

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ В РОССИИ

Необходимость восстановления и развития редкометалльной отрасли стала очевидной и для России. До 1990 г. СССР занимал второе место в мире по производству редких земель — 8,5 тыс. т / год при потреблении 6 тыс. т, остаток направлялся на экспорт. В 2018 г. в РФ произведено 2,6 тыс. т продуктов РЗЭ, импорт — 1,1 тыс. т (Китай и Эстония), экспорт — 2,6 тыс. т (Эстония). Общемировое потребление редкоземельных элементов в пересчете на оксиды (РЗО) в 2020 г. — 230 тыс. т (2016 г. — 145, 2018 г. — 184 тыс. т), из них «магнитные» — Pr, Nd, Tb и Dy — составили 42 % по объему и 93 % по стоимости. В 2019 г. — соответственно 38 и 91 %.

Прогноз — нарастающий дефицит на мировом рынке неодима и празеодима с 2022 г., диспрозия — с 2021 г., а тербий уже дефицитен с середины предыдущего десятилетия. В сравнении с 2020 г. к 2030 г. их потребление обещает вырасти в два раза.

Россия располагает различными источниками редкоземельных металлов, которые представлены:

- природными и техногенными месторождениями, учтенными государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ;
- техногенными образованиями со значительными прогнозными ресурсами;
- существенным количеством монацитового концентрата в Госрезерве.

Ловозерское титан-редкоземельно-ниобий-танталовое месторождение (Мурманская область) — настоящее время единственный отечественный источник РЗЭ. Ловозерский ГОК работает на треть проектной мощности с низкой экономической эффективностью.

Производимые на АО «СМЗ» из лопаритовых концентратов продукты РЗЭ практически целиком отправлялись на экспорт в NPM Silmet (Эстония) (рис. 42). Возможно увеличение мощности производства (в том числе за счет эвдиалитовых руд участка Аллуайв Ловозерского месторождения), но для этого потребуется государственная поддержка предприятия.

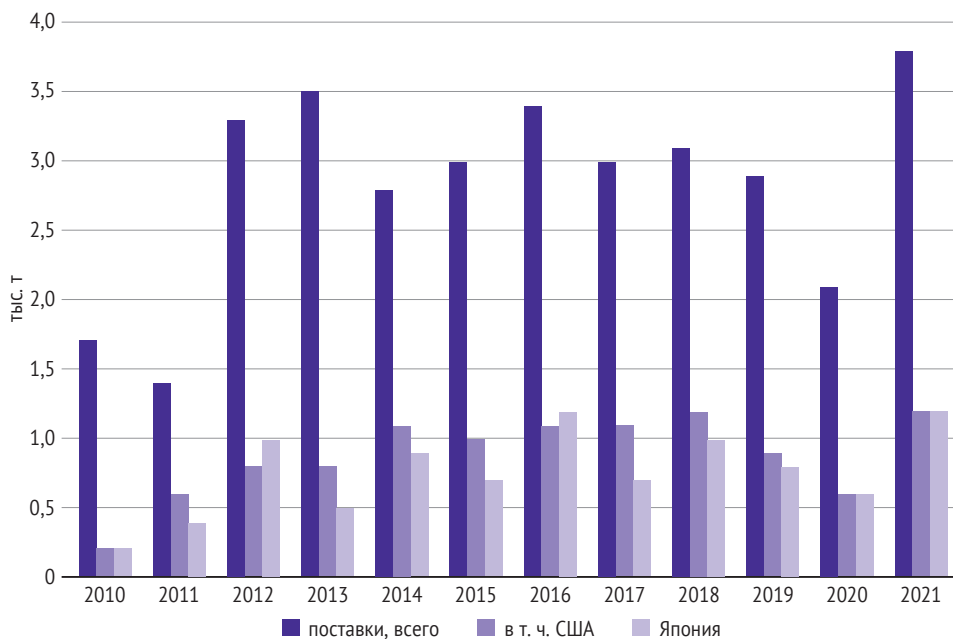


Рис. 42. Поставки редкоземельных металлов (РЗЭ) NPM Silmet (Эстония)

Катугинское редкоземельно-ниобий-танталовое месторождение (Забайкальский край) детально разведано и подготовлено к освоению. Среднее содержание TR_2O_3 в руде — 0,37%, но при этом доля иттриевой группы — более 50%. Наличие значительных резервов для прироста запасов. До 2017 г. числилось в распределенном фонде недр (подготавливалось к освоению ЗАО «Катугино»). Одна из основных трудностей — отсутствие в России разделительных производств.

Томторское и Чуктуконское (скандий)-редкоземельно-ниобиевые месторождения (Республика Саха (Якутия) и Красноярский край) разведаны. Крупные по запасам и богатые по содержанию. Помимо РЗЭ и скандия могут быть получены ниобиевая и прочая товарная продукция. Сложные географо-экономические условия. Необогатимые руды сразу подвергаются дорогостоящей химико-металлургической переработке. Отсутствие опытно-промышленной добычи. Получение концентратов и/или отсутствие сбыта всего спектра товарной продукции делает освоение нерентабельным.

Склад монацитового концентрата под Красноуфимском из КНДР. Запасы — 82 тыс. т (~44 тыс. т TR_2O_3). Технологии разработаны. Основной вопрос — утилизация концентрата тория.

Отвалы фосфогипса — отхода производства минеральных удобрений (Воскресенск, Балаково, Череповец, Мелеуз, Волхов, Уварово). Накопленное количество фосфогипса при перерабатывающих предприятиях колеблется от 10 до 80 млн т (суммарно в России — не менее 200 млн т).

Специалистами ООО «ЛИТ» ГК «Скайград» (г. Королев) разработана технология извлечения редких земель из фосфогипса (и другого фосфорного сырья) с последующим разделением на индивидуальные оксиды. На основе данных разработок в Московской области создана первая очередь экспериментального производства по разделению РЗЭ мощностью 140 т/год (планируемая мощность производства — 1500 т/год).

Себестоимость группового концентрата РЗЭ — около 7–10 дол./кг, технология рентабельна только при комплексной переработке фосфогипса (в строительные материалы типа «гипрок»).

«Идея химизации требует от апатит-нефелиновой промышленности <...> получения из апатита фосфорной кислоты, фтора, стронция и редких земель»¹.

Производство апатитового концентрата в конце 1980-х гг. достигало 20 млн т / год. В настоящее время действует семь рудников, три обогатительные фабрики (рис. 43–45). Владельцы месторождений:

- Группа «ФосАгро» — ~10,5 млн т концентрата в год;
- АО «СЗФК» — 1,2 млн т / год.

Только за последние восемь лет с хибинским апатитом добыто и списано с баланса количество РЗЭ, равное общим запасам категории В участка Буранный Томторского месторождения. Всего за годы существования объединения «Апатит» выпущено более 700 млн т апатитового концентрата, содержащего ~1 % оксидов РЗЭ.

Среди объектов с незавершенной стадией ГРП в качестве наиболее перспективного источника редких земель можно выделить эвдиалитовые руды.

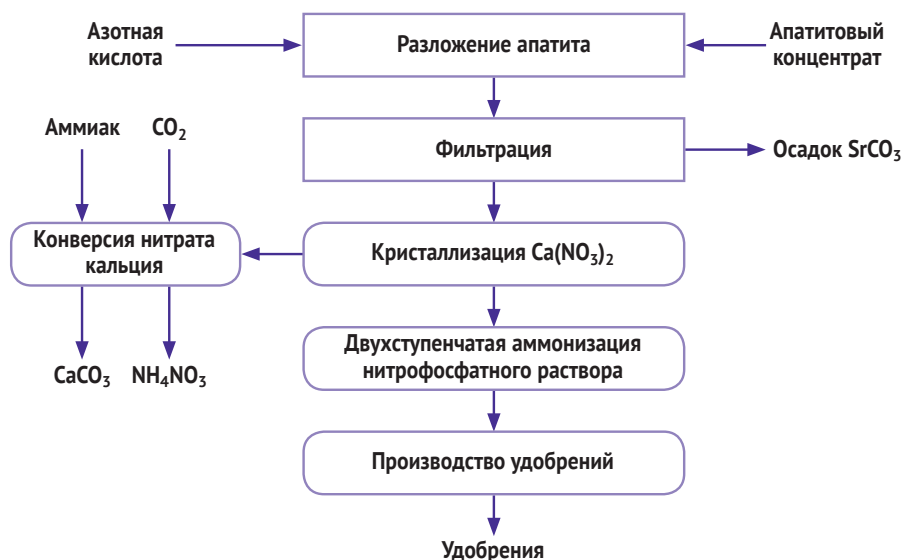


Рис. 43. Принципиальная схема переработки апатитового концентрата азотнокислым способом

¹ Ферман А. Е. Наш апатит. М. : Наука, 1968. С. 133.

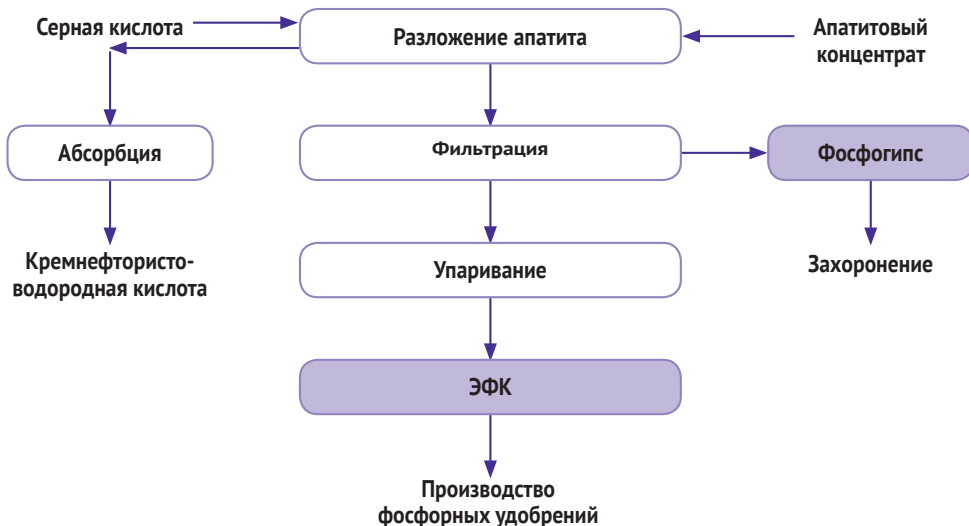
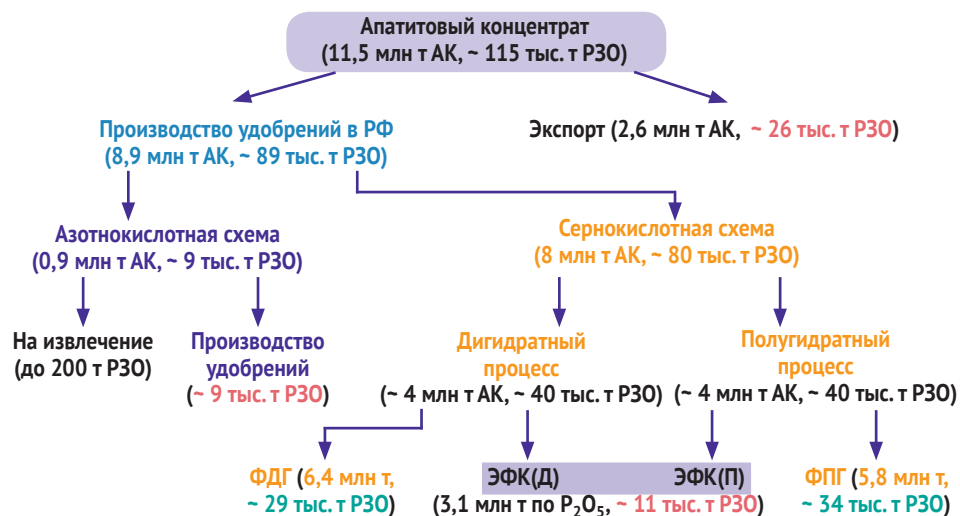


Рис. 44. Принципиальная схема переработки апатитового концентрата сернокислым способом



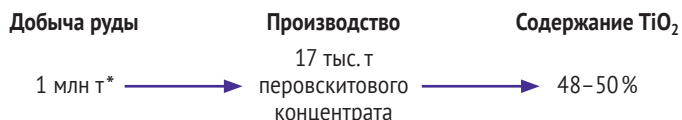
Всего ежегодно:
 Безвозвратные потери – ~ 46 тыс. т
 Потенциально возвратные потери – ~ 63 тыс. т

Рис. 45. Распределение PЗЭ в процессах производства удобрения из апатитового концентрата

Руды могут быть эффективно обогащены методами магнитной и электрической сепарации; глубокая переработка эвдиалитового концентрата, содержащего 2,0–2,2% PЗЭ (~40% иттриевой группы) и характеризующегося низкой радиоактивностью, возможна кислотными методами.

Для определения более точных перспектив Аллуайва и других объектов (цирконий-иттриево-земельное Сахарйок; проявления ионно-адсорбционных руд) с апробированными прогнозными ресурсами требуется их доизучение и проведение современной геолого-экономической оценки (рис. 46).

1-й этап: горно-обогатительный комбинат



* Базовая годовая производительность.

Перспективный 3-й этап — создание на базе предприятия рафинировочного комплекса для производства высококачественных ниобия, тантала и редкоземельных металлов.

2-й этап: химико-металлургический комплекс



Производственные мощности и пропускная способность инфраструктуры позволяет перерабатывать до 5 млн т руды в год и производитькратно больше готовой продукции без существенных дополнительных затрат

Рис. 46. Перовскит-титаномагнетитовые руды Африканды

Возможное производство редкоземельных продуктов — до 70–80 тыс. т TR_2O_3 (см. табл. 8). Но рынка для них нет.

Опыт Китая наглядно показывает, что производство редкоземельных продуктов только тогда станет устойчивым, если внутренний рынок их потребления составит около 70% от общего производства (рис. 47, 48).

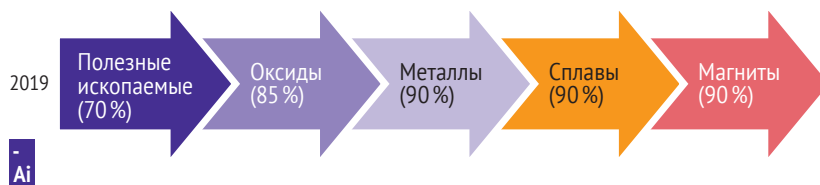


Рис. 47. Доля Китая в производстве видов редкоземельной продукции

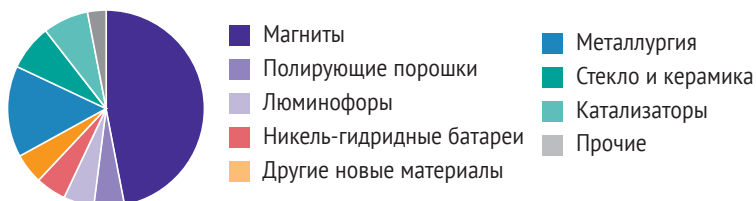


Рис. 48. Структура потребления РЗЭ в Китае, %

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Таблица 8. Возможный выпуск редкоземельной продукции из различных источников РФ

Объект	Содержание TR ₂ O ₃ , %		Запасы TR ₂ O ₃		Мощность по переработке руд/сырья, тыс. т/год	Возможный выпуск продукции в год	
	в руде/сырье	в концентрате	кат. В+С1+С2, тыс. т	доля от РФ, %		TR ₂ O ₃ , тыс. т	прочие редкие металлы
Собственно редкометалльные комплексные месторождения							
Ловозерское	1,21	31	7180,8	21,7	500	3,3	70 т Ta ₂ O ₅ , 870 т Nb ₂ O ₅
Катугинское	0,37	15	791,8	2,4	600	1,4	62 т Ta ₂ O ₅ , 1150 т Nb ₂ O ₅ , 6900 т ZrO ₂
Чуктуконское	4,75		2862,3	8,6	100	4,0	720 т Nb ₂ O ₅ , 3 т Sc ₂ O ₃ в 0,11%-ном концентрате
Томторское, уч. Буранный	10,59		3232,9	9,7	150	13,5	4520 т Nb в ферроннобии, 34 т Sc ₂ O ₃ в 6%-ном концентрате
Комплексные месторождения с попутными РЗЭ							
Хибинские апатиты, всего					8000	34,0	57 тыс. т SrO
– по серно-кислотной схеме	0,31	1,1	10473,8	31,6	7000	28,0	
– по азотно-кислотной схеме					1000	6,0	
Белозиминское (КВ)	0,90	46	1645,9	5,0	3600	6,0	5200 т Nb в ферроннобии
Зашихинское	0,07	2,2	44,4	0,1	1020	0,1	220 т Ta ₂ O ₅ , 2300 т Nb ₂ O ₅ , 3500 т ZrO ₂
Техногенные месторождения							
Кулариты	0,28	53	12,9	0,04	1073	2,3	–
Техногенные образования							
Фосфогипс	0,45	60	–	–	1000	2,0	–
Красные шламы	0,21	–	–	–	1500	0,6	36 т Sc ₂ O ₃ , 9 т Ga, 4200 т Ti–Zr концентрата
Государственный резерв							
Моначит	–	54	–	–	8	4,0	–
ИТОГО						71,2	

Подводя итоги (рис. 49) данного раздела, можно сделать следующие выводы.

1. Как известно, проблема редких земель может быть решена в случае организации их извлечения при переработке хибинских апатитовых концентратов. Технологии извлечения РЗО из апатитовых концентратов при переработке их азотнокислотным способом давно известны, были испытаны в промышленных условиях и на их основе организовано производство РЗЭ в СССР, ГДР, Польше и других странах. Однако сравнительно высокая себестоимость получения редких земель по сравнению с бастнезитовыми и другими редкоземельными концентратами и демпинговые цены КНР на редкие земли привели к закрытию этих производств. В настоящее время ожидается, что производство редких земель из апатитовых концентратов при их переработке азотнокислотным способом будет восстановлено и расширено. При переработке апатитовых концентратов серноокислотным способом редкие земли примерно на 70 % переходят в фосфогипс, где их содержание составляет 0,5–0,6 % TR_2O_3 . Технологии переработки фосфогипса с целью получения строительных материалов и с извлечением редких земель и стронция требуют доработки.

2. Проблемы редких земель неразрывно связаны с проблемой важнейших редких металлов — ниобия и тантала. Основные запасы Nb и Ta России заключены в комплексных месторождениях этих металлов. В них же в качестве одного из основных компонентов присутствуют редкие земли, которые в стоимости товарной продукции составляют около 30 %. В этой связи масштабы производства TR, Nb и Ta должны быть увязаны с возможностью реализации не только этих, но и всех других компонентов, учтенных при разведке (Sc, P, Zr и др.). Иначе разработка месторождений может быть убыточной. Поэтому проблема обеспечения промышленности танталом, ниобием и редкими землями должна решаться комплексно.

Изменение стоимости РЗ продукции по мере увеличения глубины ее переработки, относительные единицы (UNCTAD)

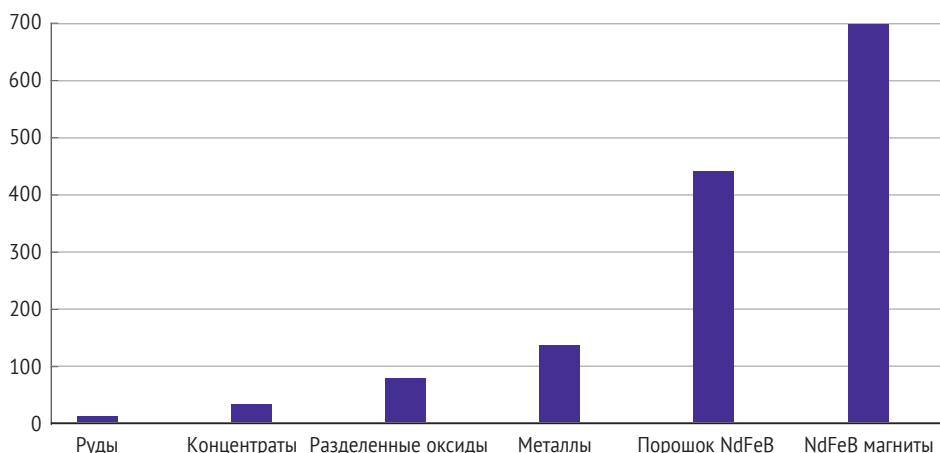


Рис. 49. Анализ Минпромторга РФ (2019 г.) по внутреннему рынку РЗЭ в России



Потребности в редкоземельных металлах

ГАЗО-, НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА



ПРИМЕНЕНИЕ: *La, Ce, Nd, Pr*
- катализаторы;
9 предприятий.
593,5 тонн РЗМ

МЕТАЛЛУРГИЯ



ПРИМЕНЕНИЕ: : *La, Ce, Nd, Er, Dy, La, Sc, Y*
- сплавы для транспортного машиностроения;
- сплавы для применения в нефтегазовой отрасли.
25 предприятий.
155,6 тонн РЗМ

СТЕКЛЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



ПРИМЕНЕНИЕ: *La, Ce, Nd*
- в качестве добавки при изготовлении стекла;
- полировка оптических стекол
10 предприятий.
97,3 тонн РЗМ

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА



ПРИМЕНЕНИЕ:
Gd, Er
- выгораемые добавки в оксидном урановом топливе реакторов ВВЭР и РБМК;
Госкорпорация «Росатом»
9,7 тонн РЗМ

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ



ПРИМЕНЕНИЕ: *Nd, Dy, Pr, Sm, Gd, Tb*
- постоянные магниты.
5 предприятий. **19,6** тонн РЗМ.

ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС



ПРИМЕНЕНИЕ:
- датчики момента навигационных систем (гироскопы, акселерометры). РЗМ;
- жаропрочные сплавы для военного двигателестроения. РЗМ;
- постоянные магниты. РЗМ;
- лазеры. РЗМ;
- оптические системы (полировочные пасты). РЗМ;
- никель-металлогидридные батареи. РЗМ;
- люминофоры. РЗМ.

153 предприятия



Планируемые результаты реализации Стратегии в части РЗЭ

Объемы производства разделенных соединений РЗЭ и потребность промышленности, т (доля от мирового уровня, %)

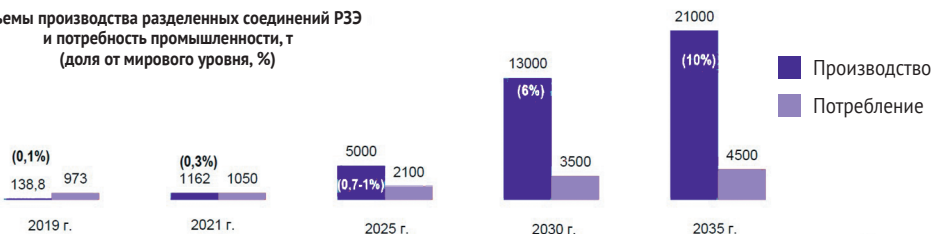


Рис. 49 (окончание). Анализ Минпромторга РФ (2019 г.) по внутреннему рынку РЗЭ в России

Таким образом, решение проблемы производства РЗЭ — восстановление добычи руды на Ловозерском ГОК до 10 тыс. т лопаритового концентрата (50% проектной мощности), т. е. примерно 3,5 тыс. т TR_2O_3 , и организация извлечения РЗО из апатитовых концентратов при их переработке азотнокислотным способом (более 5 тыс. т TR_2O_3) — позволит удовлетворить текущие и перспективные потребности отечественной промышленности в редкоземельном сырье. При организации извлечения редких земель из апатитовых концентратов при их переработке серноокислотным способом теоретический объем производства РЗО может превысить 20 тыс. т, что резко увеличивает возможности экспорта. В ближайшей перспективе в промышленное освоение может быть введено Катугинское месторождение. При этом будут полностью удовлетворены потребности РФ в ниобиевом и танталовом сырье (с учетом функционирования Ловозерского ГОК).

Целесообразность освоения Томторского месторождения при реализации упомянутых проектов сомнительна, так как в стоимости товарной продукции редкие земли составляют от 50 до 70%. Целесообразность освоения этого месторождения может быть продиктована заинтересованностью ведущих стран мира в редкоземельном, скандиевом и ниобиевом сырье.

Совокупная потребность в РЗО вместе с Россией может достигнуть 60–80 тыс. т/год. В этом случае на данном объекте должна быть создана на паритетных началах международная компания с соответствующими капиталовложениями на полный цикл освоения, добычи, транспортирования и переработки томторских руд. При этом обязательным условием должно быть создание перерабатывающих мощностей на территории России. Вряд ли Китай будет поддерживать этот проект.

Перспективы освоения Чуктуконского месторождения напрямую увязаны с реализацией программы развития Нижнего Приангарья. Объект нуждается в технологическом доизучении.

Выполнение перечисленных проектов не только позволит удовлетворить потребности России в редкоземельном, танталовом и ниобиевом сырье, но и выйти на мировой рынок редкометалльных продуктов.