основе синтетического алмаза ACM.

Стойкость импактных алмазов на 250 °С выше таковой для синтетических алмазов, а удельная поверхность выше в 9 раз.

Результаты сравнительных испытаний алмазных композитов

Характеристики композиционного порошка	Обрабатываемый материал	Удельный съем материала, мг/мин	Стойкость, мин
Fe-Ti/импакт. 5/50мкм	Кремний	35,4	> 30
Fe-Ti/ACM 5/50	Кремний	17,8	14

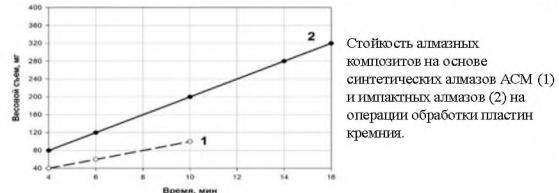
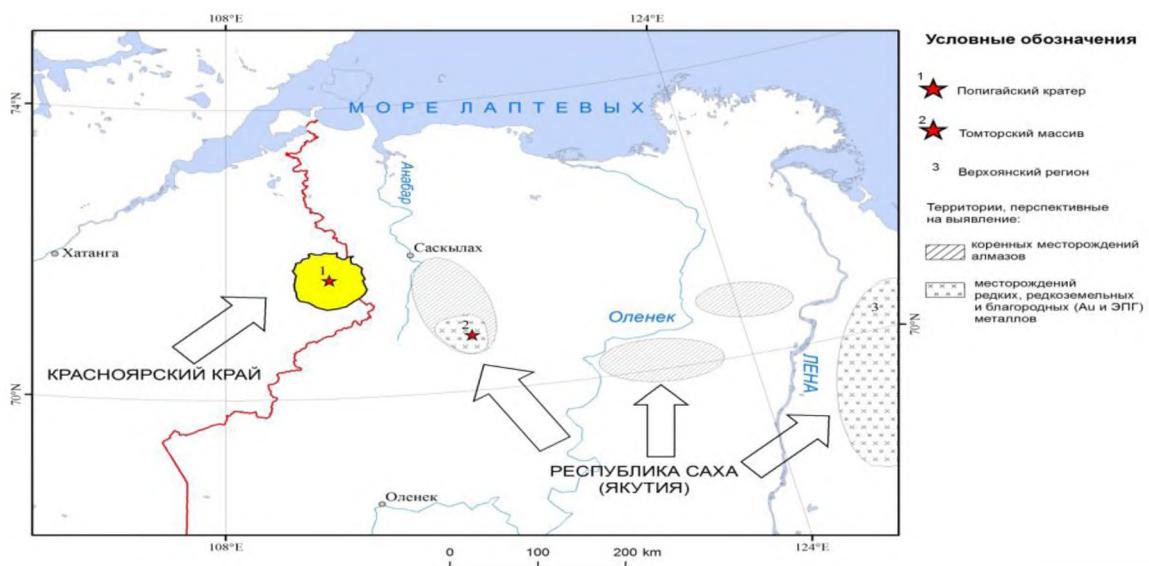


СХЕМА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЛЕНО-ХАТАНГСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ



ВЫВОДЫ:

1. ЛИТИЙ

- Наиболее подготовленным к получению конечного продукта – востребованных промышленностью и рынком соединений лития является вариант переработки Li-содержащих рассолов Ангаро-Ленского бассейна.
- В связи с ожидаемыми стремительным ростом потребления лития в мире, острым ростом дефицита лития на мировом рынке начиная с 2024 года, представляется перспективным диверсифицировать варианты производства лития. Для этого необходимо включить в разрабатываемую программу освоение *наиболее перспективных с экономической точки зрения* рудных и техногенных месторождений этого металла.
- Для ускоренной реализации задач по развитию производства лития в Сибири и России в целом следует в максимально короткие сроки привлечь и обеспечить (материально и инструментально) сохранившиеся остатки высококвалифицированных специалистов из профильных институтов СО РАН (геологов, химиков-технологов, экономистов) для создания реально реализуемой программы работ по данному направлению.

ВЫВОДЫ:

2. РЕДКИЕ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ МЕТАЛЫ

• Организация освоения уникального по всем параметрам Томторского месторождения целесообразна по следующим причинам:

- – освоение месторождения позволит на сотни лет отказаться от импорта РЗМ и вывести Россию, как крупного игрока, на мировой рынок наравне с ведущими странами БРИКС - Китаем (РЗМ) и Бразилией (ниобий);
- – вовлечение в промышленную обработку Томтора благоприятно отразится на экономике Якутии и всей Арктики, что вписывается в Федеральные программы освоения Арктики и возрождения Севморпути;
- – запуск Томторского проекта ввиду уникальности параметров руд потребует небольшого объема добычи руды (100-150 тыс. тонн в год, в зависимости от потребности экономики России в РЗМ), что не требует создания грандиозных горнодобывающих производств в Арктике;
- – при успешном развитии событий на базе Томтора и месторождений Маймечка-Котуйской провинции Красноярского края возможна организация производства фосфатов, по ресурсам которых регион также уникален;
- – расположенные вблизи Томтора месторождения импактных алмазов Попигайского кратера позволяют комплексно подойти к освоению сибирского сегмента Арктики (С-З Якутии и С-В Красноярского края);
- – с началом освоения Томтора в приполярном регионе Республики Саха (Якутия) появится новый горнодобывающий узел типа Норильского, но расположенный более чем в 1000 км к востоку от последнего, что гармонично вписывается в geopolитические устремления России в Арктике.
- Участок Буянский месторождения Томтор готов к эксплуатации после разведки (АК АЛРОСА, 1999) и доразведки (участок Буянский, ОАО Востокинжиниринг, 2019). На участках Южный и Северный выполнены поисково-оценочные работы (АО Якутскгеология, 2015-2017). Запасы по трем участкам утверждены ГКЗ МПР в объемах, составляющих десятки млн. т. по руде на каждом из них.

ВЫВОДЫ

3. Возможность участия профильных академических институтов в реализации поставленных задач.

Для обеспечения активного участия профильных академических институтов и научных центров Минобрнауки РФ (геологических, горных, химико-технологических и экономических) в работах по развитию и освоению МСБ лития, редких и редкоземельных металлов необходимо создание межведомственной ФНТП с участием в ней Минприроды РФ, Минпромторга и Минобрнауки.



Технология селективного извлечения редких металлов

академик РАН А. Ю. Цивадзе

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





ИСТОЧНИКИ ЛИТИЯ

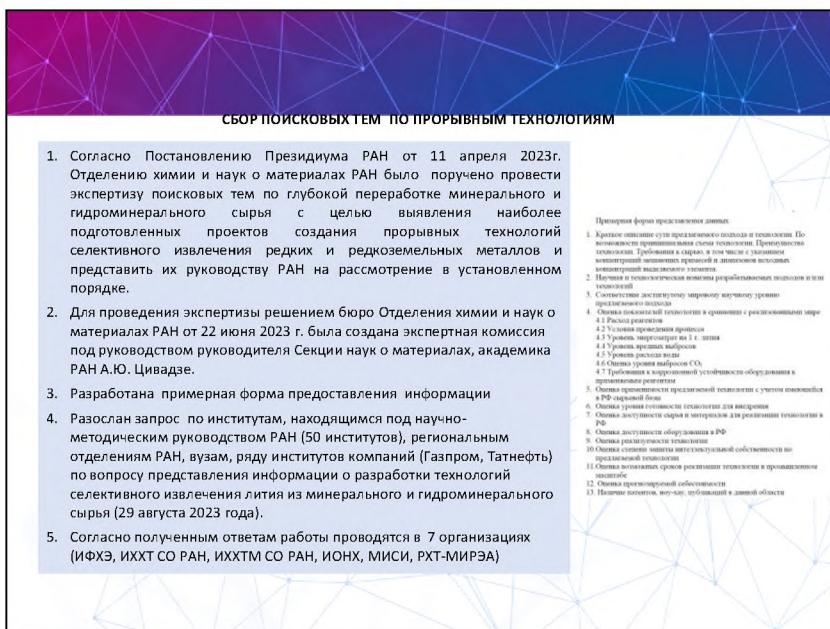
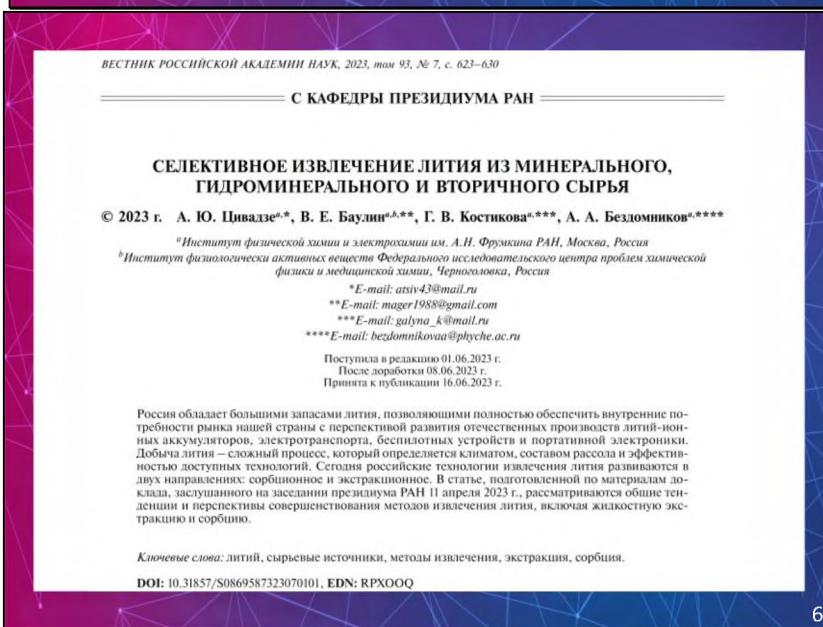
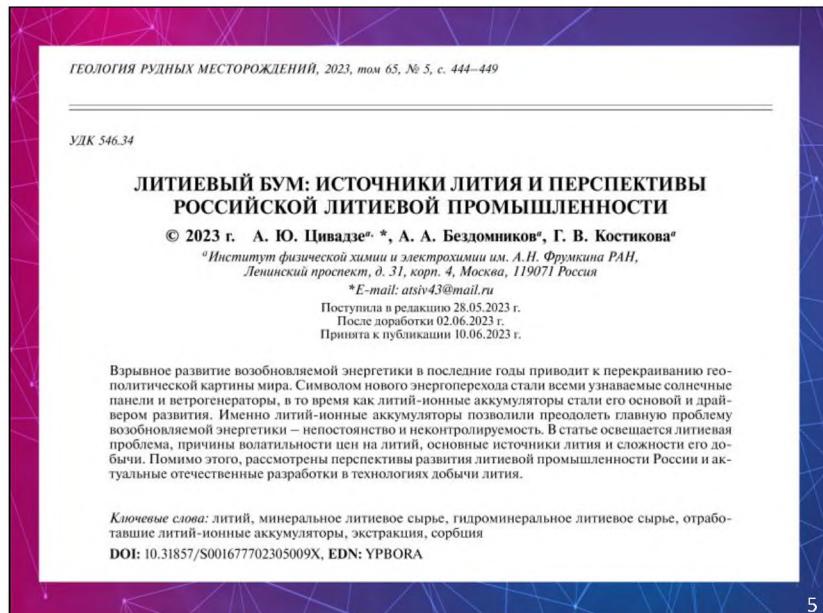
Источник	Проблема	
Минеральные (лепидолит, сподумен и др.)	Истощены, малорентабельные, неэкологичные	
Отработанные литий-ионные аккумуляторы	Проблема сбора, переработки и хранения, удовлетворяет лишь часть потребностей	
Природные рассолы (морская вода, соленые озёра, геотермальные воды)	Низкая концентрация целевого компонента, большая концентрация конкурирующих ионов	

3

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ РАССОЛОВ

Подходы/методы	Преимущества	Недостатки
Классические (методы выпаривания и осаждения)	Простота аппаратурного оформления	Низкая селективность, дороговизна, неэкологичность, привязка к климату, высокий расход пресной воды
Экстракционные	Производительность, масштабируемость	Низкая селективность существующих экстрагентов
Сорбционные	Средняя селективность	Низкая производительность, замедленная кинетика
Мембранные	Высокая селективность	Дороговизна, низкая производительность, сложности масштабирования, невозможность работы в концентрированных растворах
Электрохимические		

4



1. Краткое описание сути предлагаемого подхода и технологии. По возможности принципиальная схема технологии. Преимущества технологии. Требования к сырью, в том числе с указанием концентраций мешающих примесей и диапазонов исходных концентраций выделяемого элемента.
2. Научная и технологическая новизна разрабатываемых подходов и/или технологий
3. Соответствие достигнутому мировому научному уровню предлагаемого подхода
4. Оценка показателей технологии в сравнении с реализованными мирам
<p style="margin-left: 2em;">4.1 Расход реагентов</p> <p style="margin-left: 2em;">4.2 Условия проведения процесса</p> <p style="margin-left: 2em;">4.3 Уровень энергозатрат на 1 т лития</p> <p style="margin-left: 2em;">4.4 Уровень вредных выбросов</p> <p style="margin-left: 2em;">4.5 Уровень расхода воды</p> <p style="margin-left: 2em;">4.6 Оценка уровня выбросов CO₂</p> <p style="margin-left: 2em;">4.7 Требования к коррозионной устойчивости оборудования к применяемым реагентам</p>
5. Оценка применимости предлагаемой технологии с учетом имеющейся в РФ сырьевой базы
6. Оценка уровня готовности технологии для внедрения
7. Оценка доступности сырья и материалов для реализации технологии в РФ
8. Оценка доступности оборудования в РФ
9. Оценка реализуемости технологии
10. Оценка степени защиты интеллектуальной собственности по предлагаемой технологии
11. Оценка возможных сроков реализации технологии в промышленном масштабе
12. Оценка прогнозируемой себестоимости
13. Наличие патентов, ноу-хау, публикаций в данной области

8

ПРЕДСТАВЛЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ	
НИТУ «МИСиС». Создана технология и экспериментальная установка для производства соединений лития по высокоеффективной технологии кислотной переработки южнотечевенного сырья.	Подробная информация не представлена
РГУ-МИРЭА. Проводились работы по выделению лития из рассолов Ковыктинского месторождения	Подробная информация не представлена
ИОНХ РАН. Гидрометаллургическая экстракционная технология выделения лития из технологических растворов выщелачивания литийсодержащих элементов в питании	<ul style="list-style-type: none"> • Расход соляной кислоты: 6 тонн на тонну сырья при ретричинге 20% • Безнитратный расход реагента (зарегистрирован) - 1,5 тонны на тонну продукта • Потери реагента при промывке: 1 кг на тонну продукта <ul style="list-style-type: none"> • Энергозатраты 5-10 Гкал/т с учетом полного цикла • Расход воды 15-18 тонн на тонну (90% рециркуляция) • УТТ З (лабораторная технология)
ИХХТ СО РАН. Экстракционная технология выделения лития из пластовых вод, высококонцентрированные хлоридные растворы (хлоридно-кальциевые рассолы) с содержанием лития более 50 г/м ³	<p>В 2023-2024 гг. будут завершены работы по разработке различий в технологическом регламенте процесса и выдаче исходных данных на создание полупромышленной установки по извлечению лития из хлоридно-кальциевых растворов и отработки промышленной технологии синтеза экстрагента. Подробные данные могут быть предоставлены по результатам работ.</p>
ИХТМ СО РАН. Технология сорбционного извлечения лития из рассолов (0,04-0,4 кг/м ³)	<p>Проведены работы по извлечению лития из рассолов и создано опытное производство, разработан сорбент на основе двойных гидроксидов алюминия для извлечения образующегося для экстракции, проведено офорбование на разных водах. Технология реализована в КНТ для получения карбоната лития из рассолов от Добраз-Нур (10 тыс. т/год), предлагается усовершенствованный вариант технологии.</p>
ДВО РАН. Использование селективной адсорбции для извлечения и концентрирования лития из растворов сложного химического состава.	<p>Принципиальная схема технологии включает использование марганцево-литиевых цеппелей вида LiMn₂O₄ (МЛШ), обладающих высокой селективностью к ионам лития, для наполнения сорбционных колонн. 12-25 МВт на 1 т лития. Эффективна при 0,17 кг/м³ лития. Лабораторная технология</p>

8



10

СХЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ РУДЫ (ИФХЭ РАН И КНЦ РАН)



11

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ ПРИРОДНЫХ, НЕФТЯНЫХ И ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ РАССОЛОВ (ИФХЭ РАН)



12

СХЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ АККУМУЛЯТОРОВ (ИФХЭ РАН)

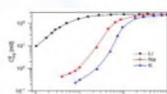


13

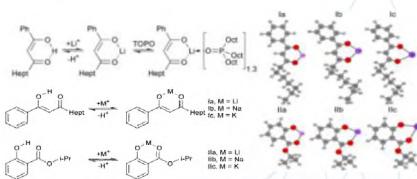
ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ

Реализация описанных схем извлечения лития стали возможны благодаря тому, что коллективом лаборатории новых физико-химических проблем (ИФХЭ РАН) под руководством А.Ю. Цивадзе был разработан экстракционный способ извлечения лития на основе новых литий-селективных экстрагентов. Новые литий селективные экстрагенты по своей структуре подобны ранее известным 1,3-дикетонам, однако имеют большую эффективность и меньшую стоимость.

Разработанная система обладает крайне высокой Li/Na, Li/K селективностью и демонстрирует крайне высокие коэффициенты распределения лития даже в разбавленных растворах.



Изотермы экстракции Li, Na, K при использовании литий-селективного экстрагента



Состав модельного раствора	Li ⁺ , г/л	Na ⁺ , г/л	K ⁺ , г/л
	0,01 – 0,50	37,9	107

Li ⁺ _{расп} , г/л	Коэффициент распределения лития	Коэффициент разделения Li/Na	Коэффициент разделения Li/K	Степень извлечения лития, %
0,01	68	9855	24286	98,55
0,50	305	5515	25000	99,67

Результаты по извлечению лития из модельного раствора при различных концентрациях лития (ОДНОКРАТНАЯ экстракция)

14

ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ

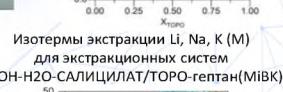
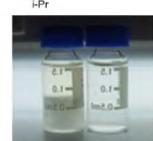
Образующиеся при катионном обмене комплексы ИПСАЛ-М плохо растворимы, из-за чего выпадают осадки, нерастворимые в органической фазе и воде

Для предотвращения образования осадков в систему добавлялась электронодонорная сольватирующая добавка триоктилfosфин оксид - ТОРО

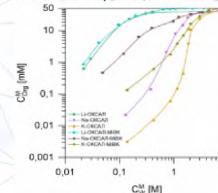
По изотермам экстракции щелочных металлов системами на основе эфиров салициловой кислоты и различных электронодонорных добавок и различных растворителей можно заключить, что экстрагируемость лития уменьшается в ряду добавок:
ТОРО, МiВК > ТВР, ТiАР > краун-эфиры

в ряду растворителей:
МiВК > насыщенные УВ > ксиол

Изомолярная серия для экстракционной системы Li₂CO₃-H₂O-ИПСАЛ/ТОРО-гептан



Изотермы экстракции Li, Na, K (M) для экстракционных систем МОН-Н₂O-САЛИЦИЛАТ/ТОРО-гептан(МiВК)

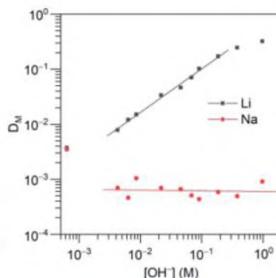


15

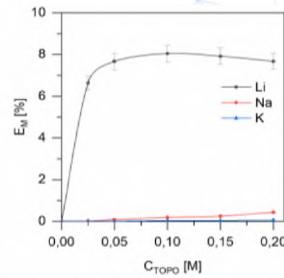
ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ

- С увеличением концентрации NaOH в водной фазе значительно увеличивается экстракция лития, при этом экстракция натрия снижается

- Эквимолярное соотношение фосфиноксида к салицилату является оптимальным для экстракции лития



Зависимость D_{Li}, D_{Na} (DM) от C_{NaOH} для экстракционной системы LiCl-NaOH-H₂O-ИПСАЛ/ТОРО-гептан



Зависимость степени извлечения Li, Na, K (M) от C_{TOPO} для экстракционной системы МОН-Н₂O-ИПСАЛ/ТОРО-гептан

16

ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ

Предлагаемый экстракционный способ выделения лития с использованием новых литий-селективных экстрагентов был смоделирован на каскаде центробежных экстракторов методом полного противотока.

В результате лабораторного моделирования был получен литиевый концентрат с чистотой не менее 99,7% по Li, степень извлечения лития составила 95%.

Состав модельного раствора		
Li ⁺ , г/л	Na ⁺ , г/л	K ⁺ , г/л
0,455	37,9	107

Степень извлечения лития, %	Массовая доля элемента в сухом остатке (по металлам)		
	Li, %	Na, %	K, %
94,9	99,7	0,2	0,1

17

ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ

● Предлагаемый экстракционный способ выделения лития с использованием новых литий-селективных экстрагентов был смоделирован на каскаде центробежных экстракторов методом полного противотока.

● В результате лабораторного моделирования был получен литиевый концентрат с чистотой не менее 99,7% по Li.

Степень извлечения лития, %	Массовая доля элемента в сухом остатке (по металлам)		
	Li, %	Na, %	K, %
94,9	99,7	0,2	0,1

Предлагаемый способ выделения лития предполагает предварительный этап удаления Mg и Ca, что на данном этапе может быть реализовано либо сорбционным способом, либо осадительным. Относительно низкое содержание в исходных рассолах Mg и Ca позволяет реализовать эти способы без избыточных затрат.

Нашей группой ведется разработка технологии экстракционного выделения лития на фоне высоких концентраций Mg и Ca.

Результаты исследований опубликованы в журнале molecules, 2022, 27, 3051, <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/10/3051>

Заявка на патент 2022115330 от 07.06.2022

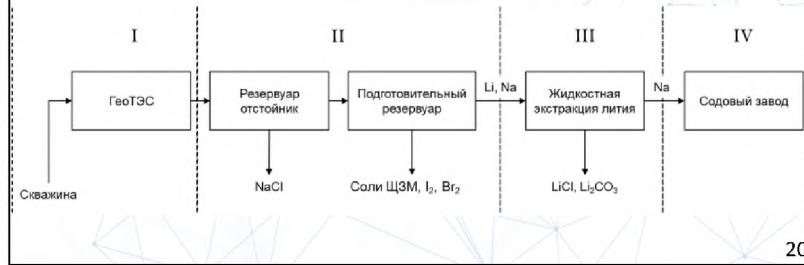
18



ПРОИЗВОДСТВО ЛИТИЯ ИЗ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

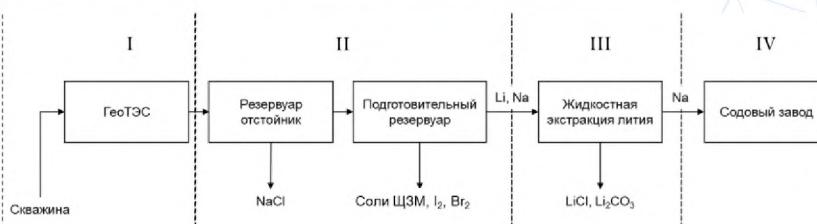
Республика Дагестан занимает первое место в России по разведанным запасам геотермальных вод. Анализ геотермальных вод месторождений Тарумовского, Берикейского и Южно-Сухокумского показал высокое содержание в них лития.

Реализация специальной инвестиционной программы позволит создать новое высокотехнологичное предприятие с большим экспортным потенциалом и квалифицированными рабочими местами по производству лития.



20

ПРОИЗВОДСТВО ЛИТИЯ ИЗ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

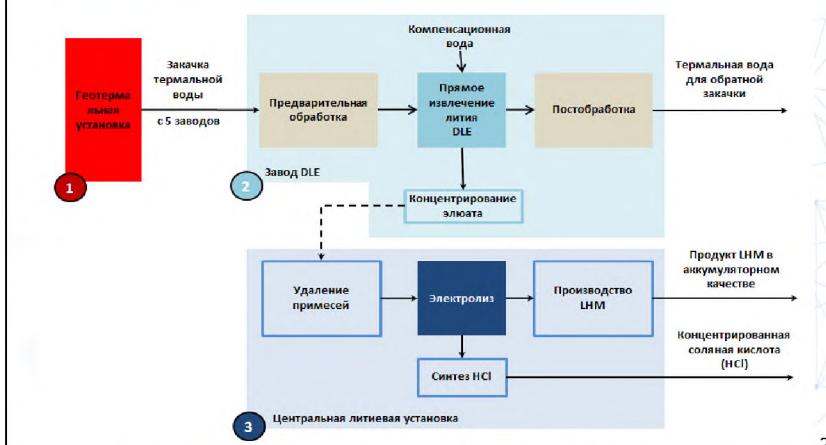


Рассолы после ГеоТЭС попадают в резервуар-отстойник, в котором рассолы охлаждаются до комнатной температуры и происходит перекристаллизация избыточных количеств NaCl. Затем рассолы попадают в подготовительный резервуар, в котором происходит извлечение солей ЩЗМ, а также йод и бром. Полученный маточный раствор, содержащий соли лития и натрия, поступает на этап жидкостной экстракции, после которой рафинат (выходящий водный раствор) натрия, очищенный от Li, K, Mg и Ca, поступает на содовый завод, а из экстракта (выходящий органический раствор) выделяется высококонцентрированный водный раствор LiCl с чистотой 95-99,7%, из которого можно получать Li₂CO₃ или LiOH аккумуляторного сорта. Предлагаемый литий-селективный экстрагент может быть использована многократно, при реализации экстракционного способа извлечения лития не образуются опасные для окружающей среды отходы.

21

ПРОЕКТ ZERO CARBON LITHIUM™ ГЕРМАНИЯ

Технологическая схема



22

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ

	Классическая технология добычи из твёрдых пород*	Классическая технология добычи из соленых озёр*	Разрабатываемые технологии добычи из геотермальных вод	ZCL, Германия	ИФХЭ РАН, Россия
Выбросы CO ₂ кг/т	15000	5000	0	0	0
Расход воды м ³ /т	170	469	80	70	70
Площадь производства м ² /т	464	3124	6	5	5
Себестоимость продукта \$/т	6350	5440	4690	2200	2200

*по данным Minviro Life Cycle Analysis, 2020

23



Относительное содержание РЗЭ легкой, средней и тяжелой групп, иттрия и церия в минеральном сырье РФ

Месторождение	Апатит	Лопарит	Эвдиалит	Томтор	Катутинское	Монацит Красноуф.	Относительное содержание, в %											
							Легкая группа РЗЭ: La, Ce, Pr, Nd	Средняя группа РЗЭ: Sm, Eu, Gd	Тяжелая группа РЗЭ: Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	Иттрий Y	Церий Ce	Фосфогипс	Апатит	Лопарит	Эвдиалит	Томтор	Катутинское	Монацит Красноуф.
Легкая группа РЗЭ: La, Ce, Pr, Nd	88,9	98,0	58,8	90,0	21,7	93,6												
Средняя группа РЗЭ: Sm, Eu, Gd	4,5	1,54	9,4	3,62	10,6	3,3												
Тяжелая группа РЗЭ: Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	1,73	0,60	10,8	2,14	22,5	1,65												
Иттрий Y	4,9	0,008	21,0	4,21	45,2	1,4												
Церий Ce	42,8	53,0	29,1	47,7	9,5	43,0												

Наиболее востребованы РЗЭ средней и тяжелой групп (СТГ);
Наименьшее содержание СТГ и иттрия в лопарите и монаците;
Наибольшее содержание СТГ в Катутинском сырье и эвдиалите;
В РФ перерабатывают только лопарит и фосфогипс апатита;
В короткие сроки восполнить потребности промышленности в СТГ РЗЭ и иттрии возможно за счет переработки эвдиалита.

Относительное содержание РЗЭ легкой, средней и тяжелой групп, иттрия и церия в минеральном сырье Китая

Месторождение	Бастнезит Внутренняя Монголия	Монацит Гуандунг	Ионные руды		
			Низкий У Синьи	Средний У Синфент	Высокий У Цзянси
Относительное содержание, в %					
Легкая группа РЗЭ: La, Ce, Pr, Nd	95,0	91,0	71,3	54,9	6,7
Средняя группа РЗЭ: Sm, Eu, Gd	2,2	4,38	10,4	8,8	8,52
Тяжелая группа РЗЭ: Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	0,7	1,62	3,5	8,8	22,5
Иттрий Y	0,2	3,0	15,4	27,5	62,5
Церий Ce	49,5	48,0	3,4	2,4	0,2

Ионные руды Цзянси содержат преимущественно иттрий и СТГ, в сумме более 93 % отн.

Бастнезит Внутренней Монголии и монацит Гуандунга представлены преимущественно легкой группой РЗЭ, более 95 % отн.

Разделительные технологии

КИТАЙ

*Легко вскрываемые водным раствором NaCl ионные руды
Содержание СТГ: 14-31 % отн.
Содержание Y: 15-62,5 % отн.
Экстракционное разделение СТГ в хлоридных солянокислых растворах*

РОССИЯ

*Трудно вскрываемые руды растворами HNO₃, H₂SO₄, NaOH, высокотемпературное хлорирование
Экстракционное разделение СТГ в нитратных азотнокислых растворах, содержащих не более 12 г/л HNO₃*

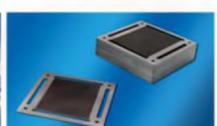
Материальное обеспечение экстракционного разделения СТГ РЗЭ

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Разработаны технологии разделения всех РЗЭ СТГ ➤ Собственное производство всех типов экстрагентов ➤ Полное обеспечение реагентами экстракционного разделения ➤ Разделительные мощности – более 1000 экстракционных ступеней ➤ Оборудование – смесители-отстойники высокой производительности ➤ Автоматизация экстракционных процессов на основе собственных систем | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Часть разделительных систем разработаны, часть в процессе разработки ➤ Полное отсутствие производственной базы основных типов экстрагентов ➤ Разделительные мощности -300-400 экстракционных ступеней ➤ Оборудование – центробежные экстракторы средней производительности ➤ Автоматизация на основе импортных систем |
|---|---|

ПРИМЕНЕНИЕ СКАНДИЯ

ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКАНДИЯ

- ПРОИЗВОДСТВО СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ
- ПРОИЗВОДСТВО ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
- ПРОИЗВОДСТВО МОЩНЫХ МЕТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМП
- ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНИКА
- СПЕЦИАЛЬНАЯ КЕРАМИКА



Нахождение скандия в природе



кольбекит
 $ScPO_4 \cdot 2H_2O$



каскандит
 $CaScSi_3O_7$



Тортвейтит
 $Sc_2Si_2O_7$



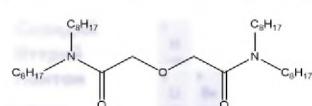
29

Сырьевые источники скандия:

- Гидролизная серная кислота ($Sc = 0,018 \text{ г/л}$), получаемая после гидролитического выделения TiO_2 в результате сернокислой переработки титанового сырья.
- Расплав титановых хлоратов ($0,01-0,03\%$)
- Щлаки ($0,02-0,1\%$), при переработке вольфрамитовых концентратов и оловянных руд.
- Концентраты редкоземельных элементов (оксиды или карбонаты), полученные при переработке редкоземельного сырья ($0,03-1\%$)
- Красный шлам ($0,01-0,02\%$), получаемый при переработке бокситов

Извлечение скандия из отходов Алюминиевого производства

Тетраоктилдигликоламид (ТОДГА)

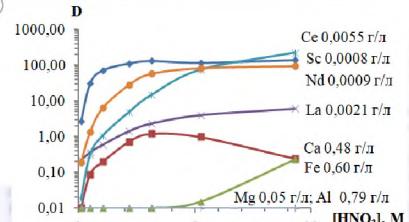


- Не налажено производство в России
- Возможность отделения основной примеси - Fe



Красные шламы – крупнотоннажные высокотоксичные отходы.

В мире накоплено более 1,5 млрд т красных шламов. Только на Урале в шламохранилищах накоплено более 100 млн. тонн.



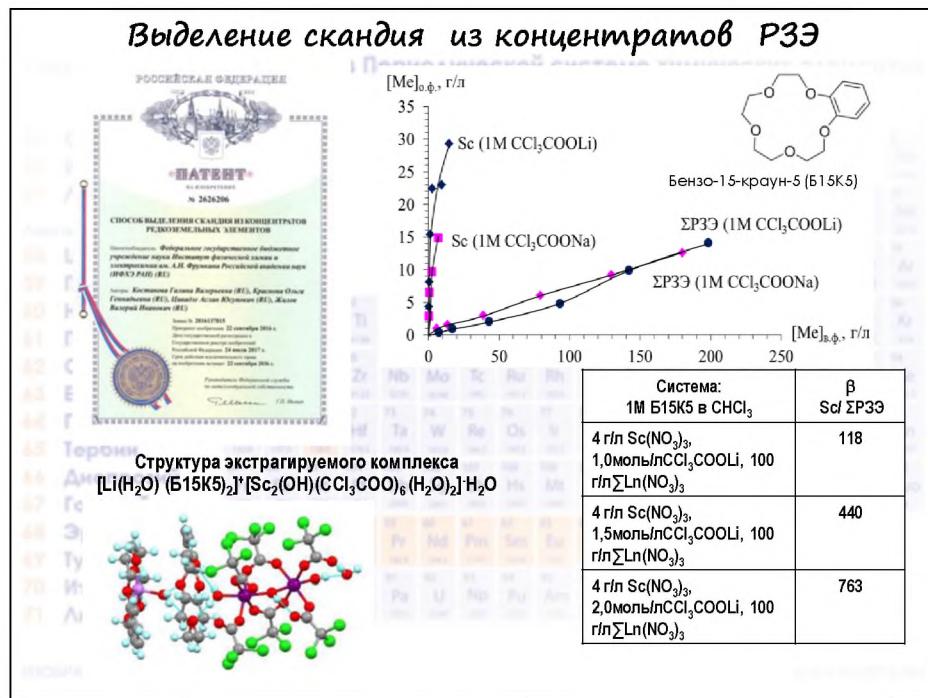
Разделяемые элементы	β 0,5M HNO ₃
Sc/La	84,2
Sc/Ce	100
Sc/Nd	22,9
Sc/Ca	350
Sc/Fe	3100

Содержание в КШ, %															
Na	Mg	Al	Ca	Sc	Ti	Fe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Y	Pb	Th	U
0,37	0,49	5,7	5,5	0,008	2,3	27	0,016	0,036	0,004	0,015	0,003	0,035	0,033	0,005	0,001

Селективное извлечение скандия

В настоящее время проводятся работы по селективному извлечению скандия из красных шламов – многотоннажных высокотоксичных отходов алюминиевой промышленности. В качестве селективного экстрагента предложен использовать тетраоктилдигликоламид, огромным достоинством которого является то, что он практически не экстрагирует железо. Найдены условия проведения экстракционного процесса, позволяющего селективно извлекать скандий и РЭ из азотнокислых растворов после выщелачивания красных шламов.

Одной из сложных задач является разделение скандия и близких к нему по химическим свойствам редкоземельных элементов. Разработан способ селективного извлечения скандия из редкоземельных концентратов с использованием в качестве экстрагента краун-эфира бензо-15-краун-5 в присутствии трихлорасетата в качестве противоиона. Исследован состав экстрагируемых соединений, определены основные количественные характеристики экстракционных процессов. В присутствии трихлорасетатов лития и натрия получены очень высокие величины коэффициентов разделения скандия и суммы РЭ, что подтверждает возможность проведения селективного извлечения скандия из нейтральных концентрированных растворов нитратов РЭ с использованием в качестве экстрагента Б15К5.



Технология извлечения лития из отечественного гидроминерального сырья

член-корреспондент РАН А.П. Немудрый

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

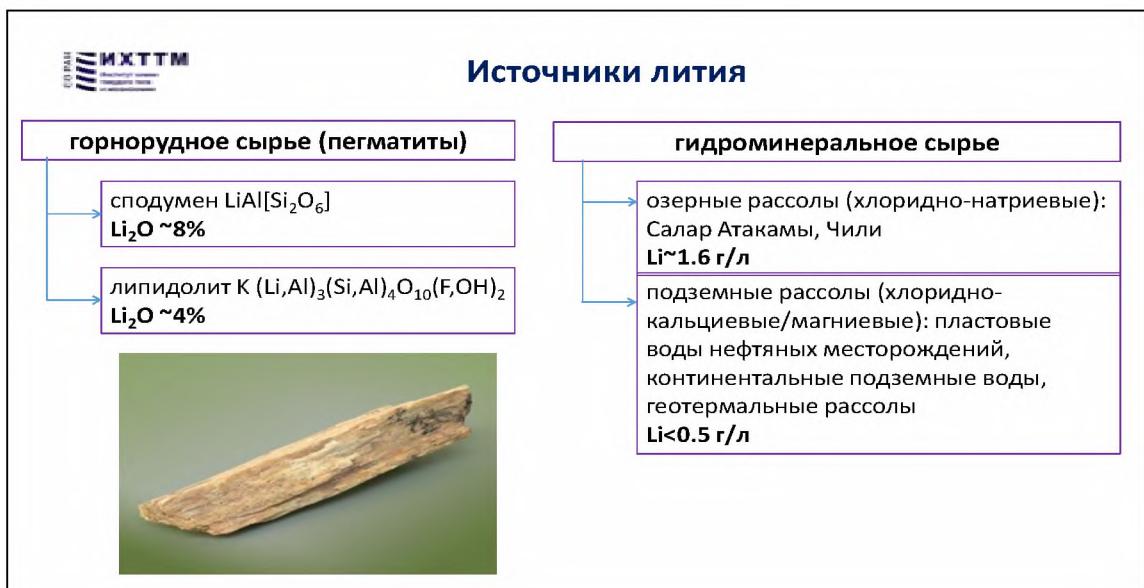
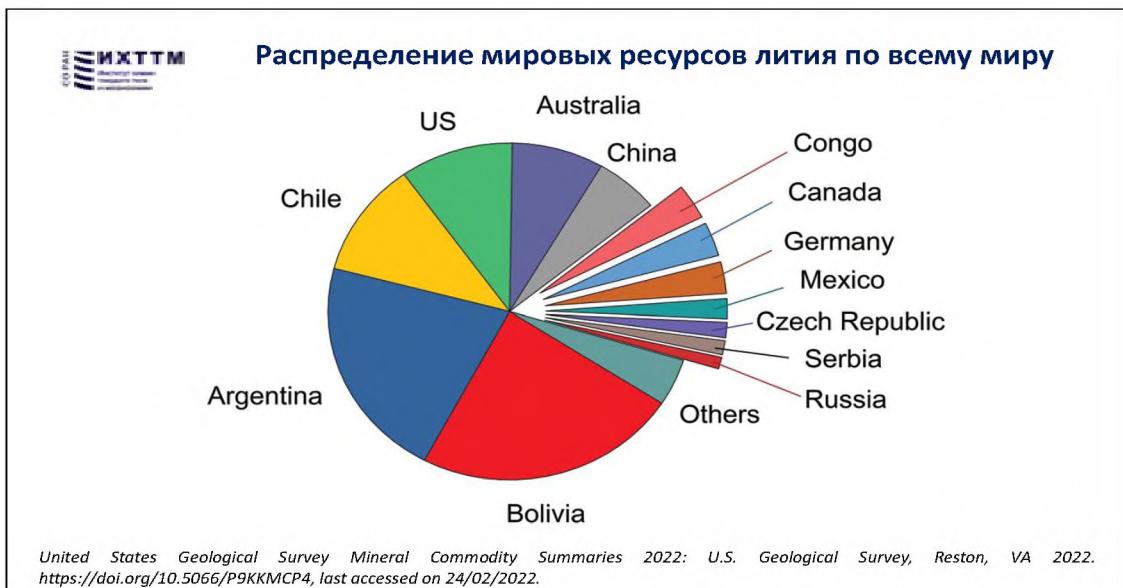
Технологии извлечения лития из отечественного горнорудного и гидроминерального литиеносного сырья

чл.-корр. РАН А.П. Немудрый

СО РАН
ИХТМ
Институт химии
твердого тела
и механохимии

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

2023

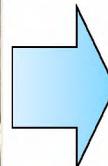


ИХТМ СО РАН разработана комплексная технология переработки сподуменового концентрата – источника лития

1950 г.

Руководитель работ - д.т.н. И.С. Лилеев

Авторы разработки удостоены Сталинской премии

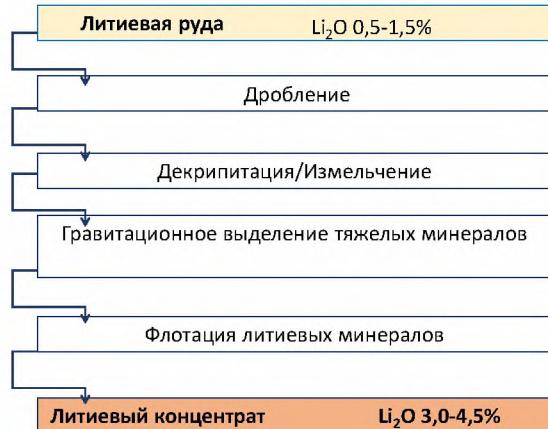


Созданная технология была использована для получения
отечественного лития.

На основе разработанной технологии построен Красноярский
химико-металлургический завод, который в середине 50-х годов
вышел на проектную мощность. Это вклад Института в создание
«ядерного щита» СССР.

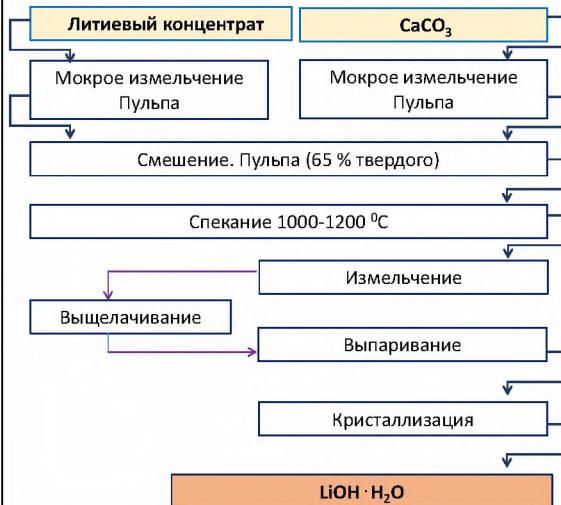
Схемы переработки сподуменового концентрата

Метод флотации



Схемы переработки сподуменового концентрата

Известковый способ



Сернокислотный способ

извлечение лития в 93%-ной серной кислоте
при T= 250°C в течение 1-1,5 ч.



Переработка литийсодержащего техногенного сырья

Хвосты обогащения руд Завитинского месторождения (ЗабГОК) - перспективный литийсодержащий объект.



Химический анализ проб:
содержание Li_2O 0.17 – 0.49 %
при среднем значении 0.26 %.

Инвестиционная привлекательность техногенного объекта:

Запасы лития в пересчете на Li_2CO_3 составляют 76 тыс. тонн

Гидроминеральное сырье

■ традиционное

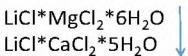
$R < 60$

хлоридно-натриевые

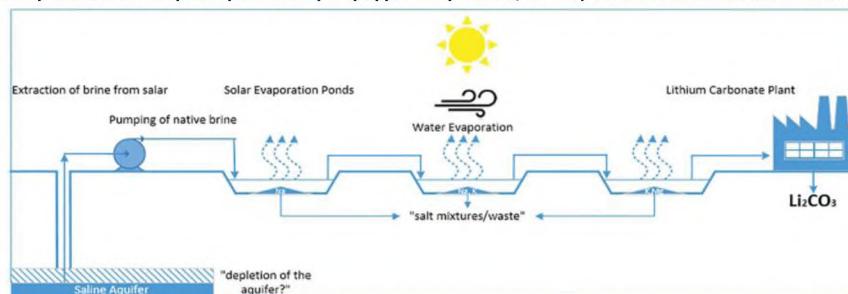
■ нетрадиционное

$R > 60$

хлоридно-кальциевые и магниевые



Технология выпаривания из озерных рассолов (хлоридно-натриевых, $R << 60$) с использованием климатических условий



В настоящее время литиевая промышленность наиболее развита в Австралии — страна ежегодно добывает свыше 18 тыс. тонн лития в год. В число крупнейших производителей редкого металла также входят Боливия, Китай, Аргентина, Чили.

Наиболее известные гидроминеральные литиевые месторождения России

Месторождение	Содержание основных компонентов, г/л								
	Li^+	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	Br	Σ солей	R
Саха (Удачный, комплекс)	0,414	35,6	20,3	11,2	65,5	220,0	4,8	360	192
Красноярский край (Сухотунгусское)	0,22	46,8	23,1	9,5	58,8	233,9	3,2	375	310
Эвенкия (Верхнекостиńskое)	0,45	50,2	19,7	11,2	81,7	271,8	5,6	444	210
Иркутская область (Знаменское)	0,48	2,4	4,3	28,5	134,3	322,5	10,6	503	340
Иркутская область (Ковыктинское)	0,39	1,9	11,7	29,0	154,0	338,9	6,3	544	470
Дагестан (Тарумовское)	0,2	67,0	3,8	0,8	10,1	127,3	0,6	210	60
Дагестан (Берекейское)	0,042	24,0	0,6	1,4	0,3	41,0	0,2	70	55
Дагестан (Южно-Сухокумское)	0,041	31,5	0,6	0,7	7,2	65,5	0,3	110	213
Тюменская и Томская обл. (попутные нефтяные воды)	0,004	8,5	0,1	0,03	0,74	8,3	0,02	18,0	192,5
Тюменская обл. (Сеноман)	0,2	67,0	3,8	0,8	10,1	127,3	0,6	210	60

Для выделения лития из растворов с $R > 60$ необходимо использовать экстракционные или адсорбционные методы.

Работы ИХТМ СО РАН по переработке гидроминерального литиевого сырья

АКАДЕМИЯ НАУК ССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И
ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

На правах рукописи

Немудрый Александр Петрович

УДК 541.14

ИНТЕРКАЛЯЦИЯ СОЛЕЙ ЛИТИЯ В ГИДРАРГИЛЛИТ

02.00.04 – Физическая химия

Диссертация на соискание ученой степени

Кандидата химических наук

Научный руководитель:
член-корреспондент АН ССР
доктор химических наук
профессор В. В. Бодалкин

Новосибирск – 1997

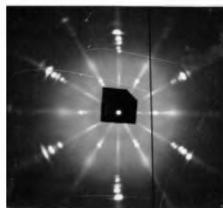
- В ИХТМ СО РАН проведены фундаментальные исследования взаимодействия водных растворов солей лития с кристаллическим гидроксидом алюминия.

Химический состав продуктов **селективного** взаимодействия гидрагилита с растворами солей лития (анионных форм двойного гидроксида алюминия и лития – ДГАЛ-Ап)

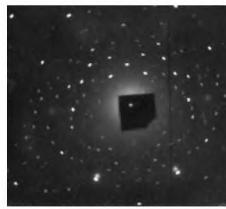
№№ пп	X	Химический состав			Валовая формула
		Li_nX	$Al(OH)_3$	H_2O	
1.	Cl	18,60	70,40	11,0	$LiCl \cdot 2,0Al(OH)_3 \cdot 1,4H_2O^4$
2.	Br	31,6	56,6	11,8	$LiBr \cdot 2,0Al(OH)_3 \cdot 1,8H_2O^4$
3.	I	42,0	51,6	6,4	$LiI \cdot 2,1Al(OH)_3 \cdot 1,1H_2O^4$
4.	SO_4	20,2	63,9	15,9	$Li_2SO_4 \cdot 4,4Al(OH)_3 \cdot 4,8H_2O^4$

Изучены структуры продуктов взаимодействия монокристаллов гидроокиси алюминия - гидрагиллита с растворами солей лития

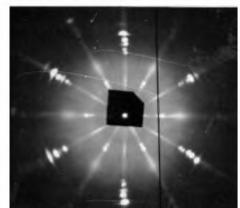
Лауэграммы ДГАЛ-Ап – анионных форм двойного гидроксида алюминия и лития



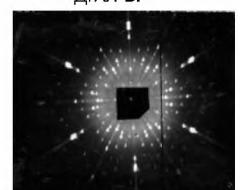
ДГАЛ-СІ



Гидрагиллит



ДГАЛ-Br



ДГАЛ-SO₄

Взаимодействие гидрагиллита с растворами солей лития

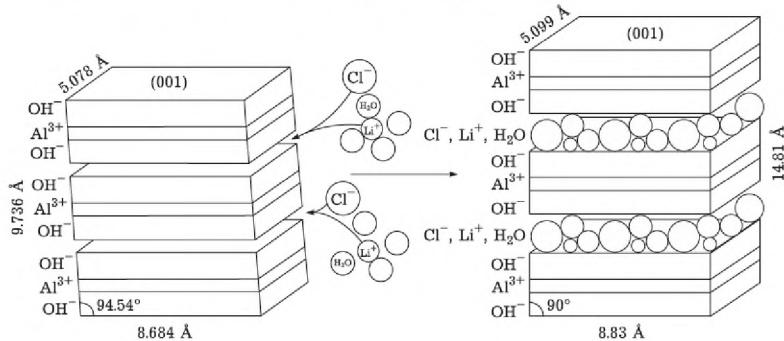
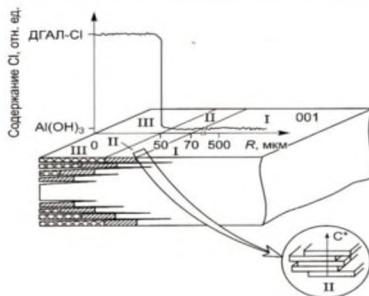


Схема интеркаляции хлорида лития в гидрагиллит

Исследования показали, что взаимодействие осуществляется путем интеркаляции хлорида лития и молекул воды в пространство между алюмогидроксидными слоями гидроксида алюминия

Схема стадийности пространственного развития интеркаляции хлорида лития в гидрагиллит



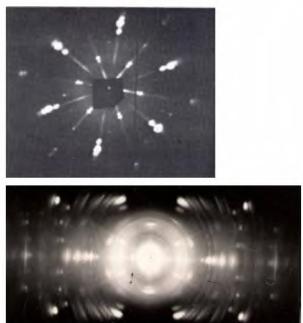
I зона – исходный кристаллический $\text{Al}(\text{OH})_3$;

II зона – разупорядоченные алюмогидроксидные слои

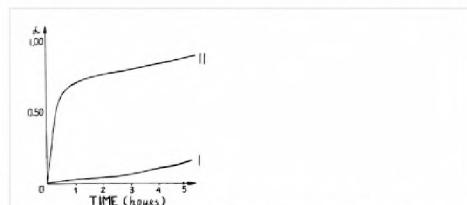
III зона - образование продукта (хлорсодержащей разновидности двойного гидроксида алюминия и лития $\text{LiCl}\cdot\text{2Al}(\text{OH})_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ (ДГАЛ-Сl)), который **наследует беспорядок в расположении слоев**.

Показано что при выдержке монокристаллов природного гидрагилита в растворе LiCl в течение 3-х суток при 80°C , наблюдаются три зоны при движении фронта реакции от боковой поверхности к центру кристалла.

Продукт деинтеркаляции ДГАЛ-Сl демонстрирует ускоренное взаимодействие с растворами хлорида лития



Рентгенограммы продуктов деинтеркаляции ДГАЛ-Сl:
а) лаурграамма (ц (001));
б) рентгенограмма вращения вокруг [100].



A. Nemudry, Reactivity of Solids, 1986

По материалам кандидатской диссертации А.П. Немудрого, 1987 г.

Практическое значение работы. Полученные в диссертации данные о механизме и топохимических особенностях интеркаляции солей лития в гидрагиллит необходимы для целенаправленного регулирования процесса сорбции ионов лития на кристаллических и аморфных формах ГОА из растворов различной природы, в том числе природных высокоминерализованных рассолов, извлечение лития из которых затруднено и до настоящего времени не используется в промышленной практике, несмотря на перспективность этого нетрадиционного источника литиевых солей.

Разработана технология извлечения лития из подземных высокоминерализованных рассолов

Руководитель работ – д.т.н. Н.П. Коцупало

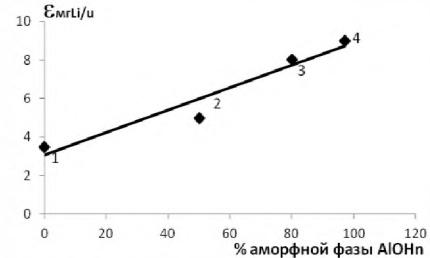


Создан обратимый сорбент на основе двойного гидроксида алюминия, лития $\text{LiCl}\cdot\text{2Al}(\text{OH})_3\cdot m\text{H}_2\text{O}$ (ДГАЛ-Сl) для селективного извлечения лития из рассолов и разработаны научные основы новой сорбционной технологии извлечения лития из подземных высокоминерализованных рассолов и попутных вод месторождений полезных ископаемых (нефти, газа, алмазов) с получением обогащенных литием концентратов.

Технология испытана применительно к дренажным рассолам алмазных месторождений.

Состав ДГАЛ-Сl, полученного на различных матрицах Al(OH)₃

№ п/п	Состав реакционной смеси	Содержание, %			$\Sigma_{\text{соль}}/h$
		LiCl	Al(OH) ₃	H ₂ O	
1.	Поликристаллический Al(OH) ₃ +LiCl _{р-р}	14.5	54.5	31.0	3.5 ^{*)}
2.	Термически активированный Al(OH) ₃ +LiCl _{р-р}	4.2	90.0	5.8	5.0 ^{*)}
3.	Механически активированный Al(OH) ₃ +LiCl _{р-р}	13.6	62.5	21.6	8.0
4.	Свежеосаждённый Al(OH) ₃ после отделен. осадка+р-р LiCl	16.2	64.7	18.6	9.0
5.	Свежеосаждённый Al(OH) ₃ , выделенный из р-ра AlCl ₃ с введением в р-р Li ₂ CO ₃	14.0	68.1	17.1	8.8
6.	Электрохимическое осаждение из р-ра LiCl	15.8	65.7	18.5	9.5



Зависимость ёмкости ДГАЛ-Сl от содержания аморфной фазы в исходной матрице (№ точки соответствует № образца в табл.1).

Наиболее экономичным способом является осаждение ДГАЛ-Сl из раствора AlCl₃ при введении литиевого компонента (LiOH, Li₂CO₃).

Состав литиевых концентратов, полученных из рассолов различных типов с использованием порошкового ДГАЛ-Сl

$$R = C_{\text{солей}} / C_{\text{LiCl}}$$

Тип рассола	Месторождение	Содержание, кг/м ³ (в концентратах)					$R_{\text{конц}}$	$R_{\text{расс}}$
		LiCl	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂		
Хлоридный кальциевый	Знаменское (Иркутск. обл.)	8,25	0,4	1,1	0,4	1,5	1,4	340
Хлоридный кальциево-магниевый	Дренажные рассолы трубки «Удачная»	8,0	-	2,3	0,9	1,7	1,6	600
Хлоридный натриевый	Тарумовское (Дагестан)	8,75	1,8	0,2	0,2	0,05	1,1	105

Опробование сорбционных свойств порошкового ДГАЛ-Сl, проведенное с использованием хлоридных рассолов различных типов: Na-Ca-Mg, Na-Са и натриевых подтвердило селективность ДГАЛ-Сl с дефицитом LiCl в его составе по отношению к литию. При этом после десорбции LiCl водой были получены его растворы с примесью солей рассола.

solid.nsc.ru

Составы первичного и вторичного литиевых концентратов

Состав	LiCl	NaCl	KCl	MgCl ₂	CaCl ₂	Br	$\Sigma_{\text{солей}}$
Наименование							
Исходный рассол (Знаменское месторождение)	2.5	6.1	8.2	115	330	0.9	470
Первичный литиевый концентрат	6.2	0.5	0.6	0.3	1.1		8.7
Концентрат после очистки карбонатом лития	7.0	0.5	0.6	0.09	0.04		12
Вторичный литиевый концентрат после электродиализного концентрирования	175	12	15	0.5	0.7		204

- В Институте было создано опытное производство для апробирования в укрупненных условиях переработки природных рассолов, самоизливающихся в карьер трубы «Удачная».
- В результате работ был разработан технологический регламент по использованию рассолов трубы «Удачная». В ходе опытно-промышленных испытаний методом электродиализа получен вторичный литиевый концентрат - продуктивный раствор хлорида лития, содержащий 175 г/л LiCl, из которого осаждали карбонат лития.
- Испытания показали воспроизводимость сорбционного процесса и возможность получения продуктивного раствора хлорида лития для производства литиевых продуктов.



Внедрение в Китае



Общий вид промышленного обогатительного комплекса предприятия по получению карбоната лития (г. Гэрму, КНР), 2012 год

В 2004 году прошли успешные испытания высокоселективного сорбента ДГАЛ-СІ на китайских рассолах китайской компанией. В дальнейшем этот процесс был промышленно освоен для получения карбоната лития из рассолов оз. Дабсан-Нур (провинция Цинхай, КНР). Предприятие функционирует с 2012 года и выпускает около 10 тысяч тонн карбоната лития в год.

Особенностью действующего предприятия является то, что в его составе действует производство по грануляции сорбента для восполнения потерь его механического истириания.

Организация сорбционного передела при извлечении лития из рассолов



Завод по получению гранулированного сорбента нового поколения построен в г. Хой-Джоу (КНР) в 2019 году.

Для промышленного освоения процесса сорбционного извлечения лития из рассолов специалистами ЗАО «Экостар-Наутех» предложена и разработана схема грануляции сорбента.

Из порошка ДГАЛ-СІ, хлорированной поливинилхлоридной смолы и метиленхлорида готовят пасту, которую продавливают через фильтр, измельчают и классифицируют.

В дальнейшем проходит операция подготовки для создания дефицита лития в его составе путём обработки водой.

Как видно, процесс грануляции довольно сложный и затратный и должен постоянно восполнять потери в промышленном производстве получения карбоната лития из рассолов.

Предложения ИХТМ СО РАН по улучшению технологической схемы извлечения лития из рассолов

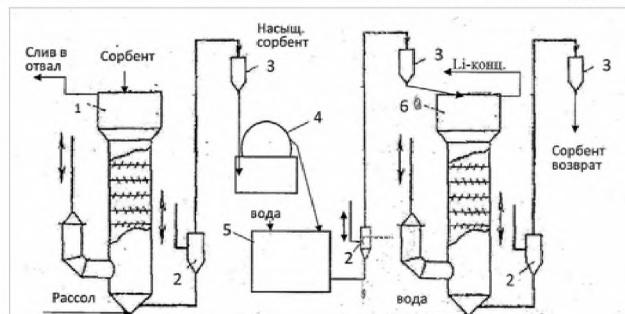


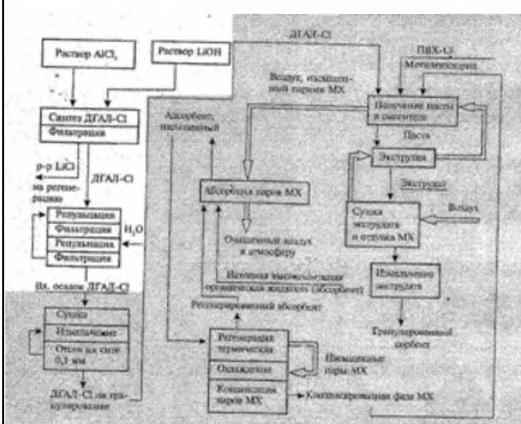
Схема сорбционной переработки ЛГМС в пульсационных колоннах:

- 1 - пульсационная колонна сорбции;
- 2 - пульсационный насос;
- 3 - расширительный бачок;
- 4 - барабанный вакуум-фильтр;
- 5 - сборник пульпы насыщенного сорбента;
- 6 - пульсационная колонна десорбции.

Предлагается сорбционная технология обогащения ЛГМС без гранулирования сорбента с организацией сорбционных процессов на порошковом сорбенте с использованием пульсационных колонн.

Применение пульсационных противоточных осадительных колонн с насадкой типа КРИМЗ обеспечивает высокотурбулентное движение раствора и порошкового ДГАЛ-СІ, чем снимаются внешнедиффузионные ограничения.

Преимущества предлагаемых ИХТМ СО РАН процессов и аппаратов для извлечения лития из рассолов



На рисунке показана схема синтеза и грануляции ДГАЛ-СІ действующего предприятия в Китае.

Зачерненным показаны исключаемые из предлагаемой схемы процессы, реагенты и аппараты, что снижает уровень энергозатрат, расход реагентов, количество специального оборудования, трудозатраты.

Преимущества предлагаемой технологии:

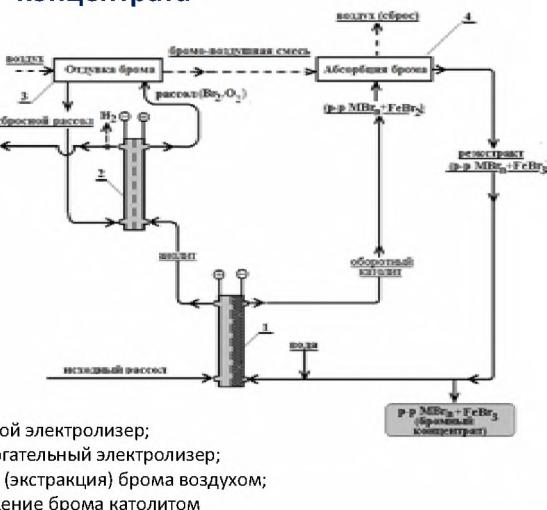
- Непрерывность процессов сорбции-десорбции;
- использование схемы с оборотом сорбента;
- Снижение расхода воды на десорбцию (менее 0,05 объёма перерабатываемого рассола);
- отсутствие вращающиеся системы (насосы, мешалки и т.п.);
- отсутствие особых требований к коррозионной стойкости оборудования;
- возможность требуемого масштабирования;
- сырьевая база для работы технологии обеспечена высокоминерализованными рассолами Сибирской платформы.



Электрохимический процесс получения бромидного концентрата

Дальнейшее снижение себестоимости лития возможно достигнуть при комплексной переработке природных рассолов с выделением полупутных ценных компонентов. Перспективным представляется извлечение брома, содержание которого в некоторых пластовых водах достигает 3-5 г/л (для подземных хлоридных рассолов Якутии и Красноярского края).

Для решения проблем извлечения и получения концентрированных продуктов в Институте химии и химической технологии СО РАН (г. Красноярск) разработан электрохимический процесс извлечения брома.



Показатели испытаний процесса на пилотной установке:

В 1992 году была изготовлена и испытана первая пилотная установка этого процесса производительностью 50 л/час на пластовой воде Сухотунгусского месторождения.

- Извлечение брома – 91 %.
- Удельные затраты электроэнергии – 1100 кВт*час/т.
- Удельный расход соляной кислоты (конц.) – 0,15 т в пересчете на 1 т твердого бромидного продукта.

На месторождении получен бромидный концентрат практически без применения реагентов.

Концентрат безопасен при доставке с месторождения и не требует завоза и применения на месторождении токсичного хлора.

Выделение жидкого брома на специализированных предприятиях не представляет труда и достигается продувкой через раствор хлора.

27



Контакты

Немудрый Александр Петрович
чл.-корр. РАН
и.о. директора ИХТМ СО РАН

Тел. +7 3832-332-40-02
e-mail: nemudry@solid.nsc.ru



Проблемы извлечения стратегических металлов из минерального сырья

член-корреспондент РАН И.Г. Тананаев

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева (ИХТРЭМС) — ФИЦ «Кольский научный центр РАН»



Проблемы извлечения стратегических металлов из минерального сырья

И.Г. Тананаев

*Заместитель генерального директора по научной работе
ФИЦ «Кольский научный центр РАН» - директор ИХТРЭМС КНЦ РАН*

Заседание межведомственного научного совета по РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию, 19 октября 2023 года, Президиум РАН, Москва

Тема доклада



Химическое извлечение
стратегических металлов
из руд



- Химическая переработка – завершающий этап в освоении минерального и техногенного сырья, который «открывает дверь» в индустриальное общество, обеспечивающее наработку и доставку конечной продукции потребителю по производственным цепочкам
- Вклад и развитие отрасли химической переработки сырья - индикатор состояния экономики государства и его роли в мировом рынке труда
- Доклад посвящен не сколько о проблемах химического извлечения целевых компонентов из минерального и техногенного сырья, а столько о его современной роли и месте при переходе нашего государства на новый технологический уклад

Перечень стратегических материалов

- В 2022 году перечень стратегических материалов впервые за 26 лет был обновлен, число позиций расширен в два раза (до 61 единиц)
- Однако для раскрытия темы доклада представляется достаточным обратить свое внимание не на все 61 объект исследования, а на группу стратегических металлов, которые хорошо отражают geopolитические интересы Государства, имеют особое значение для обеспечения экономического развития, обороны и безопасности но до сих пор остаются проблемными в части производства: **это редкоземельные элементы (РЗЭ), литий и бериллий**

РФ: история и гибель одного семейства ... лантанидного

- До 1990 года Советский Союз занимал 2 место в мире по производству РЗЭ, добывая ежегодно до 30% мировой добычи (8,5 тыс. тонн) при собственном потреблении 6 тыс. тонн, а остаток направлял на экспорт в США, Японию, Германию
- Общемировом потреблении (при пересчете на оксиды) нарастает: (2016 = 145 тыс. тонн; 2018 = 184 тыс. то; 2021 = до 230 тыс. тонн)
- К 2030 потребление РЗЭ обещает вырасти в два раза с 2020 г. Нарастает дефицит на мировом рынке Nd, Pr с 2022 и Dy с 2021, а Tb дефицитен с середины 2010-х гг
- Сегодня Россия, напротив, завозит по импорту почти 90 % РЗЭ продукции, что вступает в противоречие с наличием огромных запасов природных и техногенных источников в нашей стране

Восток – дело тонкое...

57 La Lanthanum	58 Ce Cerium	59 Pr Praseodymium	60 Nd Neodymium	61 Pm Promethium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutetium
-----------------------	--------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	----------------------	----------------------	------------------------	---------------------	------------------------	---------------------	--------------------	---------------------	-----------------------	----------------------

**Красноуфимский
монацит
82,6 тысяч тонн**

В 2021 году владельцы отправили две партии монацитового концентрата (3 тыс.т. из 82 тысяч) железнодорожным транспортом для в Китай (данные СМИ) или во Вьетнам (данные РЖД) для переработки. Планируется, что через 4 года весь груз будет перемещен за рубеж



Нам нечего терять, кроме своих цепей ... поставок



«Меловое» (Мангышлак) Прикаспийский ГМК

Ловозерский ГОК (п. Ревда Ловозерского р-на Мурманской обл.). Рудный минерал подкласса сложных оксидов – лопарит, $(Na,Ce)TiO_3$, $(REE,Na)(Ti,Nb)O_3$, $(Na,Ce,Ca)_2(Ti,Nb)_2O_6$

Соликамский магниевый завод производил карбонаты РЗЭ; содержание Σ TR2O₃ >40 %; извлечение >95 %.

Плав хлоридов шел на Иртышский завод (Казахстан, Восточно-Казахстанская обл., Шемонаихинский р-н, п. Первомайский) для производства окончательной продукции

Кутес-Сай Киргизский ГОК (Ак-Тюз Киргизская ССР)

Киргизский ГМК, п. Орловка (Киргизская ССР)

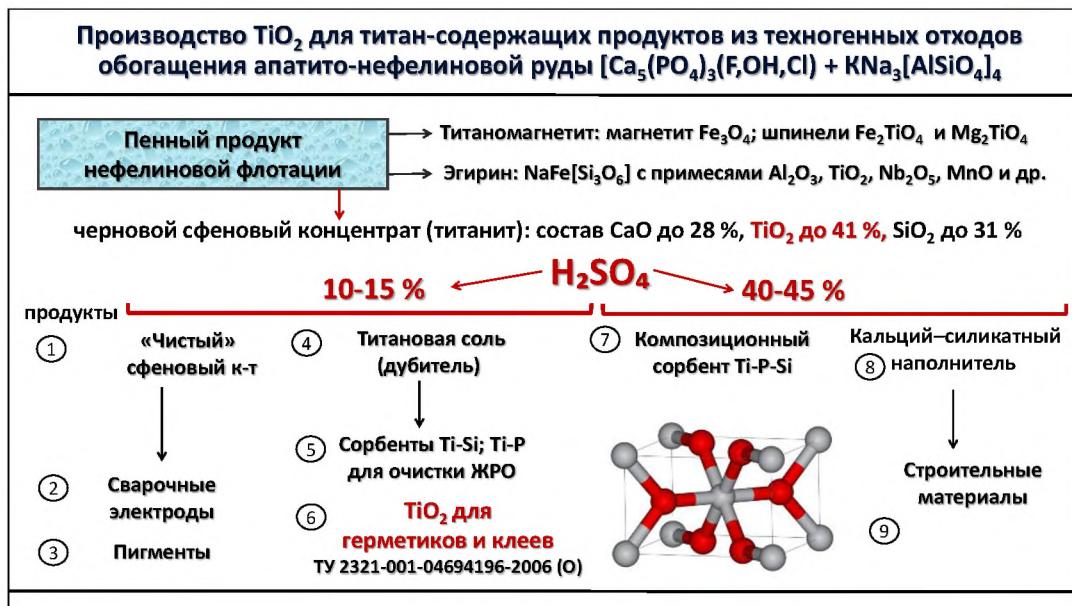
Приднепровский химический завод (УССР)
Московский завод полиметаллов
Пышменский опытный завод, г. Пышма (РСФСР)

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu

Нет аппетита ...

За историю существования на АО «Апатит»
добыто **>700 млн. тонн** апатитового
концентратса, содержащего 1% оксидов
РЗЭ (т.е. было списано **7 млн. тонн РЗЭ**,
или **80 тыс. тонн** в год)





Летит, летит по небу клин усталый ...

Мурманская обл.

2023 = 658 698

2013 = 780 401

2003 = 889 807

1991 = 1 191 468

нас осталось

55%

- Мы теряем когорту квалифицированных инженеров, техников и химиков-технологов, которые обеспечивали упомянутую опытную базу, а в нашем институте – это до 60 % в штатном расписании без надежды применения их рационального труда
- 35% сотрудников ИХТРЭМС КНЦ РАН на уровне МРОТ, а в 2024 г. их станет до 50%

Число сотрудников ИХТРЭМС КНЦ РАН

31.12.2020	31.12.2021	31.12.2022	11.10.2023
228	224	210	203

	2020	2021	2022	2023
до 40 лет	21	19	15	12

Остановите музыку ...

Китай:
очередь сдать
документы в
магистратуру



ЕГЭ по химии:
ЧИСЛО СДАВШИХ

2023 74000

2022 95000

средний балл 55

- 18.05.02 – «химическая технология материалов современной энергетики» в девяти вузах со средним проходным баллом от 46 до 58 в аудитории приходит 347 студентов (бюджетные места) на всю страну
- По ОП (бакалавр) «Химическая технология» набор на 3000 бюджетных мест в год

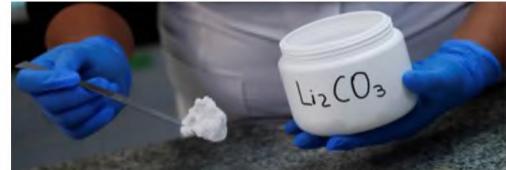
ПАО «Акрон» РЗЭ: 2016-2019



Исполнительный директор: «Акрон» сделал главное. Он освоил технологию получения РЗЭ, подняв уровень персонала на высокий профессиональный уровень, запатентовал данный способ производства» (2019).



Колмозерское месторождение имени А.Е. Ферсмана



- ИХТРЭМС КНЦ РАН, АО ГИРЕДМЕТ и ВНИИХТ ГК «Росатом» разработали совместный проект по переработке колмозерского сподумена по технологии с получением карбоната лития на пилотной площадке в г. Апатиты
- Этот проект был рассмотрен и обсужден на НТС ГК «Росатом» с привлечением экспертов из известных организаций горной промышленности

- Получение **бериллиевых концентратов** и химических соединений из рудного сырья в России отсутствует, производственные мощности по переработке бериллиевых концентратов остались за рубежом (Казахстан)
- В результате образовалась ситуация, когда использование важнейшего стратегического металла находится в **полной зависимости** от зарубежных фирм
- Промышленная переработка бериллиевых руд и получение бериллия имеется только в трех странах: США, Китай и Казахстан



Металл нужен для производства ядерных боеприпасов и обеспечения ядерного сдерживания ... Повторяю: ядерного сдерживания!

Производство Ве в России осуществляется путем переработки лома

! В сложившихся условиях, задача по созданию собственного бериллиевого производства **является для России остроактуальной** **!**

Было время разбрасывать камни, и пришло время собирать камни

- В условиях планового производства РЗЭ являлись стратегическим материалом, а цепочки поставок формировали внутренний рынок. А сейчас?
- Момент истины: государству нужно определиться: являются ли РЗЭ, бериллий, литий стратегически важными материалами или нет?
- Если да, то государство должно стать и заказчиком, и владельцем этого сырья как вариант, путем её передачи ГК«Росатом» или создав новую государственную корпорацию типа «Росмет»
- Если нет, то на этом рынке останутся только владельцы сырья, развитие государства которым является вторичным
- Последствия: исключение отраслей химической переработки из системы бизнес-управления минерального и техногенного редкometального сырья однозначно ведет к переходу нашей державы в сырьевой придаток

**Проблемы и перспективы разработки технологий
извлечения редкоземельных элементов из
труднообогатимых руд Чуктуконского и Томторского
месторождений Восточной Сибири**

д.х.н. профессор РАН О.П. Таран, д.х.н. В.И. Кузьмин

*Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО
РАН) — ФИЦ КНЦ СО РАН*



Институт химии и химической технологии СО РАН –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

**Проблемы и перспективы разработки технологий
извлечения редкоземельных элементов из
труднообогатимых руд Чуктуконского и Томторского
месторождений Восточной Сибири**

Таран О.П. – директор ИХХТ СО РАН, д.х.н., проф. РАН
Кузьмин В.И. – заместитель директора по научной работе, д.х.н.
taran.op@icct.krasn.ru

*Совместное заседание Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Межведомственного
научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию,
Бюро Отделения химии и наук о материалах и Бюро Отделения наук о земле
19 октября 2023 г., Москва*

Разработка технологий переработки редкometальных труднообогатимых руд Томторского и Чуктуонского месторождений

Томторское и Чуктуонское рудные месторождение являются **уникальными² редкometальными** объектами России, содержащими наряду с редкоземельными металлами, ниобий и ряд других ценных металлов.

Томторское месторождение расположено в северной части Якутии, Чуктуонское – в Красноярском крае, в 120 км от г. Кодинска.

В этих двух месторождениях сосредоточено около **80%** запасов богатых руд России по редкоземельным металлам (РЗМ) и ниобию.

В ИХХТ СО РАН выполнен большой цикл исследований по комплексной переработке руд этих месторождений. Результаты работ использованы при **утверждении запасов руд в Государственном комитете** по запасам природных ископаемых



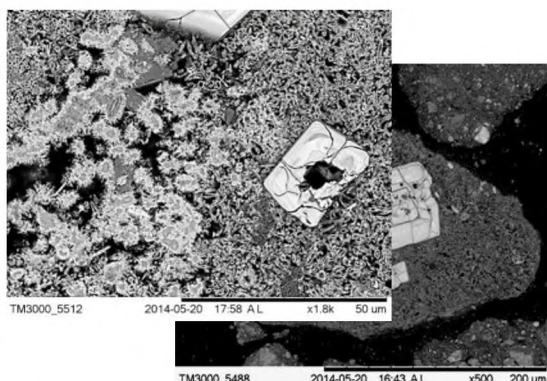
Химический состав руд Томторского (уч. Бурунныи) и Чуктуонского (центральная часть) месторождений

Оксиды	Содержание, %		Основными минералами томторских руд являются монацит ($\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th}\text{PO}_4$), гойяцит ($\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5\cdot\text{H}_2\text{O}$) и пирохлор ($\text{Ba}, \text{Sr}\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH})$). Присутствуют барит (BaSO_4), проявляется сидерит (FeCO_3) и гетит ($\alpha\text{-FeOOH}$), берлинит (AlPO_4) и крандалит ($\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$).	
	Томторское месторождение (участок «Бурунныи»)	Чуктуонское месторождение (проба ТП-6)		
РЗМ	10,2	7,1		
ниobia	6,7	0,5		
титана	5	0,9		
скандия	0,05	0,002		
ванадия	0,8	0,15		
железа	12	51,4		
марганца	0,2	12,4		
алиюминия	17,1	4,9		
фосфора	16,0	4,8		
кальция	2,6	0,9		
стронция	3,8	0,4		
бария	3,2	2,5		
кремния	3,8	4,8	В чуктуонских рудах железо и марганец образуют главные породообразующие минералы. Они представлены, в основном, оксидами и гидроксидами. Редкие земли в чуктуонской руде находятся в виде флюоренсита и монацита. Преобладающей минеральной формой нахождения ниobia в рудах является вторичный стронциево-, бариево- и церио- пирохлор.	



Особенности технологических свойств руд

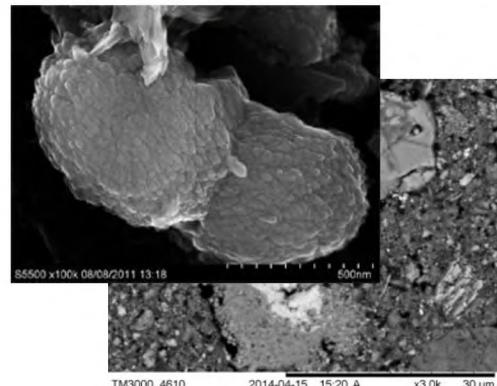
Томторские руды



В пористом алюмо-фосфатном цементе распределены кристаллы пирохлора - $(Na, Ca, Sr)_2Nb_2O_6(OH, F)$ и мелкие частицы анатаза-рутита (TiO_2). Практически вся поверхность пор цемента покрыта тонкой корочкой монацита ($LnPO_4$). Отдельные поры заполнены баритом ($BaSO_4$).

- невозможность предварительного обогащения руд современными методами, обусловленная ультрадисперсностью минеральных составляющих и их тонким взаимным прорастанием.

Чуктуконские руды



Железо-оксидные микронные частицы сложного состава, сложенные из частиц размером 10-30 нм с тонко-вкрапленным монацитом (светлые частицы).

4

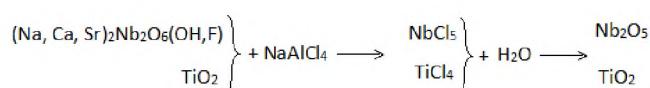


Процессы переработки томторских руд

Разработана технологическая схема, включающая щелочно-кислотную обработку руды и хлорирование ниобиевого кека безводной комплексной алюмохлоридной солью.

5

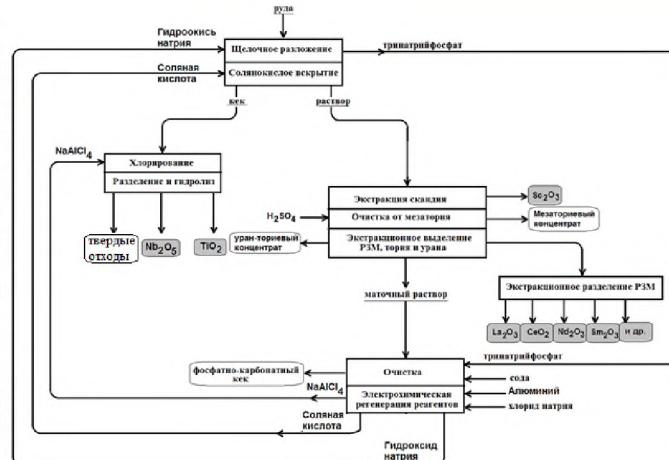
- | | |
|----------|--|
| 1 стадия | <ul style="list-style-type: none"> • Проводят щелочное разложение алюмофосфатов разбавленными растворами гидроксида натрия • $3CaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_{6(TB)} + 21NaOH \rightarrow Ca_3(PO_4)_{2(TB)} + 4Na_3PO_4 + 9NaAl(OH)_4 + 3H_2O$ |
| 2 стадия | <ul style="list-style-type: none"> • Вскрывают монацит обратным 45% раствором гидроксида натрия с получением гидроксидов РЗМ. Тринатрийфосфат выделяют из раствора кристаллизацией при охлаждении раствора. • $LaPO_4_{(TB)} + 3NaOH_{(p-p)} \rightarrow La(OH)_{3(TB)} + Na_3PO_4_{(p-p)}$ |
| 3 стадия | <ul style="list-style-type: none"> • Редкоземельные металлы и скандий переводят в раствор солянокислым выщелачиванием (3), затем очищают и разделяют экстракцией • $La(OH)_{3(TB)} + 3HCl_{(p-p)} \rightarrow LaCl_{3(p-p)} + 3H_2O_{(p-p)}$ |
| 4 стадия | <ul style="list-style-type: none"> • Ниобий-титановый концентрат после щелочно-кислотной обработки руды и сушки хлорируют комплексной солью $NaAlCl_4$, образующиеся летучие хлориды ниobia и титана разделяют и гидролизуют до соответствующих оксидов (гидроксидов) |



Переработка руд Томторского месторождения по хлорной технологии

6

По разработанной технологии до **70%** рудных компонентов выделяют в **товарную продукцию** - это редкоземельные оксиды, оксид ниobia и титана, скандий, алюминий и фосфаты. Объем твердых отходов составляет около 0,5 тонны на 1 тонну руды, радиоактивные элементы концентрируются в отдельном продукте массой около 60 кг. Расход реагентов составляет около 0,5 тонн. Высокая эффективность процесса достигнута благодаря практической электрохимической регенерации основных реагентов – соляной кислоты, щелочи, хлорирующих реагентов из хлорида натрия метохнических растворов.



Проект создания опытного завода в г. Железногорске Красноярского края

7



Отработка технологических процессов планировалась на ФГУП «Горно-химический комбинат» Росатома.

Для создания опытного завода были выделены помещения на промплощадке комбината, разработан проект, выполнены работы по подводу коммуникаций и ремонту помещений.

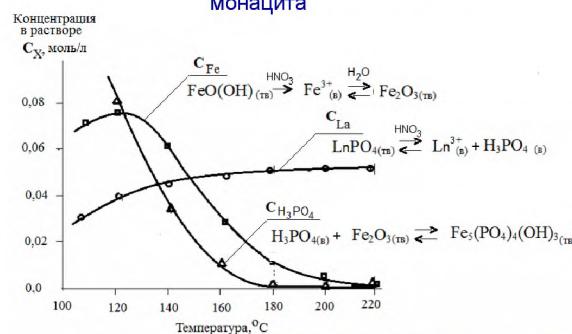
АК «АЛРОСА» доставила с месторождения Томтор 250 т представительной пробы руды.

В 2007 году, за несколько лет до кризиса на рынке редкоземельных металлов, новое руководство комбината приняло решение прекратить работы по созданию опытного производства.

Разработка технологии переработки чукотконских руд

Особенностью руд Чукотконского месторождения является высокое содержание в них оксидов железа (более 50%). В результате НИР, выполненных в ИХХТ СО РАН, разработан новый процесс вскрытия монацитовых руд. Процесс позволяет селективно извлекать РЗМ из руд при низком расходе химических реагентов.

Влияние температуры на состав водного раствора при гидротермальном азотнокислом вскрытии монацита



Показатели извлечения некоторых элементов при азотнокислом выщелачивании ($t=200^{\circ}\text{C}$)

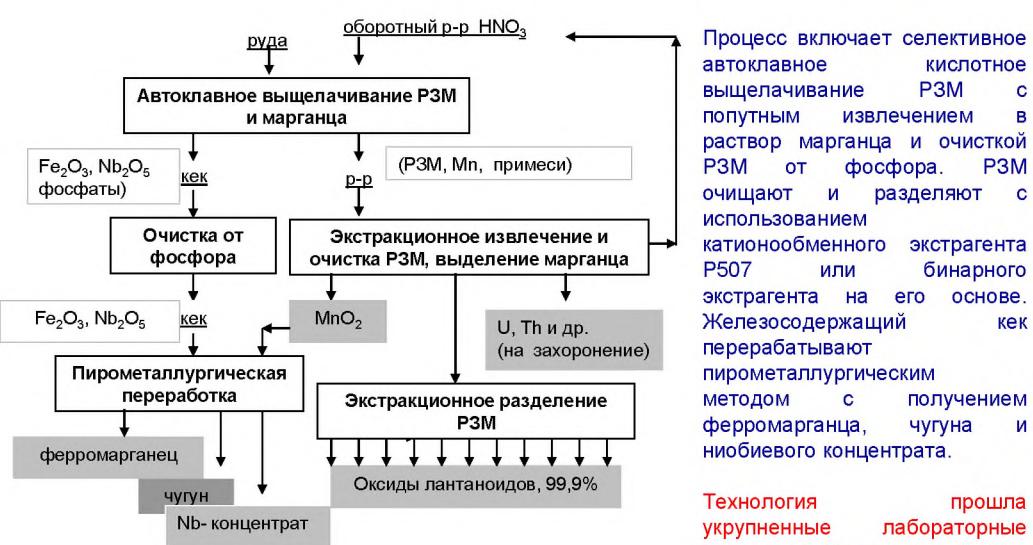
Элемент	Извлечение в раствор (%)
РЗМ и иттрий	96-99
Уран и торий	85-90
Марганец	90
Железо	6
Фосфор	4

Процесс включает одностадийное прямое автоклавное вскрытие руд азотной кислотой при температурах 190-210°C. В этих условиях оксиды железа не растворяются, а вскрываются лишь фосфаты лантаноидов, урана и тория. Одновременно происходит глубокая очистка растворов от фосфора за счет связывания его оксидами железа с образованием устойчивых кислых средах минерала - гиниита.



Принципиальная технологическая схема переработки редкometальных руд Чукотконского месторождения

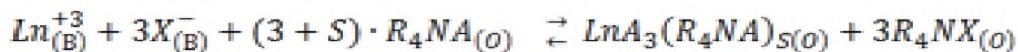
9



Разделение РЗМ противоточной экстракцией с использованием бинарных экстрагентов на основе солей аминов и алкилфосфорных кислот

Жидкостная экстракция является основным процессом используемым для разделения и очистки редкоземельных металлов. 10

В ИХХТ СО РАН разработан новый класс экстрагентов на основе солей органических кислот и органических оснований (бинарная экстракция), получены параметры извлечения и разделения РЗМ с реэкстракцией солей водой.



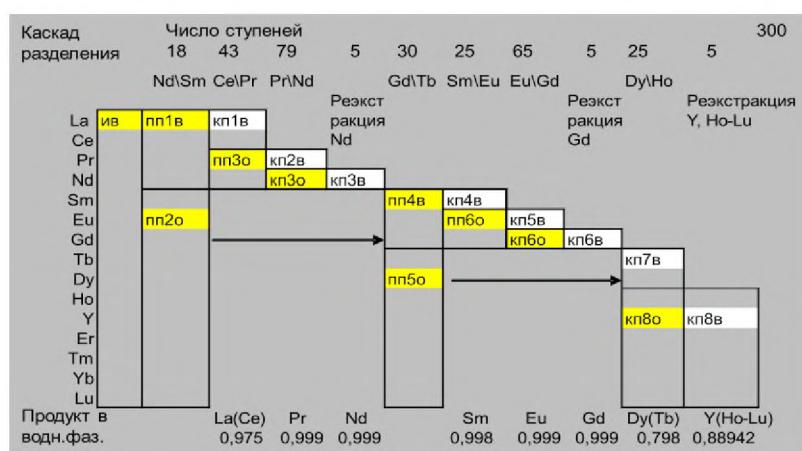
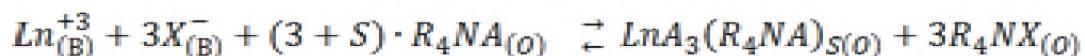
Разработана компьютерная модель процесса, позволяющая моделировать процесс противоточного разделения РЗМ.

Для всех лантаноидов найдены константы равновесия процесса, с учетом полученных данных создана компьютерная динамическая модель противоточного разделения этих металлов, что существенно облегчает задачу выбора условий получения каждого металла.



Разработка математической модели получения индивидуальных оксидов РЗМ высокой чистоты в экстракционных каскадах с бинарными экстрагентами

Разработана компьютерная модель процесса разделения РЗМ с реэкстракцией солей водой 11 для систем с бинарными экстрагентами на основе солей аминов с алкилфосфорными и алкилфосфиновыми кислотами.



ппХв –
промежуточны
е составы
водной фазы,

ппХо –
промежуточны
е составы
органической
фазы,

кпХв –
конечные
растворы
солей
индивидуальн
ых РЗМ в
водной фазе

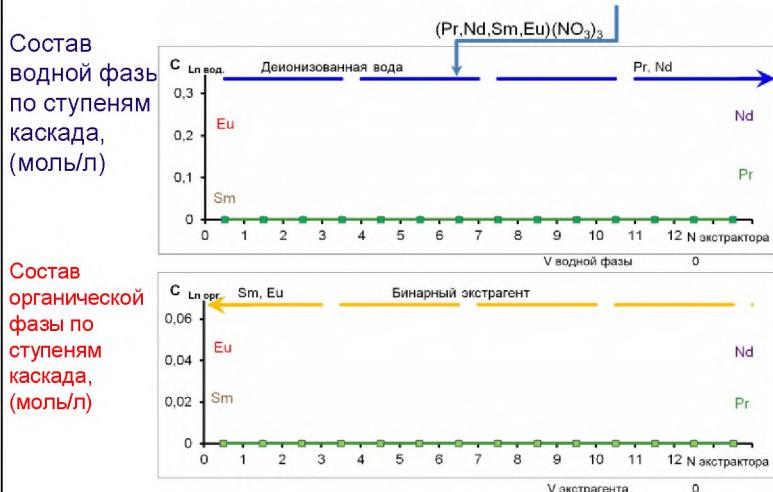


Рациональная схема последовательного экстракционного выделения РЗМ легкой и средней групп с использованием бинарных экстрагентов на основе алкилфосфорных(фосфиновых) кислот, включающая 10 противоточных каскадов, с общим числом 300 экстракционных ступеней.

Разработка математической модели и оценка эффективности получения индивидуальных оксидов РЗМ высокой чистоты в экстракционных каскадах с бинарными экстрагентами

12

Динамика концентрационных профилей элементов по ступеням экстракционного каскада при противоточном разделении РЗМ по линии $\text{Ln}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Nd}$ (водн.) / $\text{Sm}, \text{Eu} \dots \text{Yb}, \text{Lu}$ (орг.) при запуске каскада и выходе его на стационарный режим работы



Динамическая модель позволяет существенно сократить время выбора оптимальных режимов противоточного выделения любого редкоземельного элемента заданной чистоты: выбрать количество ступеней экстракции, промывки и реэкстракции металлов, составы растворов и соотношение потоков фаз.

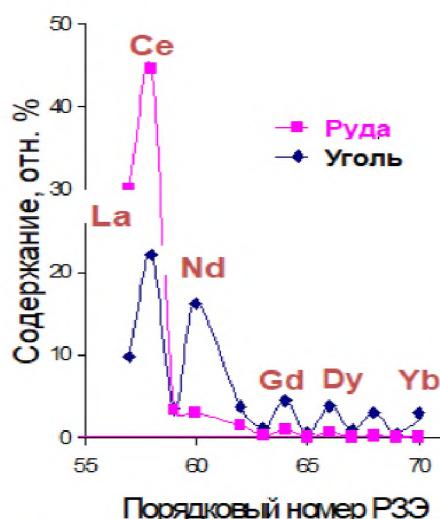
Kalyakin S.N., и др.. Binary extraction of neodymium nitrate using 2-ethylhexylphosphonic acid 2-ethylhexyl mono ester and tri-n-octylamine // JOURNAL OF MOLECULAR LIQUIDS. V.273. P. 45-49. Publ: JAN 2019. Q1.
Kuzmin V.I., Flett D., et al The composition, chemical properties, and processing of the unique niobium-rare earth ores of the Tomtor deposit // CHEMICAL PAPERS. V.73, Is.6. P. 1437-1446. Publ: JUN 2019. Q2.



Металлоносные угли – перспективные источники редких и редкоземельных металлов

13

Содержание РЗЭ и иттрия в углях северных месторождений Якутии и в рудах Чукотконского месторождения



- ✓ Установлены значительные содержания редких и редкоземельных элементов (РЗЭ), **Sc**, **Y** и **Be** в углях **северных месторождений Якутии**. По относительным содержаниям различных РЗЭ угли проявляют аналогию ниобий-редкоземельным рудам Чукотконского месторождения в Красноярском крае как коллекторы наиболее ценной иттриевой группы. На ряде месторождений их суммарное содержание составляет от 0,5 до 2 кг/т.
- ✓ Установлена преимущественно ионообменная форма ассоциации РЗЭ с органической массой углей, РЗЭ и другие элементы сравнительно легко извлекаются путем обработки разбавленным раствором кислоты (степень извлечения для элементов цериевой группы составляет 80-90 %).
- ✓ Разработана комплексная технологическая схема рациональной утилизации этих углей, обеспечивающая извлечение соединений редкоземельных элементов, скандия и иттрия с получением редкometального концентрата и термохимическую переработку органической массы с получением ценных химических продуктов.



Заключение

14

ИХХТ СО РАН предлагает свои разработки в области технологии переработки природного минерального сырья, имеющегося на территории сибирского региона.

- Технологии переработки редкometальных труднообогатимых руд Томторского и Чуктуконского месторождений
- Технологическая схема рациональной утилизации металлоносных углей Якутии – перспективного источника редких и редкоземельных металлов
- Переработка рассолов и сопутствующих вод нефте- и алмазодобычи
 - Экстракционные технологии извлечения бромида кальция из хлоридно-кальциевых рассолов
 - Электрохимическое получение бромидного концентрата
 - Экстракционная технология извлечения лития



Отсутствие опытного производства в г. Красноярске

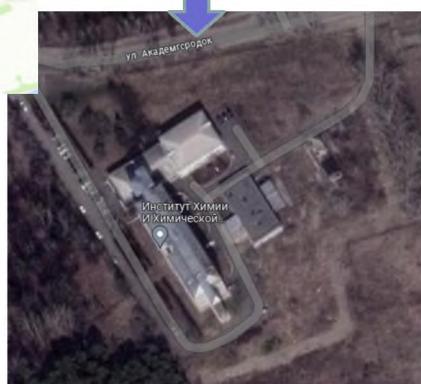
15

Для эффективного освоения богатейших ресурсов природного минерального сырья Восточной Сибири и их рационального использования необходимо создание в г. Красноярске инженерного центра по химии, химической технологии на базе Института химии и химической технологии СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН и Сибирского федерального университета.

Задачи, которые предстоит решать инженерному центру это максимальная интенсификация процесса трансфера новых технологий в производство, повышение эффективности выполнения прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ, организация промышленных испытаний, а также авторский надзор проектов в направлениях разработки передовых технологий извлечения стратегических металлов, в том числе, редкоземельных металлов и лития из природного минерального сырья.



**Институт химии и химической технологии
СО РАН**



**Развитие металлургического комплекса России.
Проблемы сырья, возможные пути решения**

академик РАН Л.И. Леонтьев

Аппарат Президиума РАН

**Развитие металлургического
комплекса России.
Вызовы и решения.**

Академик, д.т.н. Л.И. Леонтьев

Научно-технические проблемы развития металлургии и её сырьевой базы в соответствии со стратегией развития отрасли до 2030 г.

В соответствии с поручением Президента РФ от 28.06.2022 № ПР-1130 и распоряжением Правительства РФ от 28.10.2022 утверждена Стратегия развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 года.

Премьер-министр РФ Михаил Мишустин поручил Минпромторгу подготовить перечень ПРИОРИТЕТНЫХ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЭКТОВ, которые позволят достичь технологического суверенитета в данной области.

В разделе научно-техническое обеспечение развития отрасли сформулированы основные задачи:

- сырьевая обеспеченность;
- совершенствование материально-технической базы;
- снижение экологического и углеродного воздействия на окружающую среду;
- утилизация побочных продуктов, возникающих в процессе производства;
- производство импортозаменяющих материалов и НОВЫХ МЕТАЛЛОВ, отсутствующих на современном рынке;
- повышение энергоэффективности.

2

Научно-технические проблемы развития металлургии и её сырьевой базы в соответствии со стратегией развития отрасли до 2030 г.

Для решения задач предполагается возродить отраслевую науку и возобновить работу координационного Совета по металлургии с участием представителей научно-исследовательских и проектных институтов.

Среди первоочередных задач:

- бесперебойное обеспечение металлургических предприятий сырьём и оборудованием;
- в части марганцевых руд – диверсифицировать импорт, создать новые технологии марганцевых ферросплавов и методы дефосфоризации марганцевых концентратов;
- в части хромовых руд – организовать импортозамещение сырья за счёт месторождений на Полярном Урале и в Пермском крае (Сарановское месторождение);
- в части никелевых руд – необходимо разработать месторождения (Томторское и Зашихинское) с вводом в эксплуатацию в 2026-2028 гг.;
- в части глинозёма – для снижения зависимости от импорта строительство завода в г. Усть-Луге (Ленинградская область) в течение 7 лет;
- в части цинковых руд – освоение Озерского месторождения и строительство цинкового завода в г. Верхний Уренгой;
- в части титановых руд – разработать новые технологии обогащения, обеспечивающие вовлечение в хозяйственный оборот отечественные сложнокомпонентные титаносодержащие руды, добываемые на Российских месторождениях;
- в части литиевых руд – поддержать проекты по добыче руд Завитинского, Толмостундовского, Ковыктинского, Ярактинского, Колмозерского месторождений;
- уделить внимание металлолому.

3

Марганец

Марганец – один из важнейших компонентов сталей, причём как массовых, так и специальных. Марганец обеспечивает высокие потребительские свойства сплавов (высокая прочность наряду с высокой пластичностью и вязкостью, низкий порог хладноломкости, немагнитность, оптимальный коэффициент теплового расширения, высокий уровень диссиpативных свойств, способность к упрочнению и к формированию наноструктурированных композиций на поверхностях трения, обеспечивающих высокие трибологические свойства и низкий коэффициент трения при одновременном повышении износостойкости).

Потребление марганца при выплавке стали полностью определяет ситуацию на рынке марганца. Суммарный расход марганца при выплавке 1 тонны стали составляет около **10,4 кг**.

Содержание марганца в различных видах сталей:

Углеродистые	0,5%
Конструкционные	1,0%
Высокопрочные низколегированные	1,5%
Немагнитные	11%
Нержавеющие (серия 200)	12%
Сталь Гад菲尔да	13%

4

Импорт марганцевого сырья

В 2021 г. Россия импортировала 1394 тыс. т марганцевого концентрата, кроме этого Россия полностью зависит от импортных поставок диоксида марганца, марганца металлического и электролитического, средне- и низкоуглеродистого ферромарганца.

Стоит отметить, что ситуация с производством марганцевых ферросплавов в России изменилась в лучшую сторону. Доля импорта в потреблении ферросиликомарганца за последние 15 лет снизилась с 80-90% до 40%. Доля импорта в потреблении ферромарганца за последние 15 лет снизилась с 40% до 13%. Не изменилась ситуация с металлическим марганцем, весь объём его потребления (свыше 60 тыс. т) покрывается за счёт импортных поставок.

Для снижения зависимости от импортируемых марганцевых руд необходимо решить ряд вопросов в части научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных:

- с обогащением бедных марганцевых руд;
- с разработкой эффективных технологий выплавки марганцевых ферросплавов из концентратов, получаемых после обогащения марганцевых руд;
- с созданием более совершенных методов дефосфорации марганцевых концентратов.

Специалисты ЦНИИчермет им. И.П. Бардина считают, что убыточность планируемых проектов связана с их нацеленностью на получение традиционной многотоннажной товарной продукции (марганцевых ферросплавов), себестоимость которой оказывается дороже, чем при переработке зарубежных богатых концентратов.

3

Производство ферросиликомарганца и металлического марганца в Хакасии

На первом этапе планируется использование концентрата из Южной Африки, Бразилии и Габона с объёмом производства 100 тыс. т Mn металлического и 120 тыс. т FeSiMn.

Строительство предполагается на промплощадке в районе ж/д станции Туйм Ширинского района Республики Хакасия.

На втором этапе возможно использование марганцевых руд Усинского месторождения, что позволит решить проблему импортозамещения марганцевого сырья на территории РФ.

Общий объем инвестиций в новое производство составит около 400 млн. \$.

Количество новых рабочих мест: до 2000.

В настоящее время - согласование концепции и структуры проекта, разработка мер поддержки и источников финансирования. Запланировано строительство с января 2025 г. и запуск промышленного проекта в декабре 2026 г. Возможности Тыннынского месторождения.



Среди отечественных месторождений следует отметить следующие:

- Североуральский кластер (Свердловская область) – Тыннынское, Собянинское, Березовское, Юркинское, Южно-Березовское, Лозьвинское, Ново-Березовское;
- Усинское месторождение (Кемеровская область);
- Порожинское месторождение (Красноярский край);
- Парнокское месторождение (Республика Коми);
- Шунгuleжское и Красное (Иркутская область);
- Имеются также месторождения в Алтайском крае, Архангельской и Оренбургской областях.

При поддержке Научного совета РАН по metallургии и металловедению, Североуральской марганцевой компанией (ООО СУМК) подготовлена расконсервация карьера Тыннынского месторождения, на котором остались запасы руды в количестве около 400 тыс. т, а также запланирована доразведка и последующая разработка всего Североуральского кластера (более 25 млн. т руды).

Североуральский кластер марганцевых месторождений

Кластер расположен в Ивдельском городском округе Свердловской области, в 32 км от г. Ивдель и в 14 км от железнодорожной станции Полуночное.

Ближайшие населенные пункты — рабочие поселки Полуночное и I-й Северный, связанны с месторождением грунтовой дорогой, которая может эксплуатироваться круглогодично и бесперебойно.

Район хорошо освоен, обладает необходимыми кадровыми и техническими ресурсами.

- **Североуральский кластер будет разрабатываться ООО «Североуральская марганцевая компания»**
- **История:** Тынинское месторождение (первое из кластера) было приобретено в 2017 году в рамках государственного аукциона. Срок действия лицензии – до 12.01.2037 года.
- **Запасы и ресурсы:**
 - C1+C2: 27 млн. т. марганцевой руды при среднем содержании Mn - 20%;
- **Текущий статус:**
 - На базе руд Тынинского месторождения была отобрана технологическая пробы и направлена в ВИМС для разработки новых технологий отработки
 - Согласно работе, проведенной ВИМС, технология работает и имеет выгодные технические показатели
 - В настоящий момент подготовлено ТЭО освоения кластера

Xром

Основной сферой потребления хромовых руд является чёрная металлургия, где их используют для выплавки феррохрома. Феррохром, в свою очередь, является легирующей добавкой при выплавке нержавеющих сталей. Хром обладает высокими антикоррозионными свойствами и в качестве легирующего элемента входит в большое число марок сталей и сплавов. **Содержание хрома в сталях в зависимости от назначения в предъявляемых к ним требованиях изменяется от десятых долей процента до 30...40 %.**

В настоящее время в России выплавляют феррохром различных марок (300-400 тыс. т), ферросиликохром товарный (\approx 70 тыс. т) и передельный. В виду небольших мощностей по производству нержавеющей стали, существенная доля выпускаемого феррохрома поступает на экспорт.

Хромовые руды

В настоящее время около 44% потребляемых в России хромовых концентратов поступает по импорту на заводы, производящие хром металлический, хромовые ферросплавы и соединение хрома (Ключевский завод ферросплавов, Новотроицкий завод хромовых соединений, Полема, Тихвинский ферросплавный завод, Русский хром).

Отечественные богатые руды (38-39% Cr₂O₃) месторождений Центральное и Главное Сарановское добываются и потребляются Урало-Сибирской металлургической компанией (ЧЭМК, Серовский завод ферросплавов) для выплавки феррохрома. Доля хрома этих месторождений в запасах России составляет всего 11%.

Между тем наибольшую долю (около 70%) в запасах хромовых руд России составляют руды Аганозёрского и Сопчеозёрского месторождений, но содержание хрома в них ниже (23-26% Cr₂O₃).

Нержавеющая сталь (прокат и трубы)

Хромовые ферросплавы в основном потребляются при выплавке нержавеющих сталей.

Основными конечными потребителями нержавеющей стали в России, по оценке ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, являются машиностроительный комплекс (65% от общего объема потребления), нефтехимический комплекс (10%), топливно-энергетический комплекс (9%), строительство (8%) и сельское хозяйство (3%). На прочие отрасли приходится 5% потребления.

За последние десять лет доля импорта в объеме потребления проката из нержавеющей стали составляла 55-72%, для труб из нержавеющей стали эта цифра колебалась в пределах 46-70%. Так, в 2021 г из 534 тыс. т потребляемого готового проката 423 тыс. т поставлено по импорту, а из 104 тыс. т труб по импорту поставлено 39 тыс. т.

11

Начало строительства завода «Русской нержавеющей компании»



30 марта 2023 г. в г. Волжский Волгоградской области установили первую колонну в основание будущего комплекса по производству плоского нержавеющего проката, совместного предприятия компаний ТМК и ЧЭМК.

Мощность предприятия составит до 500 тысяч тонн плоского нержавеющего проката в год.

Строительство цеха холодной прокатки планируется в период с 2023 по 2025 год, а цехов горячей прокатки и электросталеплавильного - в период с 2024 по 2026 год.

12

Создание комплекса по производству ферросплавов и редкометалльной продукции на базе энергетических возможностей Кольской АЭС



В Мурманской области сложилась тупиковая ситуация по реализации электроэнергии. Кольская АЭС в настоящее время обеспечивает потребление электроэнергией только населенных пунктов и АО «Кольская ГМК». В то же время в регионе есть уникальные месторождения полезных ископаемых, организация переработки которых может обеспечить устойчивый рост потребления электроэнергии в крупных масштабах и производство высоколиквидной продукции, что обеспечит устойчивое развитие региона (товарооборот, налоговые отчисления, рабочие места).

13

Создание комплекса по производству ферросплавов и редкометалльной продукции на базе энергетических возможностей Кольской АЭС

Предлагается:

На I этапе строительство на базе Сопчезерского месторождения ферросплавного цеха на базе существующего плавильного цеха Оленегорского механического завода:

- переработка сырья – 550 тыс. т. руды в год;
- товарная продукция – 49 тыс. т хромового концентрата, 39,0 тыс. т. среднеуглеродистого феррохрома и 50,0 тыс. т. нержавеющей стали в год;
- годовое потребление электроэнергии – 350 млн. кВт·ч.

На II этапе после детальной технико-экономической и технологической проработки организация переработки руд редких металлов, в т.ч. с получением товарной титановой продукции (пигментный диоксид титана, титановый шлак, титановая губка).



14

Ниобий

Ниобий в виде феррониobia (содержит 50-65% Nb) применяется для производства жаропрочных сталей в авиации, нержавеющих низколегированных сталей в машиностроении, судостроении, трубной промышленности (составляет около 85% мирового потребления, 93% в России).

Вид стали	марка	Содержание Nb, %
Трубы большого диаметра	X 80	0,05
Стали для судостроения	EH 36 normalized	0,03
Конструкционные стали	S 355 MC	0,025
Автомобильные полосы	S 500 MC	0,04
Автомобильный лист	H 340 LA	0,04
Жаростойкие стали	1.4509	0,60

Серьёзной проблемой является практически полная зависимость отечественной чёрной металлургии от импортных поставок феррониobia (в среднем 98,5% от объёма потребления).

15

Проекты по получению ниobia

Месторождение	Компания	Объём производства, т	Планируемая дата запуска
Томторское	ООО «Восток Инжиниринг»	10 000 FeNb	2028
Зашихинское	ЗАО «Техноинвест Альянс»	99,8 % Nb2O5 – 2099; 99,99 % Nb2O5 – 109	2025
Умбозеро (Ловозёрский ГОК)	АО «Атомредметзолото»	1700 Nb2O5	2027
Африканда	АО «Аркминерал-Ресурс»	1300 Nb2O5	2025
Татарское	ООО "Русская ниобиевая компания"	?	?

16

Альтернатива ниобию

В некоторых случаях возможна замена ниобия на молибден, tantal, титан, вольфрам, и ванадий, но такая замена может приводить к снижению служебных характеристик стали и/или увеличению издержек.

Марка стали	Применение	Содержание Nb, %	Содержание V, %
K60	Трубы большого диаметра	0,045	0,030
API X70, X80, X100		0,08-0,10	0,25
09Г2ФБ		0,031	0,050
15Г2СБФ ПП		0,04	0,07
12ГСМФБ ПП		0,05	0,12

17

Титан

В титановой подотрасли в мировой практике основным является производство пигментного диоксида титана, на который расходуется около 90 – 95 % исходного титанового сырья и лишь около 5 % идет на производство металлического титана и соединений. Диоксид титана используется в лакокрасочной промышленности, производстве пластмасс, бумаги, искусственных волокон, резины, катализаторов. Авиационной промышленностью потребляется около 65 % металлургического титана и изделий из него.

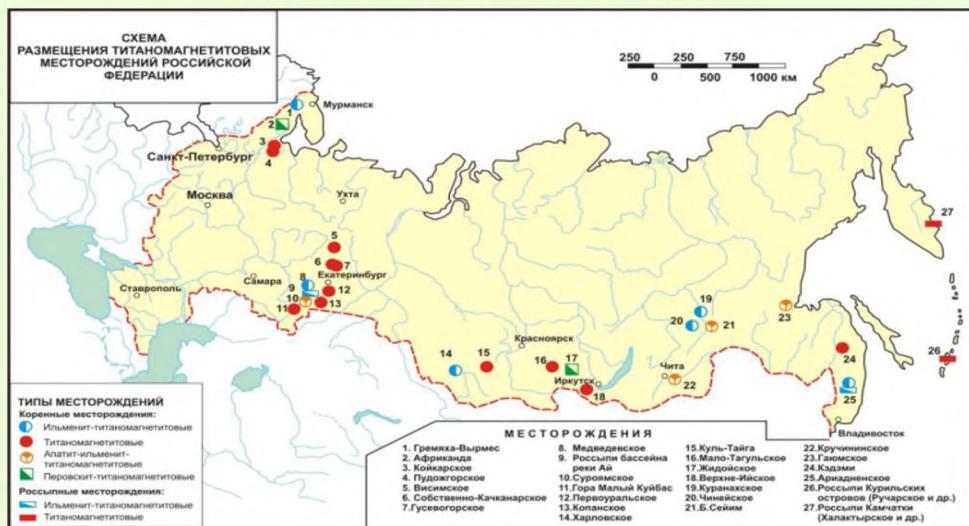
В России сложилась ситуация, при которой обладая большими запасами титана, она закрывает значительную (97,4%) часть своих потребностей за счет импортного сырья.

Длительно действующим источником титанового сырья в России является Ловозёрское месторождение, при переработке руды которого получают лопаритовый концентрат. Из этого концентрата на Соликамском магниевом заводе ежегодно получают около 2,2 тыс. т губчатого титана.

Металлический титан производился ВМПО-АВИСМА в основном из зарубежного сырья (Украина, Индия, Австралия и другие страны).

18

Месторождения титановых руд



19

Характеристика месторождений Ti-содержащих руд

На сегодняшний день на государственном балансе России числятся 22 месторождения титана, из которых 13 коренных и 9 россыпных.

Балансовые запасы месторождений титановых руд

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Руда, тыс. т	Запасы TiO_2 , тыс. т A+B+C1+C2	Содержание, %		
				TiO_2	Fe	V_2O_5
Куранахское (Амурская обл.)	Ильменит-магнетит-апатитовый	22 400	2 100	9,30	27,9	0,30
Чинейское (Читинская обл.)	Титаномагнетитовый	921 446	59 894	6,50	33,5	0,55
Кручининское (Читинская обл.)	Апатит-ильменит-титаномагнетитовый	595 464	50 019	8,40	15-18	-
Африканское (Мурманская обл.)	Перовскит-титаномагнетитовый	626 200	52 200	9,20	15,6	некиз.
Медведевское (Челябинская обл.)	Ильменит-титаномагнетитовый	427 270	30 208	7,07	14,8	-
Пудожское (Карелия)	Золото-платинометаллический-титаномагнетитовый	316 700	25 653	8,10	28,9	0,43
Яргское (Коми)	Лейкоксен-кварцевые нефтеносные песчаники	2 669 099	278 654	10,44	-	-
Копанское (Челябинская обл.)	Ильменит-титаномагнетитовый	2 592 302	159 426	6,15	22,04	0,27

Минимальное содержание в рудах TiO_2 , %:

Новая Зеландия – 4,3; ЮАР – 12-14; Китай – богатые 10-11, бедные 6-7.

20

Структура запасов титана России по промышленным типам руд (Быховский и др., 2001).

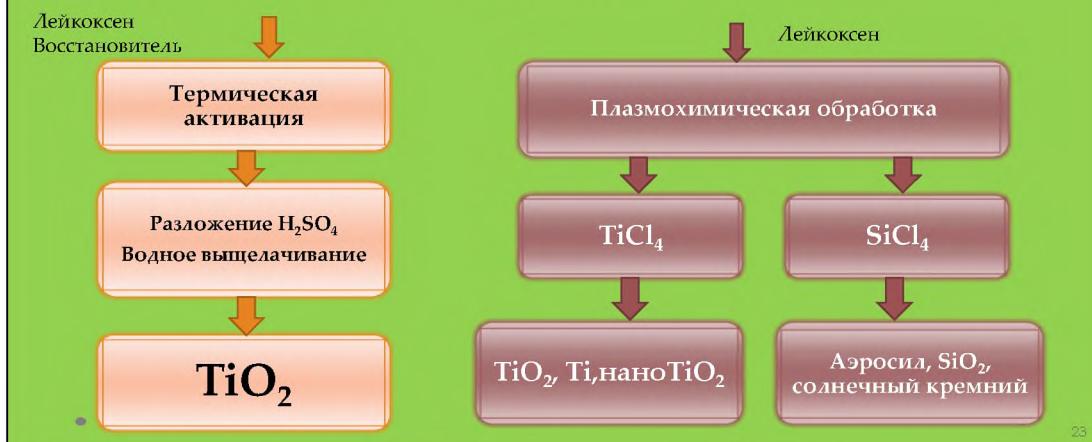
Промышленные типы руд, месторождения	Субъект РФ	Содержание TiO_2		Запасы TiO_2 , % от общих запасов)		
		в руде, %	в песках, кг/м ³	A+B+C ₁	C ₂	
Балансовые запасы						
Коренные титановые руды						
Лейкоксен-кварцевые нефтеносные песчаники; Яргское	Республика Коми	10,4		39,9	66,9	
Ильменитовые песчаники; Тулунское	Иркутская область	3,3		1,2	1,2	
Ильменит-титаномагнетитовые руды						
Медведевское	Челябинская область	7,0		12,4	2,9	
Кручининское	Читинская область	8,4		14,8	8,0	
Куранахское	Амурская область	14,12		0,2	0,1	
Титаномагнетитовые руды						
Подлысанская группа	Красноярский край	11,4		2,7	-	
Чинейское	Читинская область	6,5		18,1	9,4	
Лопаритовые руды						
Ловозерское	Мурманская область	1,3		2,0	1,6	
Апатит-нефелиновые руды с титаномагнетитом и сфеном						
Южспор, Кукисумчорр, Портромчорр	Мурманская область	1,0		6,1	9,6	
Россыпи циркон-рутile-ильменитовые						
Туганское	Томская область		19,71	1,5	-	
Гарское	Омская область		18,13	0,1	-	
Георгиевское	Томская область		17,10	0,4	0,27	
Лукояновское	Нижегородская область		32,06	0,6	0,03	
Итого балансовые запасы				100	100	

Забалансовые запасы

Коренные титановые руды

Рутиловые эклогиты: Шубинское	Оренбургская область	2,48			1,33
Титаномагнетитовые руды					
Копанское	Челябинская область	7,62			26,05
Россыпи					
Циркон-рутile-ильменитовая россыпь: Центральное Николаевское	Тамбовская область		22,70		66,94
Ильменитовая россыпь: Николаевское	Кемеровская область		19,16		2,43
Ильменит-титано-магнетитовая россыпь: Бассейн р.Ай	Челябинская область		13,18		3,25
Итого забалансовые запасы				100	

За время изучения Яргского месторождения доказана универсальность яргских кремнисто-титановых концентратов, которые могут быть использованы для производства пигментного диоксида титана и цветных титановых пигментов по сульфатной и хлоридной технологиям.



23



24



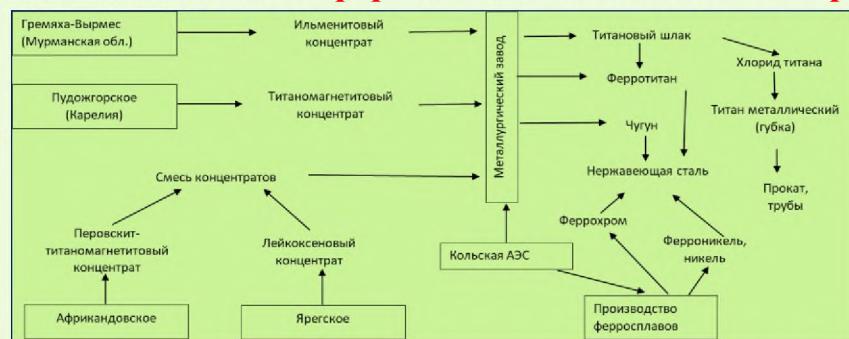
25

Характеристика Африканского месторождения

- Африканское месторождение первоскито-титаномагнетитовых руд находится на Кольском полуострове (Мурманская область) в 1,5 км от ст. Африканда.
- Общие запасы руд составляют 626 200 тыс. т, в том числе по категориям:
 - В – 38 200 тыс. т (4 200 тыс. т TiO₂),
 - С₁ – 152 400 тыс. т (13 400 тыс. т TiO₂),
 - С₂ – 435 500 тыс. т (34 600 тыс. т TiO₂).
- Общее количество TiO₂ в месторождении – 52 200 тыс. т. Среднее содержание диоксида титана в рудах составляет 9,2 %.

26

Предлагаемая схема переработки титановых концентратов



Одним из вариантов развития титановой отрасли является создания металлургического производства на базе энергетических мощностей Колской АЭС. Реализация совместной плавки лейкоксенового и первоскит-титаномагнетитового концентратов позволит снизить радиоактивность концентрата до безопасного уровня; получить продукцию глубокой степени переработки (в т.ч. проката нержавеющей стали, пигментного диоксида титана, изделий из титана, оксиды и соли редких металлов); снизить риски импортозависимости сырья; уменьшить на 7,5% себестоимость пигментного диоксида титана, в связи с отсутствием в лейкоксеновых концентратах железа и, соответственно, уменьшением расхода серной кислоты на вскрытие.

Североонежское месторождение бокситов – ключ к ликвидации зависимости алюминиевой промышленности РФ от импорта глинозёма

В России четыре завода производят менее 3 млн. т. глинозёма в год. Дефицит сырья для полной загрузки имеющихся в ОК Рusal электролизных мощностей составляет более 60% и восполняется за счёт импорта. Заместить импорт глинозёма в РФ в ближайшее время невозможно по причине отсутствия соответствующих промышленных мощностей.

Обеспечить независимость России в области алюминийсодержащего сырья возможно путем создания металлургического комплекса по переработке Североонежских бокситов.

В свое время, в институте МЕХАНОБР была скомпонована и опробована комбинированная технологическая схема термохимического обогащения маложелезистого высококремнистого боксита, основанная на методе весового определения рационального состава каолиновых глин. Схема представляла собой комбинацию элементов кислотного способа получения глинозема из алюмосиликатов и щелочной перечистки чернового глинозема с предварительной термической активацией исходной руды.

Лабораторные исследования показали, что последовательное извлечение глинозема из каолиновой составляющей боксита, части железа, РЗЭ, скандия и прочих кислоторастворимых и амфотерных элементов малых примесей, с последующим карбонатным обескремниванием сиштофа, позволяет получить концентрат с содержанием 75-80% глинозема и кремниевым модулем более 40 единиц.

25

Скандий - металл XXI века

На основе многочисленных работ (УралВАМИ, ИМЕТ УрО РАН, МЕХАНОБР, УралМЕХАНОБР, МИСиС, ИХТТ УрО РАН, ФизТех УрФУ, РУСАЛ и пр.), в целях обеспечения рыночной доступности соединений скандия, специалистами **Североуральской марганцевой компании** предложена новая концепция создания высокоеффективного горно-металлургического производства, основанная на вовлечении в комплексную переработку красного шлама Богословского алюминиевого завода, содержащего до 150 г/т Sc.

Предлагаемая к внедрению технология предусматривает полностью безотходный способ переработки промышленных отходов. По предварительным расчетам, вовлечение в переработку 1 млн. т красного шлама (годовой сброс 1 глиноземного завода) позволит получить (с учетом использования имеющегося в избыточном количестве невостребованного местного сырья в виде отвалов горного производства):

- более 4 500 000 т цемента, в том числе высокомарочного;
- более 400 000 т железного концентратата;
- более 100 000 т бентонита;
- до 150 000 т глауконита;
- до 5 000 тонн концентратата редкоземельных элементов;
- более 30 000 тонн титан-циркониевого концентратата;
- до 30 000 т природных пигментов;
- до 120 тонн скандия (в пересчете на оксид);
- вернуть в производство около 200 000 т боксита «байеровского» и «спекательного»

Отходы производства



В России накопилось свыше 10 млрд т техногенных образований, почти 80 % которых сконцентрировано на предприятиях горно-металлургического комплекса. Образующиеся в процессах металлургического и гидрометаллургического производства шлаки, шламы и золы накапливаются в отвалах и шламохранилищах, которые занимают городские и сельскохозяйственные земли и создают серьезную экологическую нагрузку.

30

Возможные продукты переработки отходов производства

Тип отходов	Химический состав	Продукты переработки
Красные шламы	8,85 SiO ₂ ; 11,03 Al ₂ O ₃ ; 37,83 Fe ₂ O ₃ ; 22,03 CaO; 1,02 MgO; 0,14 S; 0,53 P ₂ O ₅ ; 3,63 TiO ₂ ; 0,40 Na ₂ O; 0,11 K ₂ O	Чугун, глинозёмистый цемент, РЗМ
Пыль с газоочистки	1,77 C; 48,6 Fe; 1,93 Zn; 12,6 Ca; 0,59 Mg; 1,47 SiO ₂	Цинковый концентрат, чугун
Отработанные автомобильные катализаторы	40,0 Al ₂ O ₃ ; 29,9 SiO ₂ ; 7,0 MgO; 4,45 Fe ₂ O ₃ ; 4,0 CeO ₂ ; 0,65 CaO; 1,06 Cr ₂ O ₃ ; 0,21 NiO; 0,51 La ₂ O ₃ ; 0,12 Pt; 0,18 Pd; 0,05 Rh	Лигатуры с РЗМ, драгметаллы
Ванадиевый шлам	24,1 FeO; 12,6 CaO; 14,7 S; 6,2 TiO ₂ ; 5,5 SiO ₂ ; 4,3 MnO; 3,6 V ₂ O ₅ ; 2,8 Cr ₂ O ₃ ; 2,2 MgO; 1,9 Al ₂ O ₃	Стальная заготовка, чугун, феррованадий, лигатура
Замасленная окалина	73,3 Fe; 1,2 SiO ₂ ; 11,2 CaO; 0,5 MgO; 0,4 Al ₂ O ₃	Fe-концентрат, масло
Зола ТЭС	51,66 SiO ₂ ; 19,54 Al ₂ O ₃ ; 6,99 Fe ₂ O ₃ ; 3,00 CaO; 0,81 MgO; 0,54 K ₂ O; 0,12 Na ₂ O.	Строительные материалы, ферросплавы

Принимая во внимание решения руководства страны по активизации программы импортозамещения, развитию новых технологий и созданию новых материалов, необходимо в кратчайшие сроки приступить к организации промышленного производства высокоазотистых сталей, которые значительно превосходят существующие конвенциональные аналоги по прочности, вязкости, немагнитности, холодостойкости, коррозионной стойкости, радиационной стойкости и по ряду других параметров.

Согласно резолютивной части Протокола Минпромторга РФ № 63-ЕВ/17 от 25 ноября 2021 года, оказать ООО «Пульсар», владеющему технологиями промышленного производства высокоазотистых сталей, максимальное содействие в реализации проекта на одном из профильных металлургических предприятий РФ, ориентированном на производство специальных сталей, используемых в ОПК, энергетике, в том числе ядерной, машиностроении, в нефте и газодобывающей отраслях.

Приложение 22.

**ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ ВТН
«ТЕХНОЛОГИИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ВЕЩЕСТВ»**

Научный руководитель ПН НТР «Материалы и технологии» А. В. Дуб

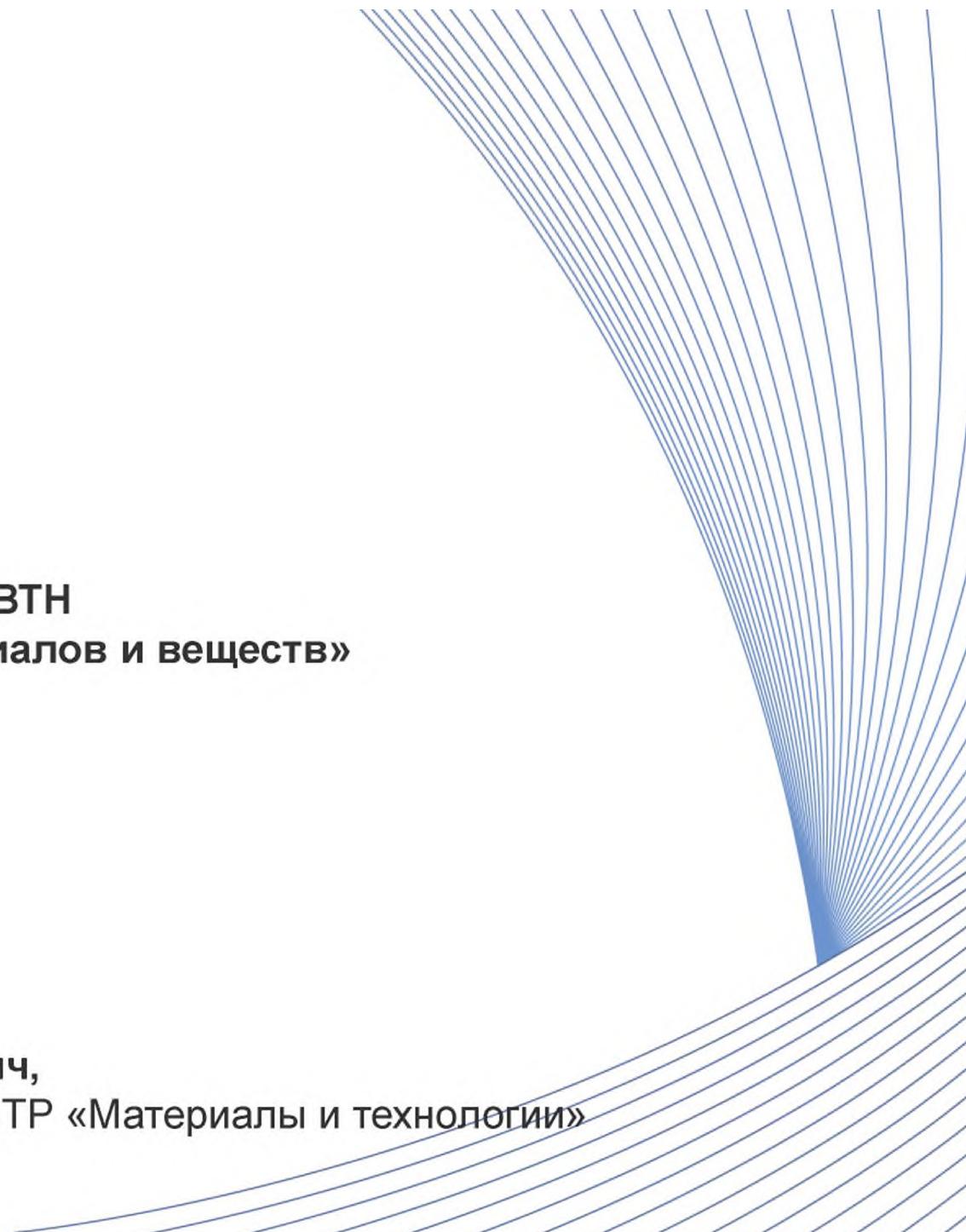
Госкорпорации «Росатом»



РОСАТОМ

**Дорожная карта развития ВТН
«Технологии новых материалов и веществ»**

Дуб Алексей Владимирович,
Научный руководитель ПН НТР «Материалы и технологии»
Госкорпорации «Росатом»



I. Соглашение в целях развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»



Соглашение о намерениях от 16.01.2023 между Правительством Российской Федерации и Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ».

Цель Соглашения: достижение Российской Федерацией позиции одного из лидеров на глобальных технологических рынках в высокотехнологичном направлении «Технологии новых материалов и веществ»

Механизм реализации Соглашения:



Разработка и реализация дорожной карты развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»*

Периметр дорожной карты:

- Полимерные композиционные материалы;
- Аддитивные технологии;
- Редкие и редкоземельные металлы.
- Цифровое материаловедение и перспективные материалы**

* - утверждена 19.12.2022

** - соглашение о намерениях от 08.11.2023 между Правительством РФ и центрами компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана и «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

Целевые показатели:



- Количество зарегистрированных РИД;
- Объем выручки от реализации продукции/сервисов;
- Доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец;
- Доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности
- Доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно-промышленное производство и сертификация

Новое типовое Соглашение и структура Дорожной карты

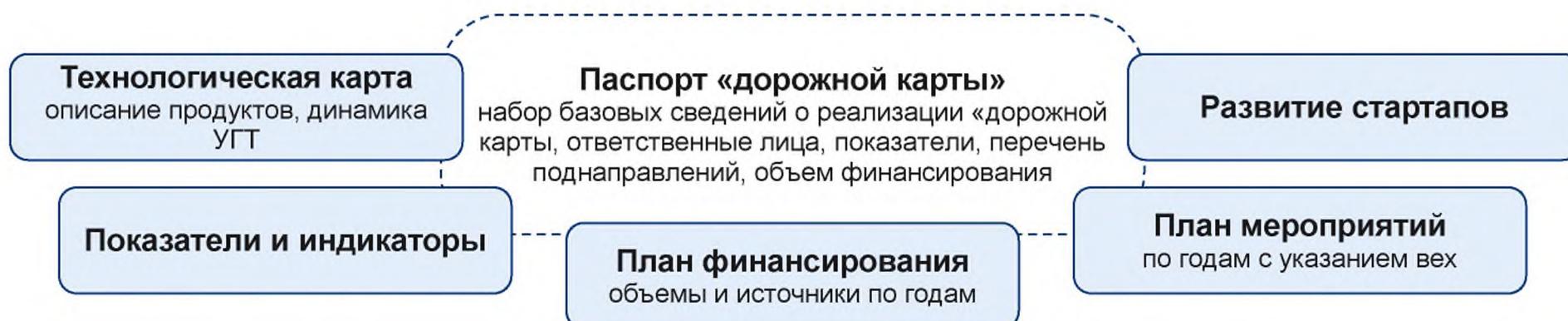


Принципы актуализированных Соглашений:

«Открытый формат» Соглашения дает возможность реализации «дорожной карты» неограниченному количеству компаний

Фиксация обязательств по паритету финансирования бюджет и внебюджет

«Дорожные карты» - инструмент реализации соглашений



Компании-лидеры – организации, подписавшие Соглашения. Любая организация, подписавшая Соглашение становится компанией-лидером.

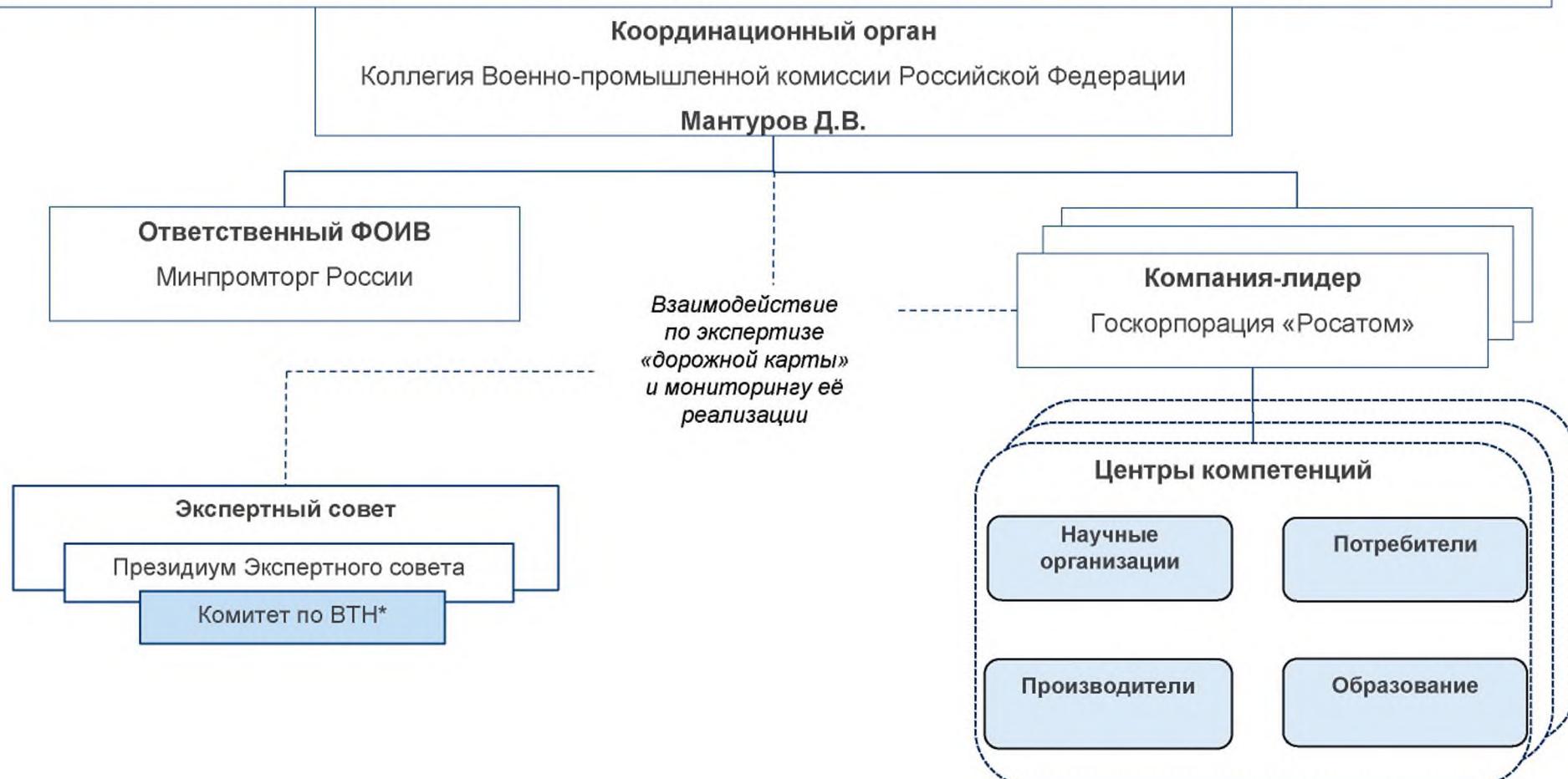
Участники реализации «Дорожной карты» - любые организации, реализующие Соглашения в рамках мероприятий «дорожной карты»

Система управления реализацией Соглашения



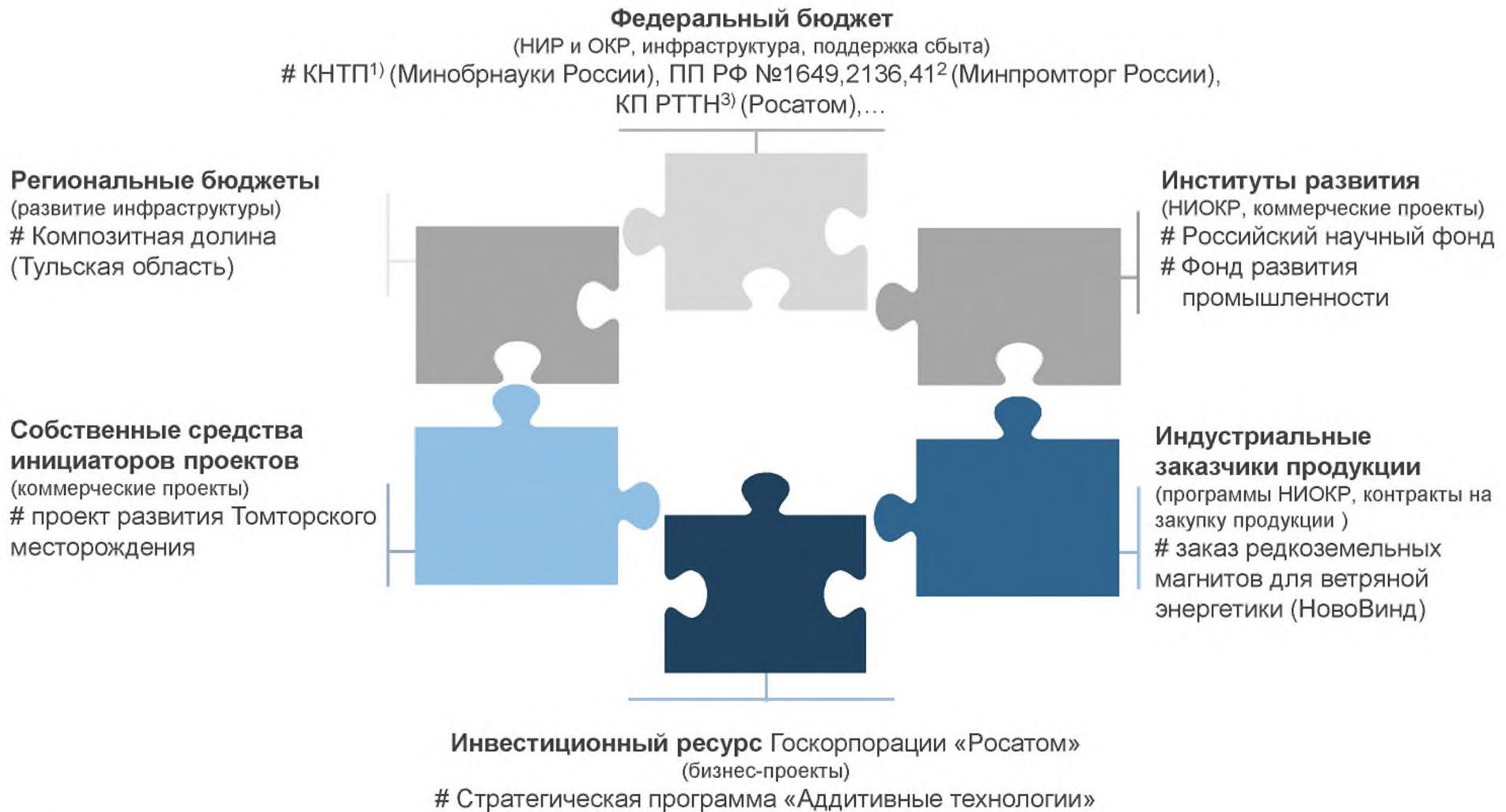
Куратор высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ»

Заместитель Председателя Правительства - Министр промышленности и торговли Российской Федерации Мантуров Д.В.



* - ВТН – высокотехнологичное направление

Источники финансирования Дорожной карты



1. КНТП – комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла

2. Механизмы субсидирования

3. РТТН – комплексная программа «Развитие техники, технологий и научных исследований в области атомной энергии»

ВТН «Технологии новых материалов и веществ» (Минпромторг России)



КОМПАНИИ – ЛИДЕРЫ

По распоряжению Правительства РФ от 31 декабря 2022 г. № 4403-р:

- Госкорпорация «Росатом»
- Центр компетенций НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» на базе МГТУ им. Н.Э. Баумана
- Центр компетенций НТИ «Моделирование и разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами» на базе НГУ

КОМПАНИИ – УЧАСТНИКИ

- Организации Госкорпорации «Росатом», ООО «ИТЕКМА», ООО «НПВ «РЕКОН», НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ, МГУ им. М.В. Ломоносова, МАИ, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ФГАОУ ВО «СПбПУ», НИТУ «МИСиС», ООО «Эмзиор», МГТУ им. Баумана, АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», АО «ОСК», ПАО «Газпром», ООО «Скайград Инновации», АО «УХК «Уралхим», ПАО «Норильский никель» и др.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Разработка и производство современных конструкционных и функциональных материалов, а также изделий на их основе, являющихся основой для передовых технологических решений

ПОДНАПРАВЛЕНИЯ:

- Полимерные композиционные материалы
- Аддитивные технологии
- Редкие и редкоземельные металлы
- Перспективные материалы и цифровое материаловедение

ОБРАЗ РЕЗУЛЬТАТА К 2030 ГОДУ

Потребности российской промышленности в современных материалах (полимерные композиты, РМ и РЗМ, материалы для аддитивных технологий) и технологиях цифрового материаловедения будут обеспечены за счет отечественных разработок (технологический суверенитет)

ПРОДУКТОВАЯ ЛИНЕЙКА

97 ПРОДУКТОВ, ВКЛЮЧАЯ:

- ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Полимерные композиционные материалы» –

19 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:

- ПАН-прекурсор, УВ, ПКМ на его основе
- Среднемодульное УВ (5,5 ГПа)
- Аппретирующие составы
- Эпоксидный биндер
- Изделия ПКМ для авиакосмической промышленности

2. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Аддитивные технологии» – 40

ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:

- Трехосевой сканатор с возможностью подключения систем контроля
- Серийный SLM 3D-принтер (3Д принтер СЛМ с камерой построения 300x300 и дальнейшие модификации, 3Д принтер СЛМ с камерой построения 600x600 и дальнейшие модификации)
- Серийный DMD 3D-принтер
- Комплекс ПО «Виртуальный 3D-принтер. 2.0»
- Порошки для 3D-печати из сплавов на основе никеля, кобальта, железа, титана, молибдена и алюминия
- 3D-принтер по технологии EBAM

3. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Редкие и редкоземельные металлы» – 10 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:

- Коллективные концентраты редкоземельных металлов.
- Оксиды редких и редкоземельных металлов
- Перспективные химические соединения редких и редкоземельных металлов
- Высокоэнергетические постоянные редкоземельные магниты системы неодим-железо-бор (Nd-Fe-B)
- Лигатуры, сплавы с содержанием редких и редкоземельных металлов
- Автокатализаторы
- Литиевая продукция

4. ПО ПОДНАПРАВЛЕНИЮ «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» – 28 ПРОДУКТОВ, В Т.Ч.:

- Единая цифровая технологическая платформа инженерного программного обеспечения «Цифровое материаловедение»
- Новые функционально-ориентированные 2D и 3D композиты
- Новые конструкционные термопластичные материалы
- Керамические стержни сложной геометрии для литья лопаток ГТД
- Аморфные металлические сплавы

Статус реализации Дорожной карты 2020-2023



1	2	3	4
<p>Экосреда</p> <ul style="list-style-type: none">Открыт Центр аддитивных технологий на базе АО «ОКБМ Африкантов»;Создан Центр аддитивных технологий с производственным участком по выпуску 3-D принтеров в г. Новоуральск.В Президентском лицее «Сириус» открыт центр компетенций «Сириус. Технологии композитов» и научно-образовательная лаборатория АТ;Ассоциацией развития аддитивных технологий проведен V юбилейный Лидер-Форум в г.Казань	<p>Механизмы господдержки</p> <ul style="list-style-type: none">Утверждена новая Методика Минприроды России по расчету стартового разового платежа за пользование недрами;Разработаны отдельные коды ОКВЭД и ОКПД для аддитивного оборудования;Утверждена Стратегия развития аддитивных технологий;Подписан ФЗ, допускающий размещение РАО производств РМ в хранилище ПАО ППГХО»;Внесены изменения в ПП РФ № 719 от 17.07.2015 в части локализации РЗМ-магнитов.	<p>Создание производств</p> <ul style="list-style-type: none">Веден в эксплуатацию новый завод по производству ПАН-прекурсора мощностью до 5 000 тонн в год;Получена лицензия на освоение литиевого месторождения в России (Колмозерское);Введена в эксплуатацию I очередь горно-обогатительного комбината АО«Туганский ГОК «Ильменит»;Введена ОПУ по получению гидроксида лития на площадке АО «АЭХК»;Заключено Соглашение о строительстве промышленного комплекса по добыче и производству карбоната лития в Боливии	<p>Исследования и разработки</p> <ul style="list-style-type: none">Разработана технология производства сырья нового поколения (ПАН) для получения углеродных волокон различных номиналов;Утверждена КНТП* ПКМ;Разработана и одобрена КНТП* АТ;Разработано аддитивное SLM-оборудование среднегабаритного класса (полнofункциональный образец (RM310M)).Заключено Соглашение на право использования российской технологии прямого извлечения лития из рассолов;Выполнен расчет математической модели проточного реактора

* КНТП - Комплексная научно-техническая программа полного инновационного цикла

**1. ВТН «Технологии новых материалов и веществ»
поднаправление «Полимерные композиционные материалы»**



КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 01.12.2023	Ед. изм.	Знач.	РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	Ожидаемы е
Правительством Российской Федерации 4 июля 2023 г. утверждена КНТП «Новые композиционные материалы»	шт.	1	Утверждена концепция реализации проекта по созданию производства углеродного волокна на основе российского оборудования мощностью до 500 тонн в год	шт.	1
Заключены грантовые договоры с Минобрнауки РФ на выделение субсидий на разработку технологий в рамках КНТП	шт.	5	Изготовлен прототип, включая автоматизацию (КИП и АСУ ТП). Проведены испытания и пуско-наладка проточных реакторов	шт.	1
Выполнен расчет математической модели проточного реактора, включая параметры работоспособности	шт.	1			

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ	Ед. изм.	2024	2025
Разработан паспорт на материал, с учетом квалификации препрегов для панелей пола в рамках проекта «Организация производства комплекса композитных материалов для авиации»	шт.	1	
Введена в эксплуатацию новая линия по производству препрегов	шт.	1	
Построен технопарк научно-исследовательского кластера ИНТЦ "Композитная долина" общей площадью 10 000 кв.м.	шт.	1	

Матрица продуктов

под направления «Полимерные композиционные материалы»



	НИОКР (продукт)	СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ (продуктов)
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУБЕРЕНТИТ	<p>Технологии производства ПАН нового поколения для получения УВ различных номиналов для ОПК</p> <p>Технологии производства среднемодульного УВ (5,5 ГПа) для различных отраслей промышленности</p> <p>Техпроцесс производства изделий из ПКМ</p> <p>Технологии получения плёнкообразователей, аппретов и замасливающих композиций</p>	<p>УВ на основе российского ПАН-прекурсора, полимерные композиционные материалы (ПКМ)</p> <p>Среднемодульное УВ (5,5 ГПа)</p> <p>Негорючие термореактивные связующие, цианатэфирные связующие</p> <p>Аппретирующие составы</p>
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ	<p>Технология изготовления эпоксидного биндера</p> <p>Технологии синтеза ключевых химических компонентов для ПКМ авиакосмического назначения</p> <p>Технология создания ПКМ для применения в строительстве (защита оснований и фундаментов сооружений)</p> <p>Технологии изготовления препрега и высокотемпературного углепластика</p> <p>Технологии создания ПКМ для авиакосмической промышленности</p>	<p>Эпоксидный биндер</p> <p>Химические компоненты для ПКМ</p> <p>Композитный шпунт повышенной герметичности</p> <p>Высокотемпературный углепластик</p> <p>Негорючие термореактивные связующие, суперконструкционные термопласти, тоупреги</p>

Целевые показатели

поднаправления «Полимерные композиционные материалы»



№ п/п	Наименование целевого показателя	Единицы измерения	Период реализации					
			2021 год, базовое значение	2022	2023	2024	2025	2030
1.	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления (накопленный итогом)	единицы	7	10	12	27	42	60
2.	Доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец (накопленным итогом)	проценты	13	15	46	78	93	100
3.	Доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности (накопленным итогом)	проценты	10	20	27	63	94	100
4.	Доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно-промышленное производство (накопленным итогом)	проценты	0	3	3	10	45	100
5.	Объем выручки, полученный технологическими компаниями в рамках развития высокотехнологичного направления	млрд руб.	5,6	6,6	6,9	7,4	8,0	15,5

2. ВТН «Технологии новых материалов и веществ» поднаправление «Аддитивные технологии»



КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 01.12.2023	Ед. изм.	Знач.	РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	Ожидаемы е
Открыт Центр аддитивных технологий с промышленными 3D-принтерами	шт.	1	Разработана технология аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики	шт.	1
Разработано аддитивное SLM-оборудование среднегабаритного класса (полнofункциональный образец (RM310M)).	шт.	1	Разработано и изготовлено оборудование аддитивного производства сложнопрофильных и крупногабаритных изделий атомной энергетики	шт.	1
			Разработана программа и методика испытаний на опытный образец серийной установки DMD	шт.	1
			Разработана конструкторская документация с литерой «О1» аддитивного оборудования (технология SLM (среднегабаритный))	шт.	1

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: Отсутствие в необходимом объеме бюджетных ассигнований федерального бюджета на реализацию КНТП «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы», отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ	Ед. изм.	2024	2025
Создано производство аддитивного оборудования (11шт/год 3-D принтеров SLM)	шт.	1	
Создано производство материалов для аддитивного производства (20 тонн/год порошков титановых сплавов)	шт.	1	
Разработан опытный образец продуктовой линейки аддитивного оборудования (технология SLM (крупногабаритный) и DMD)	шт.	2	
Разработана конструкторская документация с литерой «О1» продуктовой линейки аддитивного оборудования (технология SLM (крупногабаритный) и DMD)	шт.		2

Матрица продуктов/сервисов под направления «Аддитивные технологии»



	НИОКР (продукт)	ПРОИЗВОДСТВО (продукт)
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ	<p>Разработка аддитивного оборудования SLM</p> <p>Разработка аддитивного оборудования DMD</p> <p>Разработка комплекса ПО для моделирования физических процессов лазерных аддитивных технологий</p> <p>Разработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи аддитивных технологий (SLM)</p> <p>Разработка технологии селективного лазерного сплавления металлических порошков при производстве изделий ответственного машиностроения</p> <p>Разработка отечественных материалов для аддитивного производства</p> <p>Разработка технологий и оборудования производства полимерных, керамических и композиционных изделий методами аддитивных технологий</p>	<p>Серийный SLM 3D-принтер</p> <p>Серийный DMD 3D-принтер</p> <p>Комплекс ПО «Виртуальный 3D-принтер. 2.0»</p> <p>Сложнопрофильные и крупногабаритные изделия атомной энергетики, изготовленные методами АТ</p> <p>Порошковые материалы уникальных композиций. Сервис по прототипированию, печати, аттестации и сертификации</p> <p>Порошки для 3D-печати из сплавов титана и жаропрочных сталей</p> <p>Прецизионные изделия для медицинской отрасли на базе аддитивных технологий</p>
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ	<p>Разработка установки DLW-STED-нанолитографии оптических 3D-структур для фотонных интегральных схем*</p> <p>Разработка оборудования и технологий изготовления функциональных изделий электроники микронного диапазона размеров*</p> <p>Разработка технологии создания малоразмерных фотонных сенсоров на основе аддитивной коллоидной печати*</p> <p>Разработка технологии изготовления персонализированных имплантов*</p>	<p>Фотонные интегральные схемы*</p> <p>3D-принтер сухой аэрозольной печати*</p> <p>Малоразмерные оптические фотонные сенсоры*</p> <p>Импланты из биосовместимых полимеров с нанопокрытиями*</p>

* - При условии финансирования КНТП АТ

Целевые показатели поднаправления «Аддитивные технологии»



№ п/п	Наименование целевого показателя ¹⁾	Единицы измерения	Период реализации					
			2021 год, базовое значение	2022	2023	2024	2025	2030
1.	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления (накопленный итогом), единиц**	единицы	26	20	30**	41**	42**	56**
2.	Доля продуктов (технологий), по которым создан лабораторный образец (накопленным итогом)***	проценты	10,5	29,8	38,6	56,1	96,5	100
3.	Доля продуктов (технологий), по которым подтверждены рабочие характеристики в условиях, приближенных к реальности (накопленным итогом)***	проценты	0,0	0,0	14,0	31,6	43,9	100
4.	Доля продуктов (технологий), по которым запущены опытно-промышленное производство (накопленным итогом)***	проценты	0,0	0,0	0,0	0,0	29,8	98,2
5	Объем выручки, полученный технологическими компаниями в рамках развития высокотехнологичного направления	млрд руб.	0,464	0,521	0,419*	0,286*	0,592*	4,89*

* - Показатель формируется при условии финансирования КНТП АТ

** - В том числе ноу-хау

*** - Показатель достигается при условии принятия решения о дальнейшем развитии/коммерциализации продуктов после завершения проектов НИОКР, утвержденных органами принятия инвестиционных решений Госкорпорации «Росатом», и получения бюджетного финансирования на реализацию мероприятий КНТП «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы»

**3. ВТН «Технологии новых материалов и веществ»
поднаправление «Редкие и редкоземельные металлы»**



КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

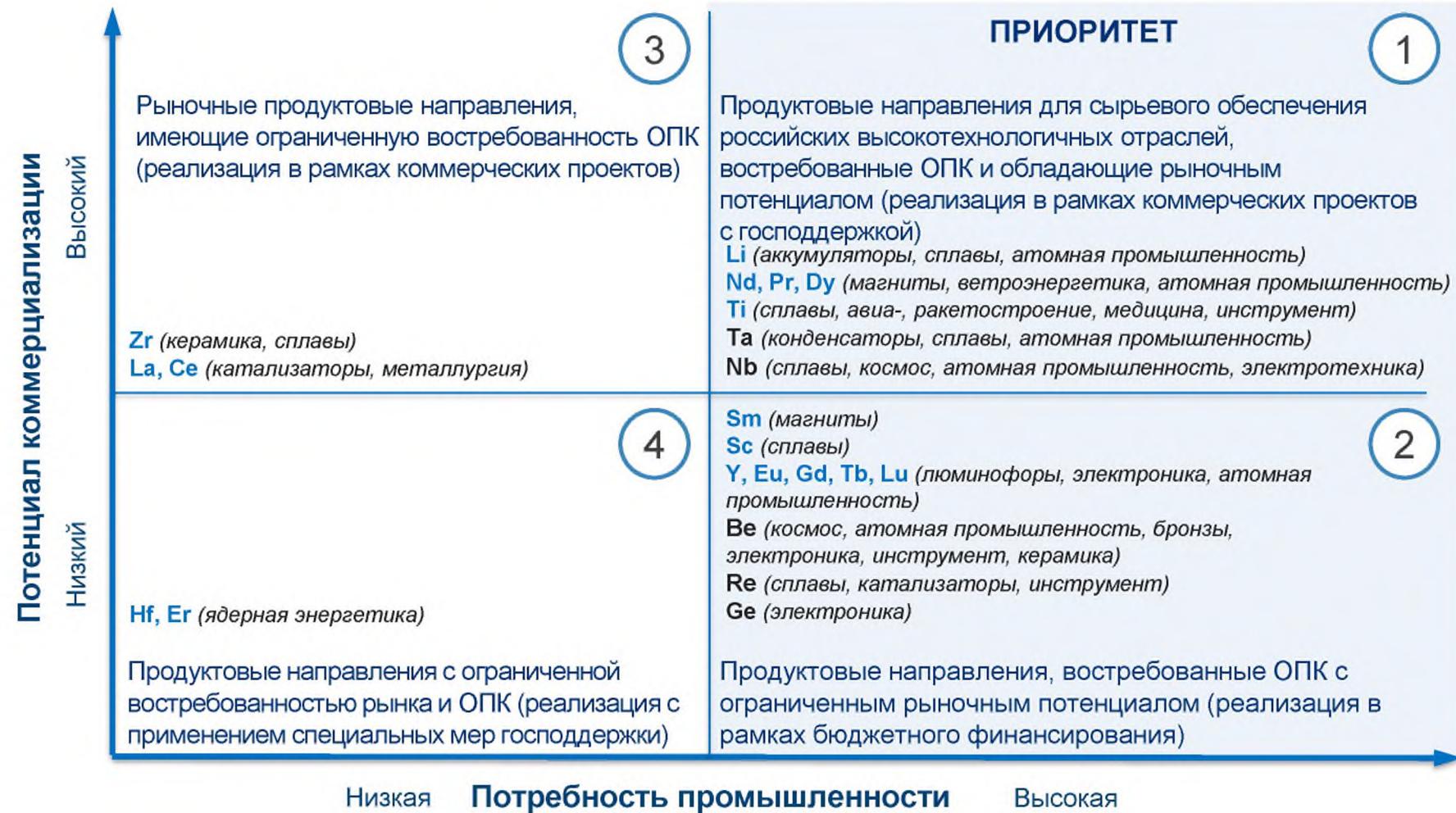
ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 01.12.2023	Ед. изм.	Знач.	РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023	Ед. изм.	Ожидаемы е
Заключено Соглашения о строительстве промышленного комплекса по добыче и производству карбоната лития в Боливии	шт.	1	Объектов завершенных строительством (участок производства металлического лития мощностью 350 тонн)	шт.	1
Получено лицензий на недропользование (Колмозерское литиевое месторождение, ООО «Полярный литий»)	шт.	1	Количество полученных опытных образцов разделенных редкоземельных металлов	шт.	8
Запущено линий по переработке техногенного сырья (фосфогипс) в ГК «Скайград»	шт.	1	Запущена линия по выделению группового концентраты РЗМ	шт.	1

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ: отсутствие отдельного механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты; сложная система мониторинга результатов реализации мероприятий дорожной карты, которая дублирует действующие механизмы контроля за расходованием бюджетных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ Ед. изм. 2024 2025

Объектов завершенных строительством (разделительный комплекс мощностью 4000 тонн/год по коллективному концентрату)	шт.	1
Объектов введенных в эксплуатацию (участок производства металлического лития мощностью 350 тонн/год)	шт.	1
Консолидировано редкоземельных активов в контур Госкорпорации «Росатом» (АО «Соликамский магниевый завод»)	шт.	1
Геологоразведочные работы. Утверждено ТЭО постоянных кондиций. (Колмозерское литиевое месторождение, ООО «Полярный литий»)	шт.	1

Матрица продуктов поднаправления «Редкие и редкоземельные металлы»



Li, Nd, Pr, Dy, Ti, Sc и др. – I стадия реализации «дорожной карты» (2022 г.) – **ПРИОРИТЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ**

Ta, Nb, Be, Re и др. – II стадия реализации «дорожной карты» (2025-2030 гг.)

Проекты Дорожной карты РМ и РЗМ



Для выполнения установленных целевых показателей, а также для достижения основных целей развития продуктового направления РМ и РЗМ сформирован портфель приоритетных проектов

Проекты реализуются предприятиями контура Госкорпорации «Росатом» и внешними участниками



ИТОГО:

- 26 металлов
- 18 проектов



Дорожная карта по продуктовому направлению РМ и РЗМ включает в себя реализацию 18 проектов, из которых в зоне ответственности ГК «Росатом» находятся 12 проектов:

- АО «Атомредметзолото» – 5 проектов по РМ и РЗМ на территории РФ (Литий, Титан, Фосфогипс, Лопарит, Скандий).
- АО «Техснабэкспорт» – 3 зарубежных проекта по литию.
- АО «ТВЭЛ» – 4 проекта (литиевая и tantalовая продукция, магниты, автокатализаторы).

Целевые показатели поднаправления «Редкие и редкоземельные металлы»



№ п/п	Наименование целевого показателя	Единицы измерения	Период реализации					
			2021 год, базовое значение	2022	2023	2024	2025	2030
1.	Общие показатели по поднаправлению РМ и РЗМ							
1.1.	Доля импортной продукции в общем объеме потребления в Российской Федерации (импортозависимость) ¹							
1.1.1.	РЗМ	Проценты	90	90	60	50	40	0
1.1.2.	РМ	Проценты	до 100	90	не более 90	не более 80	не более 70	0
2.	Показатели по проектам ГК "Росатом"							
2.1.	Объем реализованной продукции, (объем производства)							
2.1.1.	РЗМ	Тонн	0	0	2 660,0	2 660,0	2 660,0	7 340,2
2.1.2.	РМ	Тонн	1 093,1	2 342,4	10 715,2	20 261,1	22 517,0	103 702,2
2.2	Объем выручки	Млрд руб.	1,7	3,1	11,4	21,1	21,8	259,1
3.	Индикаторы развития по поднаправлению РМ и РЗМ							
3.1.	Количество созданных производственных объектов	Единиц	3	3	3	5	8	19
3.2.	Количество действующих сырьевых источников РМ и РЗМ ²	Единиц	4	4	4	5	6	12

¹ По группе приоритетных металлов: РЗМ (Nd, Pr, Dy, Sm, Y, Eu, Gd, Tb, Lu, La, Ce) и РМ (Ta, Nb, Be, Sc, Re, Ti, Zr, без учета Li)

² Количество действующих объектов, включая зарубежные месторождения (перечень возможен к расширению по мере дополнения дорожной карты новыми проектами)

4. ВТН «Технологии новых материалов и веществ» под направление «Перспективные материалы и цифровое материаловедение»



КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ 2023 года

ФАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 01.12.2023	Ед. изм.	Знач.	ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НА 31.12.2023
Привлечено компаний-лидеров в реализацию Соглашения	шт.	2	
Портфель проектов ДК ВТН, актуализирован. Добавлено новых продуктов	шт.	22	Заключение дополнительного соглашения между Фондом НТИ и ЦК НТИ и доведение средств 2023 г. на ЦК НТИ
Подготовлено и утверждено Экспертным советом при Наблюдательном совете АНО «Платформа НТИ» Программ развития Центров НТИ для целей реализации Соглашения	шт.	2	Законтрактованы средства 2023 г. ЦК НТИ (заключены договора на поставку оборудования)

РИСКИ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ:

- позднее доведение средств 2023 г. до ЦК, риск неосвоения средств;
- отсутствие механизма финансирования мероприятий, реализуемых в рамках дорожной карты в 2024 – 2026 гг. (по ПП № 1251 имеются ограничения – максимальная сумма 400 млн. руб. на один ЦК НТИ, ограниченные статьи расходов и пр.).

КЛЮЧЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И МЕРОПРИЯТИЯ

В 2024 году:

- Разработан механизм доведения средств до ЦК НТИ в 2024 -2026 гг.
- Своевременно доведены средства до ЦК НТИ в 2024 году и выполнены запланированные работы по Программам ЦК НТИ и ДК ВТН
- Изготовлены разнообразные по составу и способам производства ПКМ для проведения испытаний с целью получения данных об их свойствах для формирования расширенной БД в рамках разрабатываемой цифровой платформы.
- Наработаны 2 партии катализатора синтеза МУНТ. Наработаны не менее 3-х партий МУНТ с разными размерно-структурными параметрами
- Отработана технология изготовления порошков различного фракционного состава из суперконструкционных термопластов с повышенными свойствами, полученных при синтезе в реакторе объемом до 20 л.

В 2025 году:

- Разработан программный модуль интеллектуального поиска и классификации материалов, основанного на машинном обучении.
- Проведено тестирование лабораторного прототипа роботизированной системы ускоренного синтеза материалов для рентгеновской литографии.
- Получены одно- и двухслойные пленочные нанокомпозиционные материалы с добавлением модифицирующих добавок (органомодифицированного монтморилонита, активированного угля и углеродных наночастиц)
- Разработана методика получения МУНТ суперконцентратов и суспензий.

Матрица продуктов под направления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» (1/2)



ЦИФРОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

НИОКР (продукт)

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ (продуктов)

Разработка цифровой базы данных по ПКМ

Цифровая база данных по ПКМ в рамках единой цифровой платформы с инженерным и научным ПО

Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного ПО для изделий из полимерных композиционных материалов

Импортонезависимая кроссплатформенная единая цифровая технологическая платформа инженерного ПО

Единая цифровая платформа по строительному материаловедению

Единая цифровая платформа по строительному материаловедению с применением инструментов искусственного интеллекта

Программно-аппаратные средства проектирования изделий из металлических порошковых материалов

Программно-аппаратный комплекс по настройке и оперативному поддержанию эффективных режимов работы

Разработка подходов к дизайну ФМ на основе графовых нейронных сетей

Подходы к дизайну функциональных материалов на основе графовых нейронных сетей

"Цифровой паспорт материала" и "Управления жизненным циклом системы материал-конструкция с заданными свойствами"

Цифровой паспорт материала – обновляемая цифровая база данных о материале. ПК УЖЦ проектируемых изделий из ПКМ

ПО "Компьютерное материаловедение многокомпонентныхnanoструктурных эластомерных материалов с заданными свойствами"

ПО по моделированию многокомпонентных nanoструктурных эластомерных материалов с заданными свойствами

Цифровая модель (программное обеспечение) для интеллектуального синтеза новых оптических материалов, Разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами на основании модели для посткремниевой фотоники и оптоэлектроники и новой материальной платформы для записи и обработки информации

Систематизация существующих и создание новых БД оптических материалов, разработка алгоритмов машинного обучения для расчета их свойств, построение алгоритмов оптимизации для поиска новых материалов с уникальными свойствами.

Матрица продуктов под направления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» (2/2)



НИОКР (продукт)

СОЗДАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ (продуктов)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Новые функционально-ориентированные 2D и 3D ПКМ, в том числе с использованием графена и его аналогов
- Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства
- Дизайн материалов для термобарьерных покрытий
- Разработка технологии аддитивного производства керамических стержней сложной геометрии для литья лопаток ГТД
- "Умные" металлоксидные субмикронные системы
- «Умные» защитные полимерные композиционные материалы и покрытия для техногенно-природных сред
- Отечественные мембранны на основе ароматических полиамидиомидов для разделения метanol-содержащих смесей жидкостей при производстве высокооктановых присадок к топливу
- Пленочные нанокомпозиционные материалы для защиты металлопродукции от коррозии
- Аморфные металлические сплавы
- Разработка рентгеновских резистов для элементной базы наноэлектроники нового поколения
- Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ). Катализаторы, суспензии и материалы на их основе
- Моделирования процесса горения. Разработка полимерных материалов с пониженной горючестью.
- Разработка технологических процессов производства деталей и узлов ГТУ из новых модифицированных сплавов с многослойным теплозащитным покрытием.

- Технология получения специальных тепло- и электропроводящих функциональных ориентированных 2D и 3D ПКМ
- Программный комплекс, позволяющий осуществлять направленный дизайн, цифровое моделирование и исследование свойств термопластичных материалов. Синтезированы новые типы термопластичных материалов с повышенными свойствами.
- Материалы, обладающие заданными характеристиками в диапазоне температур 1000-1500 С
- Технология аддитивного производства керамических стержней для литья лопаток ГТД; многофазный аддитивный керамический материал; керамический 3D-принтер российского производства; и ПО для моделирования деформаций керамических стержней.
- Внедрение инновационной технологии маркировки различных изделий. Цикл скрытой маркировки различных объектов и системы для считывания кода.
- Специальные конструкционные композиты с уникальными техническими характеристиками
- Метод ввода ТФЭ в жидкую фазу. Методика синтеза мембранных сополимеров. Технология получения мембран.
- Инновационные типы композиционных полимерных материалов на основе известных термопластов (ПЭНП, ПП и др.)
- Быстроохлажденные аморфные металлические высокотемпературные сплавы-припой
- Рентгеновские резисты для элементной базы наноэлектроники нового поколения
- Протяженные трубчатые образования из замкнутых коаксиально ориентированных графеновых слоев. Диаметр 7 -19 нм
- Создание и модификация функциональных материалов, покрытий и агентов с пониженной горючестью
- Разработка технологий проектирования и изготовления деталей с использованием современных средств моделирования

**Целевые показатели
поднаправления «Перспективные материалы и цифровое
материаловедение»**



№ п/п	Наименование целевого показателя	Единицы измерения	Период реализации					
			2021 год, базовое значение	2022	2023	2024	2025	2030
1.	Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках поднаправления (накопленным итогом)	Единицы	0	0	0	15	40	требует уточнения
2.	Количество разработанных новых, перспективных материалов (накопленным итогом)	Единицы	0	0	4	23	33	требует уточнения
3.	Объем выручки, полученный технологическими компаниями в рамках развития поднаправления, (нарастающим итогом)	Млрд руб.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0
4.	Количество разработанного программного обеспечения (цифровые платформы, базы данных, научное и инженерное программное обеспечение)	Единицы	0	0	0	0	5	требует уточнения

II. Актуализация дорожной карты в 2023 году



№	Основание	Содержание изменений
1	Устранение замечаний Минэкономразвития России (письмо Минпромторга России от 02.11.2023 № 118339/17)	Редакционные и оформительские правки: уточнение формулировок/наименований, устранение опечаток, приведение к разделов и поднаправлений к требованиям методических рекомендаций и единообразию
2	Приведение в соответствие распределению на 2024 -2026 бюджетных ассигнований федерального бюджета	Уточнены суммы бюджетного финансирования, а также зависимого внебюджетного финансирования
3	Изменение геополитической и экономической обстановки, условий доступа к технологиям и рынкам	Скорректированы планы по развитию поднаправлений и продвижению продукции
4	Приведение в соответствие актуализированным программам/ проектам Госкорпорации «Росатом»	Уточнен состав и параметры реализации отдельных мероприятий

1. Актуализация поднаправления ПКМ

приведение в соответствие актуализированным программам



№	Изменения	Комментарий
1	Добавлено новое мероприятие «Внедрение ПКМ в Госкорпорации «Росатом» в рамках реализации Дорожной карты внедрения полимерных композиционных материалов в Госкорпорации «Росатом».	Мероприятие согласуется с реализацией отраслевой дорожной карты внедрения ПКМ в Госкорпорации «Росатом»
2	Добавлено новое мероприятия «Актуализация каталога мер государственной поддержки направления полимерные композиционные материалы (ПКМ)»	Мероприятие в зоне ответственности АНО «СОПК «Композиты без границ»
3	Консолидирована информация по проектам, уточнено финансирование и сроки реализации <u>КНТП ПКМ</u> .	Распоряжение Правительства РФ от 04.07.2023 г. № 1789-р
4	Уточнено финансирование проектов «Организация производства комплекса композитных материалов для авиации» и «Строительство импортозамещенной линии по производству углеродного волокна мощностью до 500 т в год».	По результатам подготовки финансового-экономического обоснования
5	Представлена информация о финансовом обеспечении мероприятий (бюджетные и внебюджетные инвестиции) за 2022 г.	Статус прошедшего периода Дорожной карты
6	Исключено мероприятие «Технология производства ПАН нового поколения для получения УВ различных номиналов для нужд предприятий ОПК (НИР «Сириус»)».	Реализация НИР «Сириус» осуществляется в рамках закрытого государственного контракта

2. Актуализация поднаправления АТ

приведение в соответствие актуализированным программам



№	Изменения	Комментарий
1	Удалено мероприятие «Определение глобальных направлений научно-технического и технологического развития АТ, перспектив, границ и принципов их развития»	Мероприятие завершено
2	Удалено мероприятие «Разработка 2-х осевой оптической сканирующей системы для аддитивного оборудования по технологии селективного лазерного плавления»	Проект завершен
3	Удалено мероприятие «НИОКР по разработке линейки лазеров для аддитивного оборудования. Организация серийного производства лазеров»	Проект завершен
4	Удалено мероприятие «Создание опытной установки получения аддитивных металлических порошков методом центробежного плазменного распыления»	Проект закрыт, производство продукции организовано в рамках других проектов
5	Удалено мероприятие «Разработка технологии термической обработки крупногабаритных заготовок и изделий, полученных методом 3D-печати из проволочных материалов (ЧМЗ)»	Проект приостановлен
6	В мероприятии «Создание производства порошков жаропрочных сталей» заменен ответственный исполнитель с ООО НПО «ЦЕНТРОТЕХ» на АО ЧМЗ	Проект будет реализован на АО ЧМЗ
7	Скорректированы контрольные точки мероприятий: «Разработка модельного ряда и изготовление опытных образцов оборудования SLM» и «Разработка опытного образца продуктовой линейки аддитивного оборудования прямого лазерного выращивания с применением металлических порошковых материалов (DMD)»	В соответствии с актуальным планом-графиком
8	Одобрена <u>КНТП АТ</u>	Решение Совета по ПН СНТР РФ от 22.11.2023
9	Удалено мероприятие «Создание нового центра НТИ по направлению «АТ»	Реализация мероприятия признана нецелесообразной

3. Актуализация поднаправления РМ и РЗМ приведение в соответствие актуализированным программам



№	Изменения	Комментарий
1	Список индикаторов дополнен пунктом «Доля поставок Госкорпорации «Росатом» в обеспечении спроса на литиевое сырье в РФ»	Дополнено в целях мониторинга обеспечения спроса на литиевое сырье в РФ поставками продукции в рамках литиевой программы Госкорпорации «Росатом».
2	Исключены продукты: - «Сподуменовый концентрат» и «Петалитовый концентрат». - Электролит «Соль LiPF6».	Изменение продуктового портфеля Стратегической программы «Развитие литиевого направления бизнеса Госкорпорации «Росатом»
3	Скорректирован показатель «Объем выручки, полученный технологическими компаниями в рамках развития высокотехнологичного направления»	Корректировка осуществлена на основе исключения продуктов и динамики мировых цен на литиевую продукцию.
4	Исключено мероприятие «Проработка вопроса о предоставлении возможности снижения налогооблагаемой базы (налоговый вычет) сборочному предприятию при приобретении автокомпонентов, содержащих российские РМ и РЗМ (батареи, электродвигатели) российского производства РМ и РЗМ».	Предложение Минфина России прорабатывать вопрос на региональном уровне.
5	Скорректирован индикатор «Объем российского рынка продуктов по соответствующему высокотехнологичному направлению» - скорректирована оценка объема на горизонте 2022-2030 гг.	Письмо Минпромторга Росии от 15.03.2023 № 24501/17 прогнозного спроса на литий в РФ в сторону снижения
6	Мероприятие «Активы *» - изменена структура раздела финансирование, финансирование мероприятий по зарубежным литиевым активам консолидированы и отражены по мероприятию «Литиевые активы за рубежом».	Утверждено протоколами Управляющего совета от 30.12.2022 № 1-13/332-Пр-кт, от 21.06.2023 № 1-13/136-Пр-кт

1. Дорожная карта «Технологии новых материалов и веществ» соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.
2. Считать результаты ДК достижимыми в содержательной части.
3. Сделать дополнительный акцент на перспективные направления

Приложение

Ключевые показатели ДК и финансовое обеспечение



КЛЮЧЕВЫЕ ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ	2022		2023		ожидае- мый факт	2024	2025	2030
	план	факт	план	факт				
1. Количество зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности в рамках развития высокотехнологичного направления (за отчетный год), единиц	23	35	20	24	46/71 ¹	47/82 ¹	74 ¹	
2. Объем выручки, полученный от реализации продукции в рамках развития высокотехнологичного направления (за отчетный год), млрд рублей	8,698	10,3	18,750	18,756	28,802 / 28,805 ¹	30,405 / 30,411 ¹	275,973 / 279,539 ¹	

1 - показатель формируется при условии финансирования Комплексной научно-технической программы «Аддитивные технологии. Новые материалы и технологические процессы»

ФИНАНСОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ,

млн руб.	2023	2024	2025	2026	2023-2030	
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ БЮДЖЕТ, в т.ч.	1 257,1	9 460,3	11 804,9	9 558,2	128 639,2	
предусмотрено	757,1	4 723,6	5 315,2	2 479,3	13 395,3	
	Всего: 4 736,7					
дополнительная потребность*	500,0	Распределено 3 182,9	Не распределено 1 553,8	6 489,7	7 078,9	115 243,9
ВНЕБЮДЖЕТ зарезервировано:**	12 529,7	1 429,0 48 666,6	537,0 81 987,4	15,0 37 803,9	14 510,8 239 261,7	
в т.ч. средства организаций, заключивших соглашения	10 114,8	1 065,0 48 666,6	522,0 81 987,4	0,0 37 803,9	11 701,8 239 261,7	
Зарезервировано:**						
ВСЕГО: Зарезервировано:**	13 786,9	10 889,3 48 666,6	12 341,9 81 987,4	9 573,2 37 803,9	143 150,0 239 261,7	

Текущий статус
на 01.12.2023

ПРИНЯТО БЮДЖЕТНЫХ
ОБЯЗАТЕЛЬСТВ
757,1 млн руб.

КАССОВОЕ ИСПОЛНЕНИЕ
389,4 млн руб. (51,4%)

* - в 2023 году - средства полученные из резервного фонда Правительства РФ; в 2024 году - средства , распределенные и нераспределенные из зарезервированных на ВТН в текстовой части бюджета среды на 2024 год; ** - финансирование заложено в инвестиционную программу, решение о выделении средств будет приниматься в начале планового периода, млн руб.

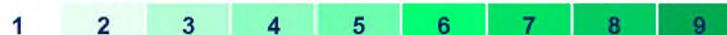
План развития технологий

поднаправления «Полимерные композиционных материалы»



	2022	2023	2024	2025	2030	Потенциальные разработчики
ПАН-прекурсор, УВ, полимерные композиционные материалы на его основе	3	6*	9*			АО «ЮМАТЕКС»
Среднемодульное УВ (5,5 ГПа)	7	8	9			АО «ЮМАТЕКС»
Аппретирующие составы	4	6	7	7	9	ООО «НПФ «Рекон»
Эпоксидный биндер	7	7	9			АО «ЮМАТЕКС»
Химические компоненты для ПКМ	2	3	4	5	9	Группа компаний «Унихимтек»
Композитный шпунт	6	6	8	9		АО «ЮМАТЕКС»
Высокотемпературный углепластик	2	4	5	6	9	НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ»
Изделия ПКМ для авиакосмической промышленности	3	5	6	6	9	АО «ЮМАТЕКС», НИЦ «Курчатовский институт – ВИАМ»

Уровень готовности технологии TRL (1-9):



* - в случае выделения бюджетных ассигнований в установленном дорожной картой в части продуктового направления ПКМ объеме в период 2022-2030 гг.

План развития технологий поднаправления «Аддитивные технологии»

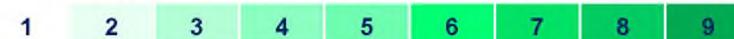


	2022	2023	2024	2025	2030	потенциальные разработчики
Оборудование и ПО:						
Аддитивное оборудование SLM	4	5	7**	8	9	ООО «РусАТ»
Аддитивное оборудование DMD	3	4	7**	8	9	ООО «РусАТ»
Комплекс ПО «Виртуальный 3D-принтер. 2.0»	1	3	4	6**	9	РФЯЦ ВНИИЭФ
3D-принтер сухой аэрозольной печати изделий электроники*	1	1	1	4	8	МФТИ
Система неразрушающего контроля качества изделий, выполненных аддитивных технологий	4	5**	6	8	9	МГТУ им. Баумана
Керамический 3D-принтер (Robocasting)*	1	1	1	4	8	РТУ МИРЭА
DLW-STED-нанолитограф оптических 3D-структур для фотонных интегральных схем*	1	1	1	4	8	МФТИ
Материалы и технологии:						
Технология изготовления элементов оборудования атомной энергетики при помощи аддитивных технологий (SLM)	3	5	6**	8	9	АО «ОКБМ Африкантов»
Технология селективного лазерного сплавления металлических порошков при производстве изделий ответственного машиностроения*	1	1	1	4	8	АО «НПО «ЦНИИТМАШ»
Технология электронно-лучевого аддитивного выращивания заготовок из тугоплавких металлов и сплавов на их основе	4	5**	6	7	9	ФГУП «НИИ НПО «ЛУЧ»
Технология создания малоразмерных фотонных сенсоров на основе аддитивной коллоидной печати*	1	1	1	4	8	МФТИ
Технология изготовления тонкостенных сложнопрофильных керамических стержней для литья деталей горячего тракта ГТУ*	1	1	1	4	8	НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ

* - При условии финансирования КНТП АТ

** - Решение о дальнейшем развитии/коммерциализации продукта будет принято по результатам завершения НИОКР с учетом уровня CRL

Уровень готовности технологии TRL (1-9):

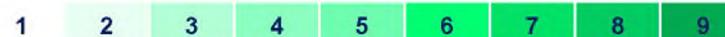


План развития продуктов поднаправления «Редкие и редкоземельные металлы»



		2022	2023	2024	2025	2030	потенциальные разработчики / производители
РМ и РЗМ	Коллективный концентрат РЗМ (Рециклинг, Сортировка, измельчение, извлечение полезных компонентов из ЛЭП)	2	3	5	7	9	Росатом, ПромТехРециклинг
	Оксиды (технология разделения коллективного концентрата на индивидуальные оксиды РЗМ)	6	7	7	8	9	АРМЗ, АО «ГК «РУССРЕДМЕТ» ООО «Скайград Инновации»
	Титан (технология обогащения титан-циркониевых рудных песков)	8	9				АРМЗ (ТГОК), ВНИПИПТ, Гиредмет, ВСМПО-АВИСМА
	Цирконий (технология обогащения титан-циркониевых рудных песков)	8	9				АРМЗ (ТГОК), ВНИПИПТ, Гиредмет
	Тантал (технология получения конденсаторных порошков tantalа)	4	4	4	5	9	ИХТРЭМС КНЦ РАН АО ЧМЗ, Гиредмет
	Тантал (технология получения металлургического порошка)	5	6	7	8	9	АО ЧМЗ, ВНИИМ, АО «Гиредмет»
	Скандий (технология попутного извлечения скандия из урановых растворов)	7	8	9			АРМЗ (Далур), ВНИПИПТ, ВНИИХТ Акцион-РДМ
Литий	Минеральные концентраты (технология обогащения литийсодержащих руд)	4	5	7	8	9	АРМЗ+Норникель (Полярный Литий), ВНИИХТ, ВНИПИПТ Акцион-РДМ, ТД «Халмек», ПАО «ХМЗ»
	Карбонат лития (технология получения карбоната лития из минеральных концентратов; технология сорбционного извлечения лития из гидроминерального сырья)	3	3	4	4	9	АРМЗ+Норникель (Полярный Литий), ВНИИХТ, Акцион-РДМ, ТД «Халмек»
	Гидроксид лития (технология получения гидроксида лития)	6	6	6	7	9	АРМЗ+Норникель (Полярный Литий), ТД «Халмек», ПАО «ХМЗ»
	Литий металл (новая технология/действующая технология производства металлического лития)	2/9	3/9	3/9	7/9	9	ПАО «НЗХК»
	Германий (технология получения германиевого концентрата при сжигании лигнитов)	5	6	7	8	9	АО «Германий»
	Постоянные магниты (технология получения редкоземельных магнитов неодим-железо-бор)	3	6	6	6	9	АО ЧМЗ, ООО «Русатом Метал Тех»

Уровень готовности технологии TRL (1-9):

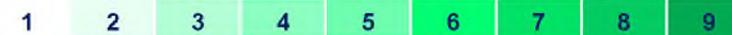


План развития продуктов под направления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» (1/2)



	2022	2023	2024	2025	2030
Новые функционально-ориентированные 2D и 3D ПКМ, в том числе с использованием графена и его аналогов	3	3	3	4	9
Разработка цифровой базы данных по ПКМ	3	4	5	6	9
Новые конструкционные термопластичные материалы: направленный дизайн, цифровое моделирование, исследование свойств, технологии производства	3	3	5	5	9
Дизайн материалов для термобарьерных покрытий	2	2	3	4	8
Разработка технологии аддитивного производства керамических стержней сложной геометрии для литья лопаток ГТД	2	3	4	6	8
"Умные" металлоксидные субмикронные системы	3	3	3	4	8
«Умные» защитные полимерные композиционные материалы и покрытия для техногенно-природных сред	3	3	3	4	8
Разработка единой цифровой технологической платформы инженерного ПО для изделий из полимерных композиционных материалов	2	3	4	5	9
Единая цифровая платформа по строительному материаловедению	2	3	4	5	9
Отечественные мембранны на основе ароматических полиамидоимидов для разделения метanol-содержащих смесей жидкостей при производстве высокооктановых присадок к топливу	2	3	4	5	8
Пленочные нанокомпозиционные материалы для защиты металлопродукции от коррозии	2	3	3	4	9

*Уровень готовности технологии TRL (1-9):



** в случае выделения бюджетных ассигнований в установленном дорожной картой в части продуктового направления ПКМ объеме в период 2022-2030 гг.

План развития продуктов под направления «Перспективные материалы и цифровое материаловедение» (2/2)



	2022	2023	2024	2025	2030
Аморфные металлические сплавы	3	3	5	6	9
Программно-аппаратные средства проектирования изделий из металлических порошковых материалов	3	4	5	6	9
Разработка подходов к дизайну ФМ на основе графовых нейронных сетей	2	2	3	4	9
Разработка рентгеновских резистов для элементной базы наноэлектроники нового поколения	2	3	3	4	8
Многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ)	3	3	3	4	8
"Цифровой паспорт материала" и "Управления жизненным циклом системы материаль-конструкция с заданными свойствами"	3	3	4	5	9
ПО "Компьютерное материаловедение многокомпонентныхnanoструктурных эластомерных материалов с заданными свойствами"	3	3	4	5	9
Цифровая модель (программное обеспечение) для интеллектуального синтеза новых оптических материалов, Разработка новых функциональных материалов с заданными свойствами на основании модели для посткремниевой фотоники и оптоэлектроники и новой материальной платформы для записи и обработки информации	3	3	4	5	9
Моделирования процесса горения. Разработка полимерных материалов с пониженной горючестью.	3	3	4	5	9
Разработка технологических процессов производства деталей и узлов ГТУ из новых модифицированных сплавов с многослойным теплозащитным покрытием.	3	3	4	5	9

*Уровень готовности технологии TRL (1-9): 1 2 3 4 5 6 7 8 9

** в случае выделения бюджетных ассигнований в установленном дорожной картой в части продуктового направления ПКМ объеме в период 2022-2030 гг.