

**К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

УДК 669.85/86:66.094.403

**СОЛИКАМСКИЙ МАГНИЕВЫЙ ЗАВОД – СТАРТОВАЯ ПЛОЩАДКА  
ИННОВАЦИЙ В РОССИИ****Д.Л. Мельников**, главный инженер, **А.В. Чуб**, заместитель начальника  
опытного цеха, \***Д.В. Дробот**, заведующий кафедрой

ОАО «Соликамский магниевый завод», Соликамск, Пермский край, 618441 Россия

\* кафедра Химии и технологии редких и рассеянных элементов им. К.А. Большакова

МИТХТ им. М.В. Ломоносова, Москва, 119571 Россия

e-mail: dvdrobot@mail.ru

**С**татья посвящена истории развития производства редкоземельных элементов (РЗЭ) в СССР, изменениям, которые произошли в связи с распадом Союза, роли ОАО «Соликамский магниевый завод» (ОАО «СМЗ») в редкометалльной промышленности сегодня. Показано, что внедрение хлорного метода переработки лопаритового концентрата позволило включить в технологический цикл порядка четверти объема производимого при электролизе  $MgCl_2$  хлора и заложило фундамент экономической устойчивости предприятия. Намечены перспективы развития производства РЗЭ в нашей стране.

**Ключевые слова:** редкометалльная промышленность, редкоземельные элементы, лопаритовый концентрат, апатит, бастнезит, хлорирование, плав хлоридов.

**Предисловие**

Философское обобщение научного знания, интегрирование в это пространство частных достижений отдельных областей науки и непостижимо точное прогнозирование доминирующих векторов развития научного и, в конечном счете, прикладного знания – мозаичный портрет Владимира Ивановича Вернадского, который внес рельефный вклад в интеллектуальное сообщество нашей страны и планеты в целом. Работы В.И. Вернадского, его мысли и действия – пример подлинной независимости и свободы личности.

Значима и неоспорима роль В.И. Вернадского в становлении учебного и научного процессов на кафедре химии и технологии редких и рассеянных элементов им. К.А. Большакова нашего Университета. По его инициативе создан музей минералогии, им разработаны лекционные курсы по этому предмету, созданы учебные пособия, по которым учились слушательницы Московских Высших женских курсов (МВЖК). И сегодня студенты, обучающиеся на кафедре ХИТРЕ, изучают эту дисциплину. Слушали ее и авторы публикации.

Не стыдясь громких слов, можно обоснованно утверждать, что существование важнейшего научного и технологического направления – современной High-Tech технологии редких и рассеянных элементов есть очевидный результат опередивших время мыслей и работ В.И. Вернадского.

Производство всех видов редкоземельной продукции в СССР находилось в ведении двух министерств: цветной металлургии и среднего машиностроения и составляло, по разным оценкам, от 8.5 до 9 тыс. тонн [1, 2]. Редкоземельное производство в СССР отличали многоступенчатая структура и широкая география транспортно-сырьевых потоков, что было обусловлено, в том числе, особенностями директивной экономики.

Рудная база СССР была представлена тремя месторождениями: иттротросинхизитами м. Кутес-Сай (Киргизская ССР); урансодержащими специфического органогенного происхождения рудами м. Меловое на п-ове Мангышлак (Казахская ССР), и лопаритами Ловозерского месторождения, Кольский п-ов (РСФСР) (табл. 1). Из перечисленных руд только иттротросинхизиты перерабатывали с получением продуктов конечного спроса непосредственно у места добычи – на Киргизском горно-металлургическом комбинате, пос. Орловка, Киргизия.

Концентрат Мангышлака рассматривали, в первую очередь, как урановое сырье (содержание U – 0.046%). РЗЭ цериевой подгруппы ( $\Sigma$ РЗЭ ~ 0.15%) извлекали попутно на Приднепровском химическом заводе, г. Днепро-дзержинск. Концентраты тяжелых РЗЭ передавали на завод «Полиметалл», г. Москва, где производили индивидуальные оксиды высокой степени чистоты, металлы и другие продукты на основе тяжелых РЗЭ и иттрия.

Все РЗЭ ( $_{57}La \dots _{71}Lu$ ) условно делят на две группы: «легкие» (цериевая подгруппа) от  $_{57}La$  до  $_{62}Sm$  и «тяжелые» (иттриевая подгруппа) от  $_{63}Eu$  до  $_{71}Lu$ . С позиций электронного строения  $_{39}Y$  редкоземельным элементом не является, однако в силу близости химических свойств иттрия и РЗЭ (ионные радиусы  $Y^{3+}$  и  $Ho^{3+}$  практически равны и составляют 0.104 нм для иттрия и 0.1041 – для гольмия [2]), химию и технологию иттрия рассматривают вместе с РЗЭ.

Таблица 1. Характеристики рудной базы редкоземельного производства в СССР

Наименование месторождения	Место расположения	Минеральный тип руд	Основной концентрат	Химическая формула или основной состав (в %)	Производительность $\text{Ln}_2\text{O}_3^*$ , тыс. т/год
Кутес-Сай	Киргизская ССР, пос. Актюз	Фторкарбонаты	Итросинхизит	$(\text{Ce}, \text{Y})\text{FCeO}_3$	~0.5 – 1.0
Меловое	Казахская ССР, п-ов Мангышлак	Органогенные железокальциевые дедриты	Техногенное РЗ сырье	$(\text{FeO}^*\text{CaO})$ $(\text{S}-12; \text{PO}_4 - 5;$ $\text{CO}_3-4)$	~2.5
Лавозерское	РСФСР, Кольский п-ов, пос. Ревда	Титано-ниобаты	Лопарит	$(\text{Na}, \text{Ca}, \text{Ce})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$	>5.0

В основе деления лежат следующие соображения:

1. Как правило, в рудах и минералах концентрируются металлы одной из подгрупп и это, в конечном счете, определяет технологические концепции получения индивидуальных металлов и их соединений; типичными минералами, составляющими сырьевую базу элементов цериевой группы, являются лопарит, монацит, бастнезит; элементы иттриевой группы значительно меньше распространены в природе, типичным минералом, содержащим иттрий и «тяжелые» РЗЭ, является ксенотим;

2. Основные области применения материалов на основе членов ряда «легких» и «тяжелых» РЗЭ различны.

Общий объем добытого лопарита составлял в отдельные годы до 24 тыс. т/год (~ 7.5 тыс. т  $\Sigma\text{Ln}_2\text{O}_3$ ). Лопарит с 80-х гг. прошлого столетия перерабатывали приблизительно поровну в г. Силламяэ (Сланцехимический завод), Эстония, и в Соликамске, Северный Урал (Магнийевый завод – СМЗ). Лопаритовый концентрат в Эстонии перерабатывали сернокислотным методом [3]. К 1991 г. там было освоено производство индивидуальных  $\text{Ln}_2\text{O}_3$ , действующее по настоящее время.

Соликамский магниевый завод (СМЗ) официально считают старейшим в мире магниевым предприятием. Запущено в эксплуатацию 14 марта 1936 г. С 1947 г. на нем действует первый в цветной металлургии опытный цех, в котором с 1962 г. велись работы по совершенствованию технологии хлорирования лопаритового концентрата. Эта технология была перенесена с Подольского химико-металлургического завода к постоянному источнику хлора.

В 1971 г. на Соликамском магниевом заводе (ныне ОАО «СМЗ») начата промышленная переработка лопаритового концентрата хлорированием в расплаве с получением технического тетраоксида титана, суммы хлорпроизводных ниобия и тантала и концентрата хло-

ридов РЗЭ. Согласно первоначальному плану развития редкометалльного производства на СМЗ, концентрат РЗЭ предполагали перерабатывать на концентраты церия для оптической промышленности, лантана – для нефтехимии, стронция – для металлургии. Такое положение дел казалось оптимальным, учитывая, что основные потребители РЗЭ продукции находились в Европейской части СССР. Однако до 90-х гг. хлориды цериевых РЗЭ, полученные на СМЗ, направляли в Казахстан для их экстракционного разделения. Общая схема производственных связей предприятий редкоземельного комплекса СССР представлена на рис. 1.

Объективно следует оценивать обеспеченность предприятий СССР в редкоземельной продукции (по ассортименту и удельному потреблению по базовым отраслям) достаточно высоко. Об уровне качества продукции свидетельствует и тот факт, что высокотехнологичные продукты на основе РЗЭ в количестве до 1.5 тыс. т/год активно экспортировали в США, Японию, Германию. В целом Советский Союз производил около четверти мировых объемов РЗЭ, занимая общее третье место, что вполне соответствовало месту и значению цветной металлургии СССР в мире.

Помимо крупных промышленных предприятий, в СССР имелись специализированные научно-производственные организации для разработки технологии и получения образцов перспективной редкоземельной продукции. Наибольшую известность получили опытные заводы ГИРЕДМЕТА в г. Подольск и В. Пышма.

В стране была создана система подготовки высококлассных специалистов по металлургии редких элементов, в том числе, редкоземельных металлов. Большинство специалистов еще во время обучения получали серьезную научно-практическую подготовку по профессии. Это происходило благодаря тому, что производственная и учебная практика учащихся ВУЗов проводилась на действующих предприятиях и

НИИ, где с их помощью решались конкретные научные и производственные вопросы. Инженерный корпус, занятый в производстве редкоземельной продукции, пополнялся выпускниками МИТХТ, МИСиС, УПИ и других вузов.

Технологическая основа работы ОАО «СМЗ» – электролиз расплава хлоридов, содержащих хлорид магния (рис. 2). В процессе электролиза хлорида магния на каждую тонну произведенного магния получают около трех тонн свободного хлора, из которых лишь

некоторую часть используют для производственных нужд. Поэтому 40 лет назад усилиями инженеров СМЗ, ученых и инженеров московских институтов и, прежде всего, ГИРЕДМЕТА, хлор начали широко использовать как реагент для переработки лопаритового концентрата, что включило Соликамск в редкоземельный клуб СССР. На заводе до сих пор с благодарностью вспоминают имена Г.Г. Уразова, И.С. Морозова, С.П. Солякова, Л.А. Нисельсона, В.А. Крохина.

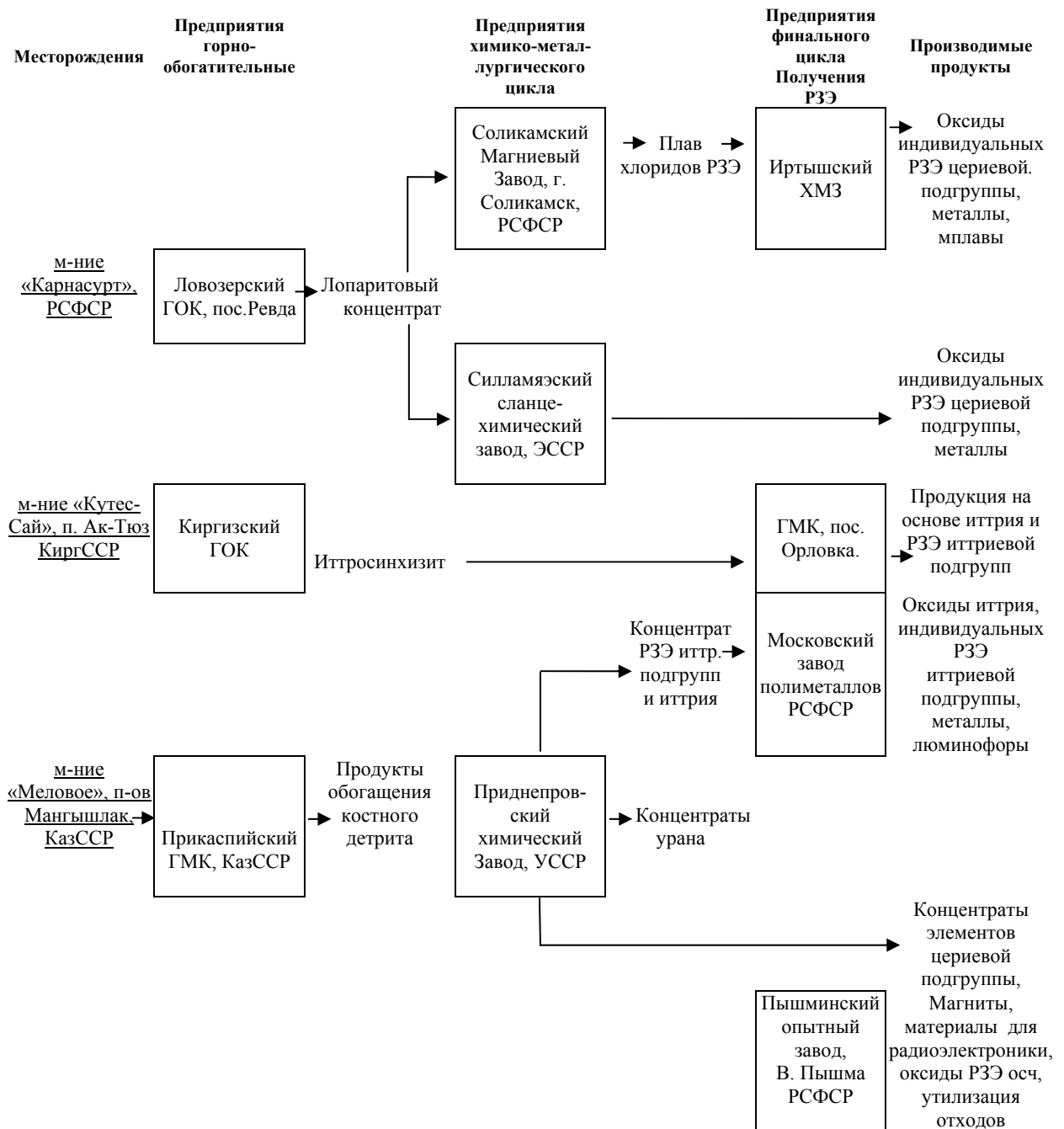


Рис.1. Схема производственных связей предприятий редкоземельного комплекса СССР.

Принципиальная схема переработки лопарита представлена на рис. 3. Хлорирование лопарита проводят в слое расплава, содержащего 1–3% кокса, который является реакционной средой и готовым продуктом. При тем-

пературах порядка 1000°C в течение 10-15 сек происходит полное взаимодействие лопарита с хлором, который непрерывно пропускают через расплав. Из 1 тонны лопарита образуется около 0.75 т расплава, содержащего LnCl<sub>3</sub>, хлориды

натрия, кальция и стронция. Этот расплав практически не содержит ниобия, тантала, титана, минимум алюминия и железа, что особенно удобно для дальнейшей работы. Одновременно образуются летучие хлориды титана, ниобия, тантала и сопутствующих элементов. В табл. 2 приведен типичный состав лопарита и продукта его хлорирования – плава хлоридов РЗЭ. Хлоратор для хлорирования лопаритового концентрата и изложница с плавом хлоридов РЗЭ представлены на рис. 4.

Несмотря на ряд преимуществ хлорной технологии и ее высокую экономическую эффективность, в течение ряда лет ОАО «СМЗ»

отводили роль сырьевого звена и источника суммы хлоридов РЗЭ для последующего тонкого разделения на предприятиях Казахстана. Разрыв хозяйственных связей на пространстве бывшего СССР имел для редкоземельного производства ОАО «СМЗ» (впрочем, как и всей промышленности РФ) самые драматические последствия. Следствием структурных диспропорций (1986–1991 гг.) стала полная потеря мощностей по разделению РЗЭ и финальным стадиям технологии, которые исторически были сосредоточены на территориях Эстонии, Казахстана, Киргизии.

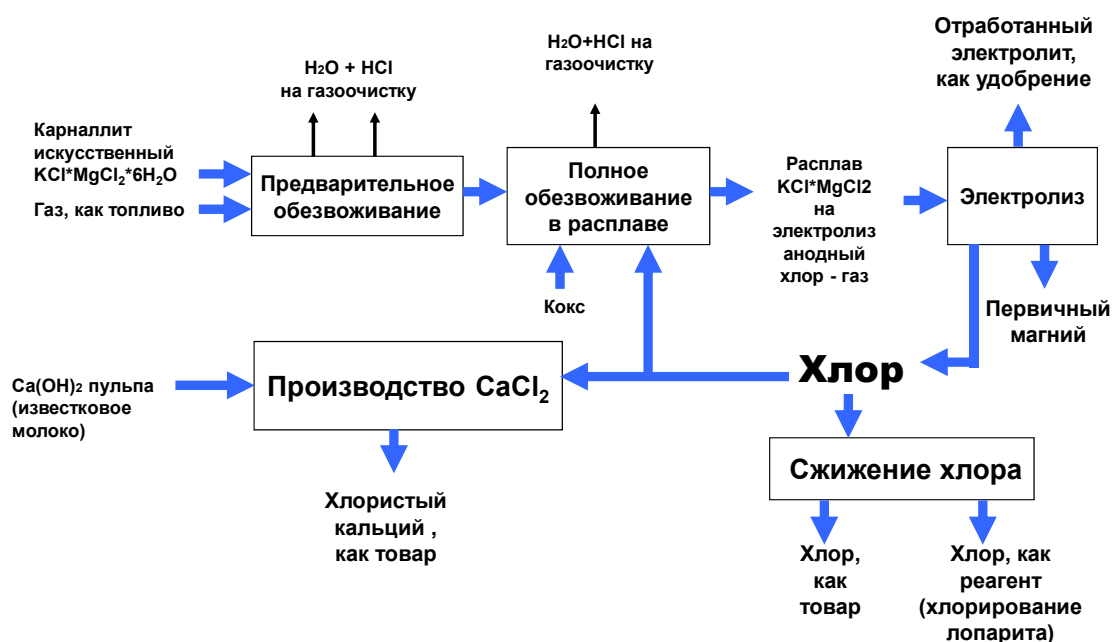
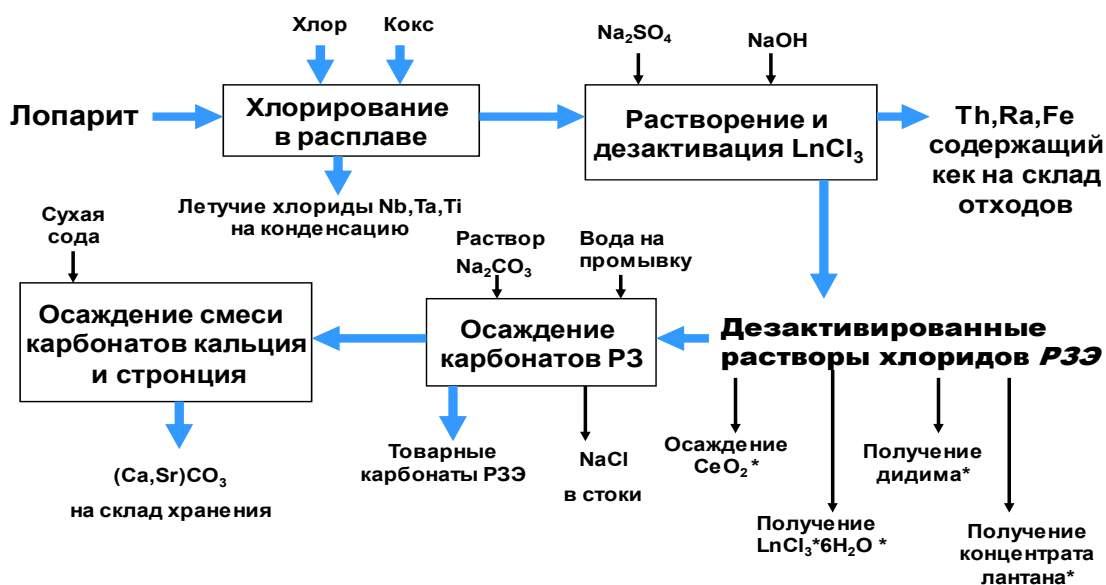


Рис. 2. Принципиальная схема производства магния на ОАО «СМЗ».



\* - Отмечены технологии и продукты, которые могут быть получены по желанию заказчика

Рис. 3. Принципиальная схема переработки лопарита.

Таблица 2. Сравнительный состав лопаритового концентрата и плава хлоридов РЗЭ

Элемент	Содержание, % масс.	
	концентрат (в пересчете на оксиды)	плав хлоридов (в пересчете на хлориды)
Ti	38.4	следы
Nb, Ta	8.8	следы
Na	6.9	~19
Ca	4.4	~13
Sr	3,0	~5.7
Th	~0.7	0.8
РЗЭ	32.4	~60
P	0.2	следы
Si	2.0	1.0
Al	~0.6	0.1
Fe	0.9	0.1



Рис. 4. Хлоратор для хлорирования лопаритового концентрата в солевом расплаве (слева) и изложница с плавом хлоридов РЗЭ (справа).

Попытки предложить расплав «технических» хлоридов РЗЭ как товар были мало успешными из-за его радиоактивности. Это грозило полной остановкой всей технологической цепи, включая горную добычу, и на долгое время парализовало нормальное развитие. Для сохранения самой возможности переработки лопаритового концентрата на ОАО «СМЗ» необходимо было последовательно и в короткий срок обеспечить стабильный сбыт ниобий-, титан-, РЗЭ-содержащих продуктов. Задача осложнялась тем, что перечисленные материалы относятся к различным секторам рынка с разнонаправленными тенденциями изменения спроса.

Одной из нескольких действительно положительных сторон работы в новых экономических условиях была открывшаяся возможность непосредственного общения с зарубежными коллегами. Это позволило лучше понять действительные потребности участников рынка. В 1992-1993 гг. (и в последующие 5 – 7 лет) основу общемирового потребления РЗЭ состав-

ляли концентраты РЗЭ в естественном отношении, а также концентраты церия, лантана и неодима (95 – 99%). Некоторые типичные продукты, производимые и потребляемые на Западе в 90-х гг., приведены в табл. 3.

Анализ возможных вариантов получения перечисленных продуктов и их аналогов показал, что известные отличия химических свойств лантана и церия позволяют организовать в условиях СМЗ производство ликвидной продукции на их основе. Технологию можно было организовать на имеющемся свободном оборудовании сравнительно простыми средствами, даже в отсутствие экстракции. Это позволило сформировать техническую политику развития технологии производства редкоземельной продукции на ОАО «СМЗ».

Последовательность шагов по освоению производства новых видов редкоземельной продукции на СМЗ была такова:

- организация аналитического обеспечения работ по РЗЭ;

Таблица 3. Требования фирмы Treibacher к основным видам концентратов

Оксид	Содержание, % масс.			
	Карбонаты, обогащенные La (R-105)*	Карбонат церия 98% (R-209)*	Смесь карбонатов РЗЭ (R-602)*	Смесь хлоридов РЗЭ (E-601)*
Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	60.0	60.0	60.0	45.0
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70	1.0	25.0	21.0
CeO <sub>2</sub> / Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	98.0	51.0	48.0
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> / Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6 – 8	1.0	6.0	4 – 7
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15 – 20		20.0	17 – 22
Другие Ln	1.0		1.0	1.0
MgO/CaO	1.0	0.1	1.0	1.0
Na <sub>2</sub> O	0.5		0.5	0.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	0.01	0.1	

\*Обозначение товарной продукции

- разработка технологии получения пилотных образцов продукции, востребованных рынком; освоение технологии производства дезактивированных концентратов РЗЭ;

- адаптация найденных решений к имеющимся производственным возможностям, свободному оборудованию и ресурсам реагентов с учетом возможностей метода хлорирования, при минимальных издержках. Были предприняты попытки также привлечь к решению проблем специалистов в области экстракции, прежде всего работников опытного завода в г. В. Пышма, на котором оставались нужное оборудование и имелся необходимый опыт работы.

Уже к началу 1993 г. удалось оптимизировать технологию дезактивации плава хлоридов РЗЭ и получить сумму карбонатов РЗЭ. В 1994 г. были реализованы технические

решения по организации крупнотоннажного производства. В последующем на основе собственных разработок в масштабах опытного производства ОАО «СМЗ»:

- получены концентраты диоксида церия с содержанием 90, 95, 98 и 99.8% основного вещества [4];

- найдены условия получения концентратов лантана с содержанием (в пересчете на La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 90, 95 и 99% основного вещества методами избирательного осаждения из хлоридных растворов;

- выделены концентраты «дидима», не содержащего церий, как продукт для дальнейшего экстракционного разделения;

- показана возможность производства дезактивированного плава товарных хлоридов РЗЭ. Схема операций представлена на рис. 5.

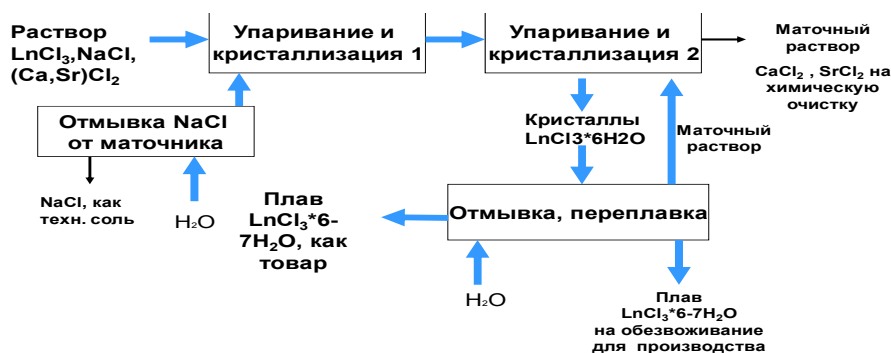
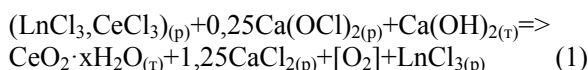


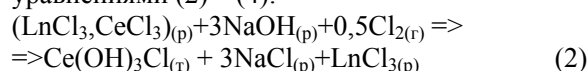
Рис. 5. Схема получения LaCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O.

Анализ различных методов избирательного осаждения церия позволил установить, что растворы гипохлорита кальция и/или натрия позволяют получать концентрат гидратированного оксида Ce(IV) с относительным содержанием CeO<sub>2</sub>/Ln<sub>2</sub>O<sub>3</sub> порядка 90 – 97%. Процесс описывается уравнением:



Технологически более целесообразным и эффективным явилось хлорирование осажде-

ных гидроксидов и оксо- и гидроксохлоридов РЗЭ. В промышленных условиях получен концентрат диоксида церия с содержанием основного вещества 99.8%. Газообразный хлор действует как окислитель и источник соляной кислоты, которая растворяет сорбированные диоксидом церия соединения сопутствующих РЗЭ. Схемы реакций выделения концентратов церия хлорированием растворов описываются уравнениями (2) – (4):



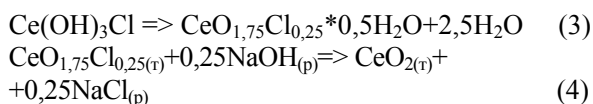


Табл. 4 иллюстрирует качество продуктов, полученных в описанных выше процессах.

Таблица 4. Концентраты Ce, La, «дидима» и суммы карбонатов РЗЭ и оксидов других элементов, полученных на СМЗ в 1993 – 1995 гг.

Характеристика продукта	Содержание основного вещества в концентратах, масс. %			Карбонаты суммы РЗЭ
	церия 98%	«дидима»	лантана 98%	
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20	9.6	98.3	27.20
CeO <sub>2</sub> /Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98.4	н.о.	н.о.	53.20
Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> /Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	17.30	0.85	5.10
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	63.90	0.70	12.70
Другие РЗЭ	0.03	9.30	0.10	1.50
Содержание Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~60	~50	~60	~50
MgO/CaO	0.10	0.10	0.02	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.30	0.02	0.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01

К 1996 г. в опытно-промышленных масштабах получены и другие продукты на основе церия и лантана:

- карбонаты церия (98% основного вещества) и прокаленные оксиды, предложенные в качестве полиритов для Суксунского оптико-механического завода;
- нитрат лантана(III) качества «А» для нефтеоргсинтеза;
- сплавы магний – РЗЭ, полученные методом прямого восстановления безводных хлоридов.

С целью повышения сырьевой независимости технологии ОАО «СМЗ» выполнены работы по вовлечению других видов редкоземельного сырья. Первым стал бастнезит из США (производство компании Moly-cop). Выбор в качестве вскрывающего реагента соляной кислоты определялся тем, что:

- на ОАО «СМЗ» имелись ресурсы соляной кислоты с концентрацией не менее 20% масс. – до 20 т/сут в пересчете на хлористый водород, а также необходимый производственный опыт обращения с ней;

- переработка бастнезита естественно вписывалась в существующую конфигурацию технологии. При обработке бастнезита HCl получают солянокислые растворы, состав которых близок к тем, которые получают при переработке лопарита.

На рис. 6 показана схема получения раствора хлоридов РЗЭ из концентрата стандартного непрокаленного бастнезита месторождения Маунтин Пасс. Схема, апробированная в опытно-промышленном масштабе, позволяла из бастнезита получать неактивные растворы хлоридов, соответствующие ТУ СМЗ.



«Белый шлам» - технологическое название по цвету продукта

Рис. 6. Принципиальная технологическая схема переработки бастнезита в условиях ОАО «СМЗ».

Вторым типом потенциального сырья стали фосфорсодержащие концентраты РЗЭ, такие, как монацит, концентрат месторождения Томтор и концентраты РЗЭ, полученные из технологических растворов апатитового производства различного происхождения.

Принципиальной проблемой переработки всех типов фосфорсодержащих концентратов хлорированием (совместно с лопаритом или в дополнение к нему) является присутствие фосфора. Как видно из табл. 5, фосфор является постоянной, но не

типичной для лопарита примесью.

Установлено, что превышение содержания фосфора (>0.2% масс. в пересчете на P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) приводит к загрязнению ниобия соединениями фосфора сверх необходимых норм и создает проблемы экологического характера. Чтобы использовать варианты совместного хлорирования, любые концентраты, содержащие фосфор, должны быть очищены до остаточного содержания фосфора 0.2 – максимум 0.3% масс.

Таблица 5. Содержание фосфора в концентратах РЗЭ различного происхождения

Элементы	Апатит	Искусств. концентрат РЗЭ из апатита	Монацит ОГУ «Уралмонацит»	Лопарит	Бастнезит (артикул 4000)
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				8.2	
Ln <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94	25 – 30	57.4	32.9	60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	37.2	30	22.2	0.16	2.0
TiO <sub>2</sub>			1.4	38	0.4
CaO	48.2	1.7 – 2.5	2.8	6.75	4.3
BaO + SrO	3.4	0.2	4.0	3.0	7.0
SiO <sub>2</sub>		3.4	4.0	1.9	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		~0.5	2.8	1.25	
ThO <sub>2</sub>	0.0017		5.4	0.7	0.2

В течение последних 10 – 15 лет исследованы варианты процесса щелочной обработки монацита и ксенотима из Малайзии, а также образцов руды месторождения Томтор. Общая

концепция технологии переработки фосфорсодержащего редкоземельного сырья иллюстрируется рис. 7.

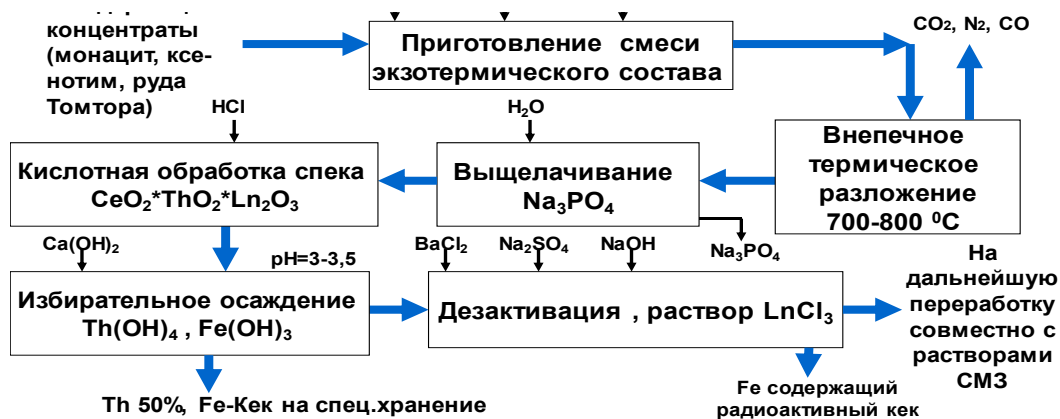


Рис. 7. Принципиальная технологическая схема переработки фосфорсодержащего сырья в условиях ОАО «СМЗ».

В настоящее время редкоземельная цепочка России представлена тандемом Ловоозерский горно-обогатительный комбинат (ЛГОК) – СМЗ, выпускающим сумму карбонатов РЗЭ «легкой» группы.

Следует обратить внимание на то, что поставки концентратов РЗЭ на внутренний рынок РФ остается критически низким, что говорит о его слабости.

Через 20 лет, прошедших после развала советской редкоземельной промышленности в России, сохранилось два предприятия – ЛГОК и СМЗ. При этом, несмотря на изношенность основных фондов, при наличии развитой

рудной базы предприятие может обеспечить переработку сырья в объемах, достаточных для обеспечения всех потребностей страны в РЗЭ «легкой» группы на ближайшие 7 – 10 лет (рис. 8). Кроме того, инвестиции в рудник Карнасурт и возможное восстановление комплекса Умбаозеро позволит не только удвоить выпуск лопарита, но и организовать добычу и обогащение эвдиалита с перспективой извлечения «средних» и «тяжелых» РЗЭ.

Следующим шагом по развитию Компании является реализация технологии разделения РЗЭ с получением соединений различной степени чистоты.



У специалистов завода есть необходимые знания и реальный опыт по освоению такого производства. О возможностях предприятия говорит хотя бы тот факт, что в 2006–2008 гг., то есть менее чем за 2 года, было построено и запущено в эксплуатацию производство губчатого титана в аппаратах производительностью 7 тонн за цикл.

ОАО «СМЗ» обладает опытом углубленной переработки РЗЭ, налаженной системой сбыта и деловых контактов, проверенных опытом

многолетней работы.

Предприятия (ЛГОК и ОАО «СМЗ») могут и должны стать основой в восстановлении и развитии редкоземельной отрасли в России. Несмотря на обилие новых месторождений и проектов, именно действующие производства должны стать базой для разработки технологий получения соединений индивидуальных РЗЭ, иных востребованных рынком продуктов и базой подготовки научно-технических кадров.



Рис. 8. Динамика переработки лопарита и производства редкоземельной продукции за истекшие 20 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Косынкин В.Д., Глебов В.А. Возрождение российского производства редкоземельных металлов - важнейшая задача отечественной экономики // Материалы III Междунар. конф. «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества» г. Суздаль, Россия, 4-8 октября 2010 г.
2. Неорганическая химия: в 3 т. / под. ред. Ю.Д. Третьякова. Т.3. (в двух книгах) Химия переходных элементов. М.: Издательский центр «Академия», 2007. Книга вторая. 400 с.
3. Коровин С.С., Дробот Д.В., Федоров П.И. Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология / под ред. С. Коровина. М.: Изд-во МИСиС, 1999. 464 с.
4. Чуб А.В., Киселев В.А., Ракитина Е.Г., Дробот Д.В. Методы выделения церия из растворов хлоридов РЗЭ, основанные на использовании хлора и гипохлоритов натрия и кальция // Цветные металлы. 1999. № 9. С. 96–101.

## SOLIKAMSK MAGNESIUM WORKS — LAUNCH PAD OF INNOVATIONS IN RUSSIA

D.L. Melnikov, A.V. Chub, \*D.V. Drobot<sup>@</sup>

JSC «Solikamsk magnesium works», Solikamsk, Perm region, 618441 Russia

\*M.V. Lomonosov Moscow State University of Fine Chemical Technologies, Moscow, 119571 Russia

<sup>@</sup> Corresponding author e-mail: [dvdrobot@mail.ru](mailto:dvdrobot@mail.ru)

The article deals with the history of the production of rare earth elements (REE) in the Soviet Union, the changes that have occurred in connection with the collapse of the Union, the role of JSC "Solikamsk Magnesium Works" (JSC "SMW") in the rare metal industry today. It is shown that the introduction of chlorine processing method of loparite concentrate allowed to include in the work cycle about a quarter of the chlorine volume produced by the electrolysis of MgCl<sub>2</sub> and laid the foundation for the economic sustainability of the enterprise. The prospects of the development of REE production in our country are scheduled.

**Key words:** rare-metal industry, rare earth elements, loparite concentrate, apatite, bastnesite, chlorination, melting chlorides.