

## ПРОТОКОЛ № 3/23

стратегической сессии 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,  
посвященной состоянию дел и проблемам в области минерально-сырьевой базы РФ  
(заседание проходило в режиме офф- и он-лайн)

19 октября 2023 г.

Москва, Ленинский пр., 32а, 11-00

### Присутствовали:

<i>Научный совет РАН по материалам и наноматериалам</i>	
Алдошин Сергей Михайлович, академик РАН, председатель	
Цивадзе Аслан Юсупович, академик РАН, заместитель председателя	
Бадамшина Э.Р. д.х.н, ученый секретарь	
Алымов Михаил Иванович, член-корр. РАН	Он-лайн
Бражкин Вадим Вениаминович, академик РАН	
Леонтьев Леопольд Игоревич, академик РАН	
Ляхов Николай Захарович, академик РАН	
Бойнович Людмила Борисовна, академик РАН	Он-лайн
Бузник Вячеслав Михайлович, академик РАН	Он-лайн
Буланов Андрей Дмитриевич, член-корр. РАН	
Валиев Руслан Зуфарович, профессор, д.ф.-м.н	Он-лайн
Волова Татьяна Григорьевна, профессор, д.б.н.	Он-лайн
Гмошинский Иван Всеволодович, профессор, д.б.н.	
Иванов Владимир Константинович, член-корр. РАН	Он-лайн
Иванов Виктор Петрович, к.т.н.	Он-лайн
Краснянский Михаил Николаевич, профессор, д.т.н.	
Люлин Сергей Владимирович, член-корр. РАН	Он-лайн
Лысак Владимир Ильич, академик РАН	Он-лайн
Максимов Антон Львович, член-корр. РАН	
Мерзликин Александр Михайлович, профессор, д.ф.-м.н	Он-лайн
Мулюков Радик Рафикович, член-корр. РАН	
Нелюб Владимир Александрович, д.т.н.	Он-лайн
Оганов Артем Ромаевич, профессор РАН, д.ф.-м.н	Он-лайн
Озерин Александр Никифорович, член-корр. РАН	Он-лайн
Санин Владимир Николаевич, профессор, д.т.н.	
Ткачев Алексей Григорьевич, профессор, д.т.н.	Он-лайн
Федин Владимир Петрович, член-корр. РАН	Он-лайн
Федюшкин Игорь Леонидович, академик РАН	Он-лайн
Хаширова Светлана Юрьевна, профессор, д.х.н.	Он-лайн
Шайтан Константин Вольдемарович, профессор, д. ф.-м.н	Он-лайн
Шикин Александр Михайлович, д.ф.-м.н.	Он-лайн
Якобовский Михаил Владимирович, член-корр. РАН	
Ярославцев Андрей Борисович, академик РАН	

<i>Члены Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН</i>	
Егоров Михаил Петрович, академик РАН	
Горбунова Юлия Германовна, академик РАН	Он-лайн
Малеев Виктор Иванович, д.х.н.	
Антипов Евгений Викторович, член-корр. РАН	Он-лайн
Буряк Алексей Константинович, член-корр. РАН	Он-лайн
Золотов Юрий Александрович, академик РАН	
Калмыков Степан Николаевич, академик РАН	
Ломоносов Игорь Владимирович, член-корр. РАН	Он-лайн
Мясоедов Борис Федорович, академик РАН	
Нифантьев Николай Эдуардович, член-корр. РАН	
Новаков Иван Александрович, академик РАН	Он-лайн
Салоутин Виктор Иванович, член-корр. РАН	
Сергиенко Валентин Иванович, академик РАН	
Тарасова Наталия Павловна, член-корр. РАН	Он-лайн
Трифонов Александр Анатольевич, член-корр. РАН	Он-лайн
Чарушин Валерий Николаевич, академик РАН	Он-лайн
<i>Межведомственный научный совет РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию Бюро Отделения наук о земле РАН</i>	
Бортников Николай Стефанович, академик РАН, заместитель председателя	
Волков Александр Владимирович, член-корр. РАН, ученый секретарь	
Барях Александр Абрамович, академик РАН	
Захаров Валерий Николаевич, академик РАН	
Крюков Валерий Анатольевич, академик РАН	
Машковцев Григорий Анатольевич, д.г.-м.н., проф.	
Петров Владислав Александрович, член-корр. РАН	
Похиленко Николай Петрович, академик РАН	
Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корр. РАН	
Чантурия Валентин Алексеевич, академик РАН	Он-лайн
Александрова Татьяна Николаевна, член-корр. РАН	
Гладкочуб Дмитрий Петрович, член-корр. РАН	Он-лайн
Казанов Олег Владимирович, генеральный директор	Он-лайн
Кривовичев Сергей Владимирович	Он-лайн
Крук Николай Николаевич, член-корр. РАН	
Масленников Валерий Владимирович, член-корр. РАН	
Полонянкина Светлана Викторовна, директор по геологии и недропользованию	
Порфирьев Борис Николаевич, академик РАН	Он-лайн
Рассказов Игорь Юрьевич, член-корр. РАН	Он-лайн

Сарычев Геннадий Александрович, советник генерального директора Госкорпорации «Росатом»	
Спирidonов Игорь Геннадьевич, генеральный директор	Он-лайн
Приглашенные	
Панченко Владислав Яковлевич, академик РАН, вице-президент Российской академии наук	
Иванец Дмитрий Васильевич, заместитель директора по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом»	
Летуновский Валентин Васильевич, заместитель начальника Контрольного управления Президента Российской Федерации	
Марков Иван Александрович, директор Департамента металлургии и материалов Министерства промышленности и торговли Российской Федерации	
Темнов Александр Викторович, начальник отдела геологии полезных ископаемых Департамента государственной политики и регулирования в области геологии и недропользования Минприроды России	
Тетенькин Дмитрий Дмитриевич, заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации	
Цыганов Константин Анатольевич, Первый заместитель Министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации	
Чугуева Ирина Николаевна, заместитель директора Департамента Минобр РАН	
Шевченко Андрей Борисович, директор по технологическому развитию Госкорпорации «Росатом»	
Добролюбов Сергей Анатольевич, академик РАН	Он-лайн
Вошкин Андрей Алексеевич, член-корр. РАН	
Соломина Ольга Николаевна, член-корр. РАН	Он-лайн
Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корр. РАН	Он-лайн
Аллаяров Садулла Ремович, д.х.н., в.н.с. ФИЦ ПХФ и МХ РАН	Он-лайн
Боженко Константин Викторович, д.х.н., в.н.с. ФИЦ ПХФ и МХ РАН	Он-лайн
Вернигора Артем Сергеевич, советник АО «Наука и инновации», Госкорпорация «Росатом»	
Волохов Вадим Маркович, д.х.н., зав.отделом ФИЦ ПХФ и МХ РАН	Он-лайн
Палеев Павел, БИП СО РАН	Он-лайн
Разоренов Сергей Владимирович, д.ф.-м.н., зав.лаб. ФИЦ ПХФ и МХ РАН	Он-лайн
Рожкова Наталья Николаевна, д.х.н., зав.лаб. ИГ КарНЦ РАН	Он-лайн
Хомоксанова Дарья, БИП СО РАН	Он-лайн
Черноба Роксолана Андреевна, гл. редактор журнала «Редкие земли»	
Юрков Глеб Юрьевич, д.т.н., профессор РАН, директор по научному развитию — научный руководитель химико-технологического направления, АО «Наука и	

инновации», Госкорпорация «Росатом»	
<i>Докладчики</i>	
Немудрый Александр Петрович, член-корр. РАН	
Тананаев Иван Гундарович, член-корр. РАН	
Таран Оксана Павловна, д.х.н., профессор РАН, ИХТТ СО РАН — ФИЦ КНЦ СО РАН	

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. **Инновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава.** Академик РАН Валентин Алексеевич Чантурия 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 Чукотского 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 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 иницирующий 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 позиции. 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.** Сырье для получения РЗМ в России представлено лопаритовой рудой Ловозерского массива, комплексными редкометалльными рудами Томторского месторождения и техногенными ресурсами (фосфогипс). **В настоящее время в России добывается сырье РЗМ в виде лопаритового концентрата на ООО «Ловозерский ГОК» (Мурманская область).** Основным действующим предприятием по выделению коллективного концентрата 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 Полмостундровское в Мурманской области, Гольцовое в Иркутской области, Урикское в Республике Бурятия. По содержанию Li<sub>2</sub>O 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 «ГД «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 Полмостундровского месторождений. ООО «Полярный литий» получена лицензия на право пользования недрами Колмозерского месторождения. Начаты геологоразведочные работы, идет проработка технологий обогащения и металлургического 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 ниобия 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 ниобия сможет превысить текущий объём потребления.* Основными сдерживающими факторами освоения месторождений ниобия являются: несопоставимо высокая (в сравнении с получением из пироклора) стоимость феррониобия, производимого из природного концентрата Томторского месторождения, сырья Ловозёрского и Зашихинского месторождений. На сегодняшний день основным действующим производством ниобия в России является ОАО «Соликамский магниевый завод» (Пермский край), который производит пентаоксид ниобия.

**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 цирконовых 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 цирконового концентрата. Сдерживающим фактором освоения месторождений является комплексность руд, разведанных 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 нераспределенного фонда недр в первую очередь определяется 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 глубоко залегающим 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 (железородных) 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 время 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 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-производителей 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 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, 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», 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 геополитических реалиях, что в настоящее время приобрело наибольшую значимость.

Все крупные карьеры России (более 1 млн м<sup>3</sup>/год горной массы) и все без исключения подземные рудники относятся к объектам чрезвычайно высокого и высокого класса опасности. Добыча рудоминерального сырья обеспечивается более чем пятистами 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 глубины 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 горнопромышленного 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, изыскательных 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 усреднительных рудоспусков 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 потребуются 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 «Инновационные процессы извлечения стратегических металлов и материалов при обогащении комплексных руд сложного вещественного состава» член-корреспондент РАН

**Татьяна Николаевна Александрова** начала с определения «стратегического минерального сырья». Это 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), зависящего 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 рентгенометрической 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 Африкандского месторождения перовскит-титаномагнетитовых руд (Мурманская область) реализуется проект по получению и переработке перовскитового концентрата. Планируемая продукция - пигментный диоксид титана, концентраты РЗМ, пентаоксиды ниобия и тантала, 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, дикиониевые 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 неконкурентность 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 Похиленко** в своем докладе «Сырьевая база лития и редкоземельных металлов Сибири: состояние, преимущества и проблемы освоения» 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  $\text{Li}_2\text{O}$  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 сподуменных 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/дм<sup>3</sup>. Задокументированы скважины с дебитом до 5-7 тыс. м<sup>3</sup>/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. Похиленко 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. Буранный, 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 редкометалльных 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 Витватерсранд или Сухой лог (золото), Чукикамата (медь), Норильская группа (медь, никель, платиноиды), заняв лидерство в группе Nb-РЗМ объектов, опередив месторождения ниобия (Араша, Бразилия) и редких земель (Маунтин-Пасс, США; Баюнь-Обо, Китай). На площади ~ 35 кв.км располагаются 3 изолированных участка распространения рудного пласта пироксено-монацит-крандаллитовых руд (Северный, Буранный и Южный). На участке Буранный 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. Похиленко 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 Маймеча-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 Буранный месторождения Томтор готов к эксплуатации после разведки (АК АЛРОСА, 1999) и доразведки (участок Буранный, 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**, 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 конкурентноспособные 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» 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 конкурентноспособных 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 импортонезависимости 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 высаливанию 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 ИХТТМ СО РАН в конце 80-х были проведены фундаментальные работы по изучению процессов взаимодействия кристаллической гидроокиси алюминия (гидраргиллит) с растворами солей лития. Было показано, что взаимодействие происходит за счет селективной интеркаляции солей лития между алюмогидроксидными слоями гидраргиллита. 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 магниевых 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 трубки «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 рассолах. 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 ИХТТМ 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» 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 покупаем 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-обогажительных производствах. Мы, например, необратимо 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 затруднительно, 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 задач. 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 «батареинового» 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 придаток.

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» 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 ниобия - 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  $\text{NaOH}$  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  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HCl}$  и хлорирующих реагентов. В качестве хлорирующего реагента для разложения Nb-Ti концентрата предложено использовать комплексную соль  $\text{NaAlCl}_4$ . Технология использована при утверждении в ГКЗ запасов руд участка «Буранный» 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 чуктуконских руд.** Особенностью руд чуктуконского 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 чуктуконских 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 экстрагентов, 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 пилотирования 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 редкометалльных 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» 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: •сырьевая обеспеченность; •совершенствование материально-технической базы; •снижение экологического и углеродного воздействия на окружающую среду; •утилизация побочных продуктов, возникающих в процессе производства; •производство импортозамещающих 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, Толмостундровского, 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 нержавеющей 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 (≈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 нержавеющей 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 феррониобия (содержит 50-65% Nb) применяется для производства жаропрочных сталей в авиации, нержавеющей низколегированных сталей в машиностроении, судостроении, трубной промышленности (составляет около 85% мирового потребления, 93% в России). Серьезной проблемой является практически полная зависимость отечественной черной металлургии от импортных поставок феррониобия (в среднем 98,5% от объема потребления). В некоторых случаях возможна замена ниобия на молибден, тантал, 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 % 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).

Одним из вариантов развития титановой отрасли является создание металлургического производства на базе энергетических мощностей Кольской АЭС. Реализация совместной плавки лейкокислотного и перовскит-титаномангнетитового 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 лейкокислотных 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, 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 ВПК, энергетике, в том числе ядерной, машиностроении, в нефти 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. Похиленко; 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 Чантурия, Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН), член-корреспондент РАН Татьяна Николаевна Александрова СПбГУ.
5. Сырьевая база литья 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 (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 ИХТТМ СО РАН. В ИХТТМ СО РАН на профильной кафедре и аспирантуре Института будет организована подготовка специалистов по получению лития и его соединений, а также разработке 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 литья, 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:

1. 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.
2. Принять участие во внесении необходимых корректив в Стратегию развития минерально-сырьевой базы до 2035 г.
3. 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 технологических цепочек по 17 видам дефицитного сырья. Цепочки определяют, какие конкретные технологии, какие потенциальные исполнители, то есть разработчики технологии, могут реализовать эти проекты. Общая схема технологических цепочек:



4. 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 технологически проекты полного цикла, будет решаться при подготовке при рассмотрении на Совете по науке и образованию при Президенте РФ.
5. 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.
6. 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.

Председатель Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, Председатель Межведомственного научного совета РАН по развитию минерально-сырьевой базы и ее рациональному использованию,

вице-президент РАН  
академик С.М. Алдошин

Академик-секретарь Бюро Отделения химии и наук о материалах РАН,  
академик М.П. Егоров

Ученый секретарь Совета, Научного совета РАН по материалам и наноматериалам,  
дхн Э.Р. Бадамшина