

«Развитие литевых проектов в РФ, сегодня и перспективы»

Ворогушин Н.Т., Главный геолог АО «ХМЗ», Высоцкий Д.В., Генеральный директор АО «Арктический литий»

Химико-металлургический завод в Красноярске



- ПАО «Химико-металлургический завод» - ведущий российский производитель и поставщик литевой продукции, созданный в 1956 году в г. Красноярске, Россия. Более 60 лет ХМЗ успешно производит литевые продукты с использованием сернокислотной технологии.
- На сегодняшний день мощность производства гидроксида лития на ХМЗ составляет 15 000 тонн в год, металлического лития -100 тонн в год .
- Наши партнеры - производители аккумуляторов.
- Российского литевого сырья нет, вынуждены закупать и транспортировать сырьё из Южной Америки

Сегодня в России работают 3 завода по выпуску литевых продуктов. Производство литевой продукции находится в 100% зависимости от импортных поставок. Добыча литевых руд и разработка технологий их переработки была прекращена в 1994 г. В этих условиях необходим скорейший запуск проектов по добыче российского сырья, чтобы снять риски закрытия производств и обеспечить потребности РФ в литевых продуктах.

Основные источники лития в мире

В настоящее время в мире литий добывается из нескольких рудных и гидроминеральных типов месторождений. Сегодня в РФ представлены не все известные типы.

■ 1. Рудные месторождения

1.1 Сподуменовые пегматиты – широко распространены по миру, в РФ – основной тип месторождений для литиевого сырья;

1.2 Лепидолитовые пегматиты- разрабатываются по всему миру (Китай, Зимбабве, Бразилия и т.д.), в РФ не известно ни одного месторождения;

1.3 Сподуменовые граниты – относительно новый тип, разработка сподуменовых гранитов не ведётся, в РФ известно Аллахинское месторождений с недооценёнными запасами;

1.4 Редкометальные (тантал-ниобиевые с оловом) граниты с литиевыми слюдами, в РФ известно несколько месторождений (Орловское, Этыкинское, Ачиканское) , разработка этих месторождений не производится

1.5 Грейзеновые месторождения литиевых слюд в экзоконтактах редкометальных гранитов – новый перспективный тип литиевых месторождений, Забайкалье, в настоящее время ведутся оценочные работы АО ХМЗ;

1.6 Месторождения литиевых глин – в РФ не изучались;

1.7 Месторождения лития в цеолитах – в РФ не изучались.

■ 2. Гидроминеральные месторождения (в РФ пока реально не рассматриваются).

2.1 Саллары

2.2 Попутные нефтяные воды

2.3 Геотермальные источники

2.4 Шахтные воды при разработке кимберлитов

Отвалы забалансовых литиевых руд Завитинского месторождения



В качестве наиболее простого и быстрого способа начать добычу, как нам казалось, рассматривалась переработка отвалов забалансовых руд Завитинского месторождения (Забайкалье).

- В настоящее время основной карьер не эксплуатируется, в следствие чего затоплен грунтовыми и талыми водами. Отвалы забалансовой руды (содержание $\text{Li}_2\text{O} \sim 0,3\%$) расположены к северо-востоку от карьера и насчитывают около 19 млн т. Отвалы формировались в течение 40 лет с 1951 г. Данных о порядке формирования отвалов нет.
- При начале работ, казалось, что основные проблемы будут связаны с технологией, но в процессе работ выяснилось, что основные проблемы задерживающие начало работ – несовершенство законодательства РФ, а технологические проблемы попроще .

- Нами была получена лицензия ЧИТ 02889 ТП по заявочному принципу на проведение геологического изучения Восточно-Завитинского участка с отвалами.
- Были проведены буровые работы 800 пог, м, топомаркшейдерские работы и широкий комплекс технологических исследований.
- По результатам технологических испытаний руд наиболее подходящей признана тяжёлосредняя сепарация (извлечение 30-60% при качестве концентрата от 2- до 4 %) возможно в комплексе с флотацией.



Общий вид затопленного карьера с борта отвалов

Состояние дел на ноябрь 2023 г.

Основная проблема- в связи с несовершенством горного законодательство не получена добычная лицензия и мы не можем начать ОПР

Завершенные работы:

- Подсчитаны и поставлены на баланс запасы в размере примерно 15 % от общего объёма отвалов
- Разработана рациональная технология получения сподуменового концентрата (ФГБУ ВИМС)
- Подготовлен проект проведения ОПР с использованием тяжелосредной сепарации
- Проведены инженерные изыскания для строительства ГОК в п. Первомайск
- На площадку доставлено все оборудование – ДСК и ТСС

Текущие работы:

- Строительство объектов инфраструктуры площадки
- Закуплено и складировано на площадке всё оборудование
- Подготовка площадки - прокладка дороги, выравнивание площадки (выполнено), установка ограждения, КПП
- Закупка доп. оборудования (сушилка концентрата, фасовочный узел и узел обезвоживания)
- Разработка технологического регламента для фабрики, разработка проекта опытно-промышленных работ (ОПР)
- Подана заявка на проведение поисков на флангах месторождения

Предстоящие работы:

- Получение лицензии на добычу
- Строительно-монтажные работы (ограда, временное техприсоединение);
- Обеспечение площадки временным электроснабжением;
- Подготовка площадки под фабрику (КПП).

Проблемы и задачи выявленные в процессе освоения отвалов.

В процессе ГРР и технологических исследований выявился целый ряд проблем и вопросов, которые не позволяют однозначно подойти к составлению кондиций и оценке запасов полезных компонентов отвалов завитинского месторождения и разработать технологический регламент. В связи с этим мы уже несколько лет пытаемся провести опытно-промышленные работы, но законодательство не позволяет сделать это быстро.

1. Неравномерность и разновозрастность формирования отвалов ведёт к разной степени выветривания минералов, особенно сподумена, как по латерали, так и по вертикали что приводит к разным технологическим показателям (меняются физические свойства минерала).
2. Наличие двух фракций (щебнисто- глыбовая и песчано-глинистая, где сподумен в значительной степени превратился в глины) ведёт к необходимости применения разных технологических схем при переработке отвалов. Однако не при производстве бурения, ни при визуальной оценке мы не можем определить процентное соотношение этих фракций, к тому же оно вероятно меняется от отвала к отвалу и по вертикали. Для такой оценки требуется большой объём работ по разным отвалам.
3. В РФ в течении 30 лет не велась добыча литиевых руд, а технологиями обогащения не занимались ещё большее время. Отсутствует оборудование для тяжёлосредной сепарации, нет аналогичных производств и нет возможности провести лабораторно-промышленные технологические испытания.
4. Методика подсчёта запасов, принятая к первичным месторождениям лития (бортовые содержания, рудные и безрудные интервалы, повариантный подсчёт запасов, плотность сети и т.д.) тут неприемлема, должны быть упрощенные методики оценки запасов техногенных образований.
5. В процессе ГРР и лабораторных технологический испытаний , при отсутствии отечественных технологий, оборудования и аналогичных производств оценить экономическую эффективность работ невозможно. Для этого необходимо производство в значительных масштабах опытно-промышленных работ с получением разного качества концентрата и с разными показателями извлечения. ОПР необходимо включать в поисковые проекты для техногенных месторождений, иначе большой объём техногенных образований останется недоступным для переработки

Полмостундровское месторождение

- Площадь участка недр федерального значения Полмостундровское составляет 2,083 км².
- Лицензия на разработку Полмостундровского месторождения (Кольский полуостров) была получена ООО «Арктический литий» - совместное предприятие АО ХМЗ и АО «Халмек» – двумя производителями гидроксида лития в РФ.
- Месторождений было открыто в 50-х годах прошлого века, запасы были поставлены на баланс в 1961 году (62 года назад), но государство провело аукцион как на действующие реальные запасы, при этом указав, что необходимо сделать полную переразведку месторождения.

Состояние на ноябрь 2023 г.:

- Проведено бурение, ведутся аналитические исследования проб
- Подготовлен проект ОПР,
- Проработаны схемы переработки руды
- Проводятся технологические испытания обогатимости руд производителями обогатительного оборудования.



Выполненные и планируемые работы

Выполненные работы на 19 октября 2023 г.:

- Пробурено 7229,6 п.м. скважин PQ
- Пробурено 600 п.м. геотехнических скважин
- ГИС комплекс 8379,6 п.м.
- Создан полевой лагерь на 20 человек
- Пройдены, переопробованы канавы, отобраны технологические пробы.



Керн укладывается в для отправки проб в г.Мончегорск



Буровые работы зимой 2023 г.

Дальнейшие работы:

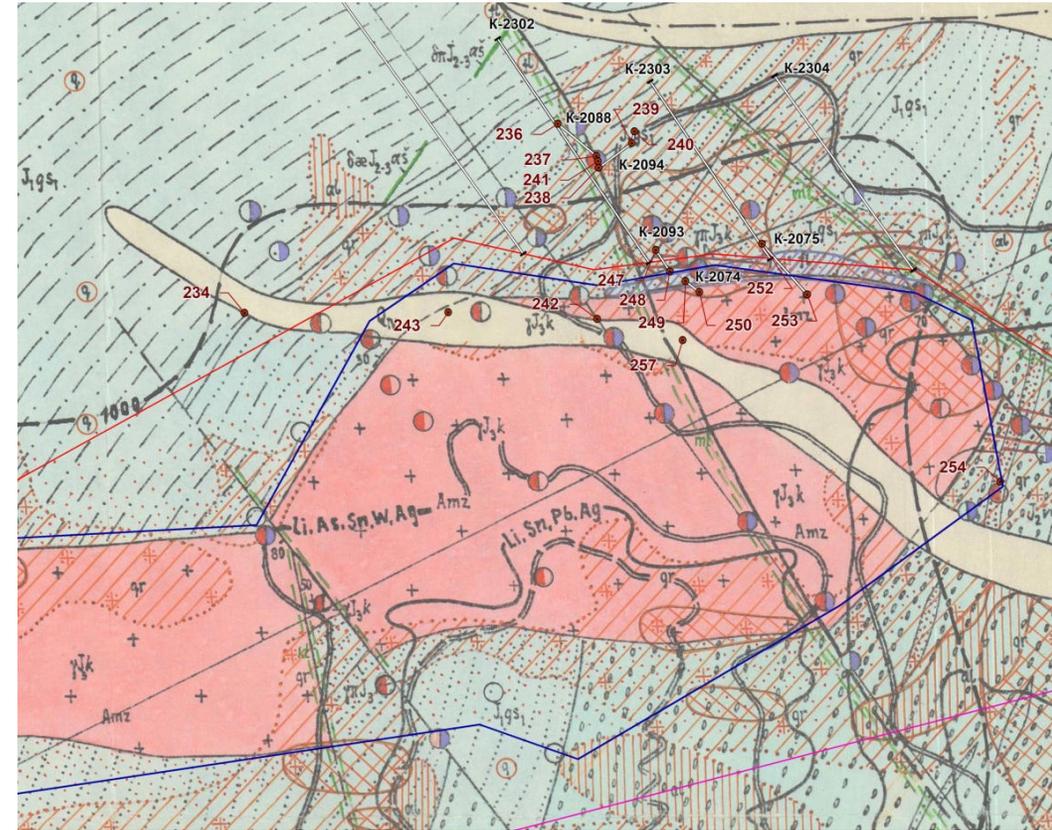
- Лабораторно-аналитические исследования
- Камеральные работы
- Изготовление и поставка оборудования по переработке руды на месторождение
- Защита проекта ОПР в ЦКР
- Организация ОПР с производительность 200-500 тыс. тонн руды в год
- Подготовка ТЭО постоянных кондиций и защита запасов
- Подготовка проекта отработки месторождения производительностью 1-1,5 млн тонн.

Новые рудные типы месторождений

ХМЗ получило поисковую лицензию в Забайкалье на изучение новых типов рудного сырья – грейзены в экзоконтактах массивов редкометальных гранитов.

Княжеское проявление литиевых руд расположено в экзоконтакте Ачиканского массива амазонитовых гранитов. Рудные образования представлены грейзенами и грейзенизированными разновидностями осадочных пород, чаще всего песчаниками, реже алевролитами. Основную массу грейзенов составляют литиевые слюды (циннвальдит и лепидолит), кварц, топаз, флюорит; в небольшом количестве отмечаются альбит, калиевый полевой шпат, карбонаты кальция. Рудные минералы представлены касситеритом и пиритом; в незначительных количествах присутствуют молибденит, галенит, арсенопирит и колумбит. Спектральный анализ монофракций показал, что подавляющие концентрации лития связаны со слюдистым (лепидолит-циннвальдитовым) материалом.

Рудная зона имеет жиллообразную форму, четкий контакт с гранитами и протяженность около 600 метров с небольшими перерывами. Мощность зоны колеблется от 2-4 м до 10-12 м, редко до 30 м. Он погружается на восток под углами 50-70 градусов и прослежен на глубину 90-120 метров. Основными являются крутопадающие рудные тела и зоны, их мощность колеблется от 6 до 12 метров, протяженность рудных зон около 250 метров, редко до 500 метров. Вертикальный диапазон оруденения достигает 150 метров. Структура всех типов рудных зон однородна. В центре проходит жила или зона прожилкового окварцевания, вдоль которой проходит кайма грейзенов слюды, постепенно переходящих в грейзенизированные и неизменные песчаники..



Авторские запасы и ресурсы на Княжеском участке около 25 млн тонн руды и 225 тыс. тонн Li_2O (при среднем содержании 0,7%).

Оруденение имеет сложный характер, прерывистое, распределение оксида лития неравномерное. Содержание оксида лития в рудах от 0,06 до 2,45%, оксида рубидия от 0,023 до 0,356% (среднее 0,231%), оксида цезия ~ 0,01%. Проведенный гравитационный анализ в тяжелой жидкости, химический и минералогический анализы фракций руды показывает, что повышение качества концентрата ограничивается ~ 2,0% по оксиду лития. Слюды находятся в связанном виде даже в самых тонких классах, не обособлены и представлены тонкой вкрапленностью в порообразующих минералах, что делает практически невозможным получить концентрат приемлемого качества механическими методами. В связи с тонким прорастанием ценных компонентов в порообразующих минералах и незначительной разницей плотности минералов исследования гравитационными методами обогащения малоэффективны. В то же время при флотационном обогащении с получением слюдяного концентрата из грейзенов достигаются показатели, близкие к предельно возможным для механического обогащения. Однако использование флотации проводилось на рудах с низкими содержаниями оксида лития с целью снижения фронта основного метода переработки – гидрометаллургического.

Были проведены исследования по крупнокусковому обогащению аналогичных руд рентгенометрическим методом. Показана перспективность данного метода, однако эффективность не была определена, поэтому обогащение крупнокусковыми методами требует уточнения.



Последовательность решения геологических задач на участке недр Княжеский

Этап 1: поисковые работы

- Провести рекогносцировочные работы, наметить положение подъездных дорог и базового лагеря, определить место и координаты заложения траншей по результатам работ предшественников и передать треки и координаты для получения разрешения по использованию земель и лесов под нужды геологоразведочных работ;
- Произвести работы по очистке лесных массивов (дорог) для проезда техники к местам осуществления работ, осуществить рубку магистралей (без вырубki профилей), вынос контура лицензии на стыках границ;
- Провести поисковые маршруты с отбором штуфных проб;
- Осуществить камеральную обработку данных поисковых маршрутов, сопоставление с данными предшественников, выявление аномальных участков и предполагаемых рудных зон, на основе полученной информации – составление карт и планов масштаба 1:5000 – 1:2000;
- Вскрыть известные рудные зоны канавами с применением техники по сети через 200-400 м в том числе в пределах контура подсчета запасов
- Провести отбор представительной технологической пробы по вскрытым интервалам канав 3000 кг.;
- Выполнить необходимый комплекс опробовательских и камеральных работ;
- Провести бурение
- Защитить запасы

Этап 2: проведение ОНР и подготовка ТЭО постоянных кондиций

Этап 3: подготовка проектов обогатительной фабрики и гидро-металлургического завода.

Перспективные нетрадиционные типы месторождений лития в РФ

Глины

- Кроме традиционных типов в Российской Федерации можно ожидать обнаружение новых типов литиевых месторождений при целенаправленных поисках – в данном случае разговор идёт о глинах и цеолитах.
- Использование новых типов сырья для получения батарейных материалов может иметь ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами в отношении себестоимости добычи, обогащения и гидрометаллургического передела, то есть развивая новые сырьевые источники и технологии их переработки мы можем получать продукты с более низкими затратами. К тому же, месторождения литиевых глин и цеолитов, как правило имеют крупные запасы и в процессе переработки попутно можно получать минеральные удобрения (сульфат калия).

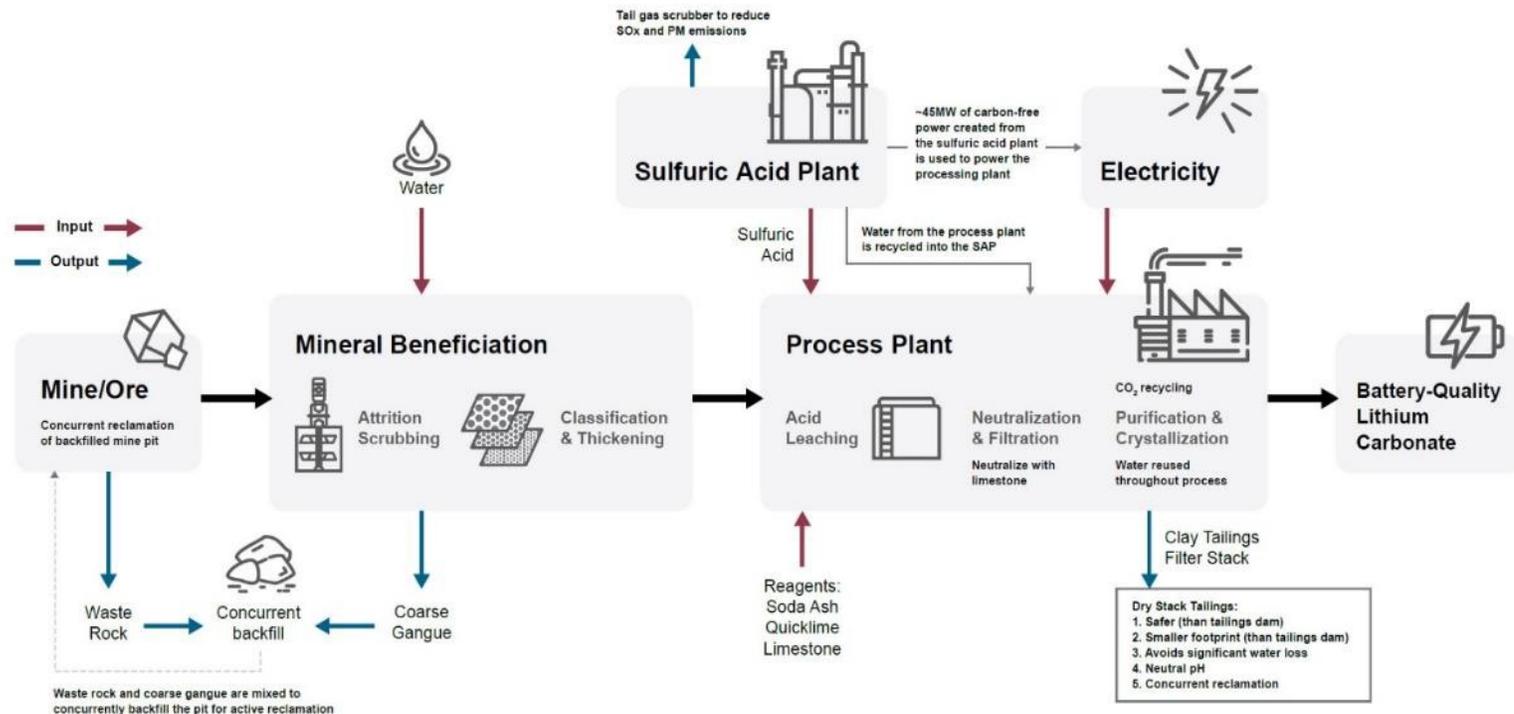
Табл.1. Месторождения глин по миру.

Company	Project	Resource (mt)	Li (ppm)	Contained Li ₂ O ('000t)	Li Metal ('000t)	Contained LCE ('000t)
Lithium Americas	Thacker Pass	1,754	2,036	8,829	3,571	19,100
American Battery Tech Co.	Tonopah Flats	5,294	561	7,344	2,970	15,809
American Lithium	TLC	2,538	790	4,965	2,008	10,690
Ganfeng Lithium	Bacanora	559	2,962	4,026	1,657	8,817
Century Lithium	Clayton Valley	1,304	905	2,922	1,183	6,300
Ioneer	Rhyolite Ridge	146	1,600	578	234	1,250
Rio Tinto	Jadar	136	1.860	2,530	1,175	6,256
Кух Дейл	Монголия	400	1800	1,820	719	3,825

- Наиболее изученным сегодня можно считать месторождение Thacker Pass Project Humboldt County, Nevada, USA.
 - ТЭО подготовлено в 2022 г.
- Запасы месторождения составляют:

Table 1-3 Mineral Reserves Estimate as of November 02, 2022

Category	Tonnage (Mt)	Average Li (ppm)	Lithium Carbonate Equivalent Mined (Mt)
Proven	192.9	3,180	3.3
Probable	24.4	3,010	0.4
Proven and Probable	217.3	3,160	3.7



- На этих запасах планируется вести добычу в течении 40 лет с переработкой 1,7 млн тонн руды на первом этапе и 4 млн тонн руды на втором этапе , за 40 лет жизни предприятия планируется произвести 2,7 млн тонн карбоната лития с себестоимостью 6740\$ за тонну карбоната.
- Проект гидрометаллургической переработки глин включает в себя строительство завода по производству серной кислоты.

Цеолиты

Ещё одним перспективным типом литиевого сырья могут быть цеолиты генетически связанные с кислыми лавами и пирокластикой. Так в Мексике в провинции Чиахуахуа разрабатывается месторождение цеолитов, которые реализуются как агротехническое сырье. При опробовании в них установлены промышленные содержания лития (Li – 0,2-0,44%. При опробовании бортов долины вертикальный размах оруденения составляет не менее 50 метров. Таким образом в цеолитовом месторождении параллельно сформировано месторождение лития.



Проблемы развития добычи лития

Все месторождения РФ были разведаны 60 лет назад (кроме Алахинского) с низким качеством аналитических и технологических исследований, запасы не соответствуют современным требованиям и на их основе нельзя подготовить проект отработки месторождения. Государство выставляет эти запасы, как кондиционные, но на каждом месторождении требуется разведка и пересчёт запасов по современным требованиям. Оценить сегодня экономические параметры разработки на основе «древних» запасов - невозможно, однако представляется возможным укрупнённо оценить месторождения по срокам возврата инвестиций и по ряду других параметров.

- **Инфраструктура (дороги, ЛЭП, посёлки, вода), логистика.** Всё известные месторождения РФ находятся вдалеке от морских портов (за исключением Мурманских) и ко всем месторождениям требуется строительство подъездных путей и линий электропередач.
- **Требуемая доразведка.** Все значимые месторождения в РФ (за исключением Алахинского) были разведаны до 1960 г., материалы, полученные во время разведочных работ, ни в какой степени не соответствуют существующим сегодня требованиям.
- **Отсутствие технологий обогащения, отечественного оборудования.** В течении последних 30 лет добыча лития в РФ не проводилась и сегодня нет опыта по применению современных технологий при обогащении литиевых руд и переработки концентрата. Также в РФ сегодня не производится обогатительного оборудования для обогащения лития.
- **Несовершенство законодательства.** Это касается всех видов сырьевых источников.
- Для «древних» месторождений – отсутствие технологии и оборудования не позволяет составлять проект отработки, на таких объектах необходимо проводить опытно-промышленные работы для отработки новых технологий и оборудования.
- Гидроминеральное сырьё – неясно, как ставить на баланс запасы попутных вод, можно ли использовать попутные воды как отходы
- Новые типы месторождений – нет методических указаний и требований как вести поиски и разведку новых типов, по какой сети считать запасы Техногенные месторождения – государство подходит к оценке таких объектов как к первично природным, что категорически неправильно. Нельзя рассматривать такие образования как природные, искать в них природные закономерности распределения материалов и требовать от недропользователя полного комплекса геологоразведочных работ (один раз такие работы уже проводились) Возможно есть смысл разрешать добычу в рамках ОНР или в про мышленных масштабах на условиях предпринимательского риска.

Возможные пути ускорения начала добычи лития в РФ и повышения её эффективности

1. Разрешение производства опытно промышленных работ (ОПР) при проведении аукционов на «древние» месторождения

Победители аукционов на литиевые месторождения, запасы которых были утверждены более 50 лет назад **должны иметь право** на производство ОПР в процессе переработки месторождений. Такие работы позволят в кратчайшие сроки (1-2 года) приступить к выпуску литиевых концентратов на мобильном модульном оборудовании для поддержания отечественных заводов. Это также позволит отработать и применять в дальнейшем при основном производстве наиболее эффективные технологии обогащения. Для недропользователя частичное снижение инвестиционных затрат при реализации продукции ОПР позволит более интенсивно готовить проекты и снижать технологические риски. Практика «пилотного производства» широко применяется в мире- необходимо также применять её и в РФ.

2. Изучение новых источников сырья и включение их в Закон о ТРИЗах.

Включение литиевых руд (слюды, глины, гидроминеральное сырьё) в «Постановление Правительства РФ от 19.09.2020 N 1499 (ред. от 12.02.2022) "Об установлении видов трудноизвлекаемых полезных ископаемых, в отношении которых право пользования участком недр может предоставляться для разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых". Это позволит в кратчайшие сроки провести полномасштабное изучение методики разведки, добычи и переработки литиевых руд с применением современных отечественных технологий на новых типах месторождений лития (слюды, глины, гидроминеральное сырьё). Кроме этого такие работы позволят разработать не только новые отечественные технологии переработки новых типов руд, но и позволит подготовить отечественное оборудование для переработки таких руд.

3. Разработка новых подходов к техногенным образованиям

Сегодня подход к изучению первичных и техногенных месторождений со стороны регулирующих и контролирующих органов одинаков, что в корне неправильно. Один раз полезные ископаемые в техногенных образованиях уже прошли полный цикл изучения и постановки на баланс, зачем требовать повторного проведения цикла таких работ? Недропользователям, которые готовы работать с техногенными образованиями необходимо выдавать сквозные лицензии, разрешать проведение ОПР на ранних стадиях и предоставить упрощённый порядок постановки баланс техногенных месторождений. Разработка упрощённых, здравых норм работы с техногенными образованиями позволит не только улучшить ситуацию с добычей редких металлов, в том числе и лития, но также позволит улучшить экологическую ситуацию в ряде регионов.

Возможные пути ускорения начала добычи лития в РФ и повышения её эффективности

4. Создание научно-производственного центра «Литий» по переработке литиевых руд.

Для скорейшего развития полного цикла производства батарейных литиевых продуктов предлагается создать научно-производственный центр по литию с участием Всероссийского института минерального сырья (ведущее учреждение в РФ по изучению обогащения редких металлов) и АО ХМЗ (современное предприятие по получению высокочистых литиевых продуктов).

В целом для такого центра могут быть сформулированы следующие основные направления работ:

- разработка современных способов рудоподготовки (предконцентрации) и обогащения традиционных видов руды- сподуменовых пегматитов, проведение лабораторных и полупромышленных испытаний руд с получением сподуменового концентрата, рекомендации по разработке отечественного обогатительного оборудования (рентгено-люминисцентная сепарация, тяжелосредная сепарация и др.);
- изучение и разработка новейших методов гидрометаллургического передела сподуменового концентрата в батарейные продукты: механоактивация, применение галогенидов, автоклавная переработка и др. Проведение лабораторных и полупромышленных испытаний;
- разработка методологии переработки нетрадиционного сырья (бедные сподуменовые руды, литиевые слюды в грейзенах и скарнах, сподуменовые и слюдяные граниты, глинистые литиевые руды);
- разработка методов извлечения лития из гидроминерального сырья (попутные нефтяные воды, воды кимберлитовых трубок, термальные воды и т.д.).

Такой центр позволит получить в РФ полную цепочку получения конкурентных батарейных литиевых продуктов с использованием отечественного оборудования и новых методов обогащения и гидрометаллургического передела литиевого сырья разных генетических типов.

В этом направлении сделан ряд наработок, которые требуют дальнейшего развития с привлечением государственной и поддержки и поддержки заинтересованных предприятий.

Сделаны наработки по следующим направлениям:

- Тяжелосредная сепарация (в том числе и по развитию аппаратной базы);
- Рентгено-люминисцентная сепарация в процессе рудоподготовки сподуменовых руд;
- Механо-химическая активация сподуменового концентрата для конверсии в карбонат без декрепитации;
- Разработка автоклавной технологии переработки концентрата в карбонат без декрепитации;
- Разработка технологии извлечения лития из рассолов.

Возможные пути ускорения начала добычи лития в РФ и повышения её эффективности

5. Разработка федеральной программы по сырьевой базе редких металлов

Для воспроизводства МСБ и изучения возможностей скорейшего введения в строй нетрадиционных источников сырья предлагается разработать программу для Росгеологии по изучению новых источников сырья и оценке техногенных месторождений редких металлов. Реализация такой программы позволит выявить и оценить новые источники редких металлов.

6. Федеральная и региональная поддержка в развитии инфраструктуры

Такая поддержка позволит ускорить ввод в эксплуатацию месторождений лития.

7. Государственная поддержка, программа финансирования, субсидирования освоения литиевых месторождений

Предложения о господдержке были широко представлены в плане мероприятий по развитию отрасли редких и редкоземельных металлов на период 2022-2024 гг.

Если будут реализованы меры по поддержке литиевой отрасли (не на словах) и упрощён порядок по предоставлению прав на опытно-промышленную добычу, первая продукция из отечественного литиевого сырья может быть получена уже в 2024 г. на забалансовых отвалах Завитинского месторождения.