

УДК 546.34/36

## Оценка эффективности производства продукции при комплексной переработке литийсодержащего сырья

М. А. ЯГОЛЬНИЦЕР<sup>1</sup>, Н. П. КОЦУПАЛО<sup>2</sup>, А. Д. РЯБЦЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт экономики и организации промышленного производства Сибирского отделения РАН, проспект Академика Лаврентьева, 17, Новосибирск 630090 (Россия)

E-mail: miron@ieie.nsc.ru

<sup>2</sup>ЗАО “Экостар-Наутех”, а/я 86, Новосибирск 630075 (Россия)

### Аннотация

Исследована экономическая эффективность комплексного использования литиеносного сырья. Рассмотрены варианты организации производства для двух видов сырья – гидроминерального и горнорудного, отличающиеся логистикой и комплектностью. Показано, что использование гидроминерального сырья позволяет значительно уменьшить риски, связанные с падением спроса на вспомогательную продукцию, а также повысить конкурентоспособность производства за счет снижения себестоимости отдельных продуктов при комплексном извлечении полезных компонентов рессолов в едином производственном цикле.

**Ключевые слова:** сподуменовые руды, гидроминеральное сырье, комплексная переработка, экономическая эффективность.

Области применения лития многообразны и все более расширяются. Структура потребления литиевых продуктов за последние годы претерпела существенные изменения. Время инноваций потеснило традиционные области применения лития и его соединений в алюмолитиевом производстве, в производстве стекла, керамики, в органическом синтезе, в производстве консистентных смазок, термоэластопластов и др. В мировой практике растет удельный вес других областей применения лития и его соединений: производство химических источников тока с литиевой проводимостью, производство сверхлегких сплавов на основе алюминия, магния с легирующими добавками лития для авиационной и космической техники, фармацевтическое производство. В табл. 1, составленной по данным [1], приведена структура потребления литиевых продуктов в мире (на 2010 г.).

Расширение областей применения литиевых соединений способствовало развитию от-

раслей, добывающих литий из различных видов сырья. Так, в 2008 г. объем производства карбоната лития в мире вырос в два раза по сравнению с предшествующими десятилетиями.

Однако в России потребление карбоната лития в 2007–2008 гг. существенно снизилось и в 2009 г. составило около 345 т (в 2007 г. – 1002 т), что обусловлено отсутствием собственной сырьевой базы для производства первичных литиевых продуктов. В России в настоящее время отсутствует производство литиевых продуктов как из горнорудного сырья (после прекращения эксплуатации Завитинского сподуменового месторождения), так и из гидроминерального сырья, переработка которого считается наиболее экономичной.

Основной поставщик карбоната лития на сегодняшний день – так называемый Литиевый треугольник Южной Америки, охватывающий три солончаковые пустыни: Атакама (Чили), Уюни (Боливия), Омре Муэрто (Аргентина). Здесь сосредоточено 70 % всех доступных ми-

ТАБЛИЦА 1

Структура потребления литиевых продуктов в мире, % [1]

Области потребления	Компании	
	SQM (Sociedad Quimica y Minera de Chile S.A., URL: <a href="http://www.sqm.com">http://www.sqm.com</a> )	Roskill (Roskil Information Services Ltd., URL: <a href="http://www.roskill.com">http://www.roskill.com</a> )
Стекольная и керамическая промышленность	29	30
Производство химических источников тока	27	22
Производство смазочных материалов	12	12
Производства кондиционеров воздуха	4	5
Производство полимеров	3	4
Производство лекарств	2	2
Производство алюминия	2	2
Прочее*	21	23

\* Сплавы, строительные материалы, красители, промышленные средства гигиены, специальные неорганические соединения.

ровых запасов лития. Однако бурное освоение соленых озер в провинции Цинхай (Китай) может в скором времени нарушить монополию стран Южно-Американского континента.

Условно переменные затраты в себестоимости карбоната лития, произведенного из саларов Атакамы, примерно в три раза меньше по сравнению с затратами в случае горнорудного сырья. Это объясняется высокой энерго- и материалоемкостью технологии и высокими расходами на добычу и обогащение сподуменовой руды.

В настоящее время вопрос о получении карбоната лития из отечественного сырья стоит особенно остро. В 2010 г. в Пекине компании Thunder Sky (Китай) и ГК “Роснотех” подписали пакет документов по созданию первого в России производства литий-ионных аккумуляторов в Новосибирске. Предполагается, что синтез катодных материалов будет осуществляться в России. С этой целью к 2013 г. планируется провести импортозамещение чилийского карбоната лития на отечественный. Госкорпорация “Роснотех” готова поддержать проект ЗАО “Экостар-Наутех” по созданию отечественного производства карбоната лития из рассолов, но при условии наличия заинтересованного инвестора. В качестве такого инвестора в России, безусловно, выступает топливная компания “Росатома” ОАО ТВЭЛ.

Освоение новых нетрадиционных видов отечественного литийсодержащего сырья,

обеспечивающих рентабельные производства литиевых продуктов, – важнейшая задача, решение которой позволит не только стабилизировать производство литиевой продукции в России, но и добиться прогресса в этой области. При этом единственным видом сырья, позволяющим получать конкурентноспособные литиевые продукты, должно служить отечественное гидроминеральное литийсодержащее сырье в виде глубинных пластовых рассолов, дренажных рассолов алмазного карьера трубки Удачной и попутных нефтяных вод хлоридного кальциевого и кальциево-магниевого типов.

Рассолы этого типа характеризуются высоким отношением суммы концентраций Са и Mg к концентрации Li ( $R = 190-470$ ) и распространены в Восточной части России, на Северо-Западе Китая, а также в Туркмении и в Израиле.

Рентабельная переработка литиеносного гидроминерального сырья (ЛГМС) России в товарные литиевые продукты невозможна без предварительного его обогащения. Процесс обогащения ЛГМС должен быть сведен к разработке методов и приемов, позволяющих безреагентно выделять литий из рассолов в виде растворов хлорида лития с  $R \leq 15$ , чтобы в дальнейшем иметь возможность концентрировать их по литию любым методом.

Учитывая поликомпонентный состав ЛГМС, экономические показатели производства литиевой продукции могут быть существенно повышены за счет организации попут-

ных производств товарных продуктов, основанных на извлечении, помимо лития, других ценных его компонентов [2].

Производство литиевых продуктов из природных рассолов на основе их безреагентного сорбционного обогащения по литию гармонично вписывается в рамки технологии комплексной переработки ЛГМС с полной утилизацией солей, присутствующих в рассоле. Это позволит параллельно или последовательно получать ценные продукты, такие как бром, бромид лития, оксид магния, а также крупнотоннажные продукты – противогололедный материал на основе солей кальция и магния (ПХКМ), комплексные литийсодержащие фтористые соли, магниезальный вяжущий материал, повышающую морозостойкость добавку бетона и основу буровых и тампонажных растворов [3].

Первичные продукты, полученные из литиевого концентрата и из рассола после его обогащения, могут использоваться для производства солей и материалов, применяемых в различных областях техники, в том числе для получения новых материалов (рис. 1).

Другой вид литиеносного сырья – горнорудное сырье. Россия имеет большое количество рудных месторождений и отвалов от обогащения редкометалльного сырья, бедных по содержанию лития, которые могут использоваться при наличии дешевых способов их переработки.

Для повышения экономической эффективности их переработки разработан упрощенный вариант известкового способа переработки сподуменовой необогащенной руды [4]. Необходимо отметить, что сподуменные концентраты были единственным сырьевым источником литиевых продуктов до 90-х годов прошлого столетия.

Для упрощения известкового способа вскрытия сподуменовой руды без ее обогащения в существующую технологию переработки сподуменных концентратов внесены следующие изменения:

1) снижено количество известняка в шихте (с 3 до 2.2 моль  $\text{CaO}$  на 1 моль  $\text{SiO}_2$ ) при ее спекании на литиевом переделе;

2) в шихту введена сода для связывания натрия и калия в растворимые алюминаты;

3) операция упаривания растворов гидроксидов щелочных металлов (Li, Na, K) заме-

нена более простой операцией осаждения двойного гидроксида алюминия и лития –  $\text{LiOH} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (ДГАЛ–ОН) из алюминатных растворов;

4) обеспечена возможность получения цемента из отходов литиевого производства (шламов).

Эти изменения направлены на снижение материальных потоков на операции получения литиевых продуктов и на комплексное извлечение лития и алюминия, с одной стороны, и последующее использование отходов литиевого производства для получения цемента, – с другой. Результаты выполненных исследований, укрупненных и опытно-промышленных испытаний технологии, а также определение возможных путей применения двойного гидроксида алюминия, лития обобщены в работе [4]. Дальнейшее развитие технологии, в основном касающееся направлений использования двойных соединений алюминия и лития, а также исследование новых аспектов развития технологии для усовершенствования способа переработки необогащенных сподуменных руд опубликованы в работе [5].

В настоящее время технология переработки алюмосиликатного сырья с низким содер-

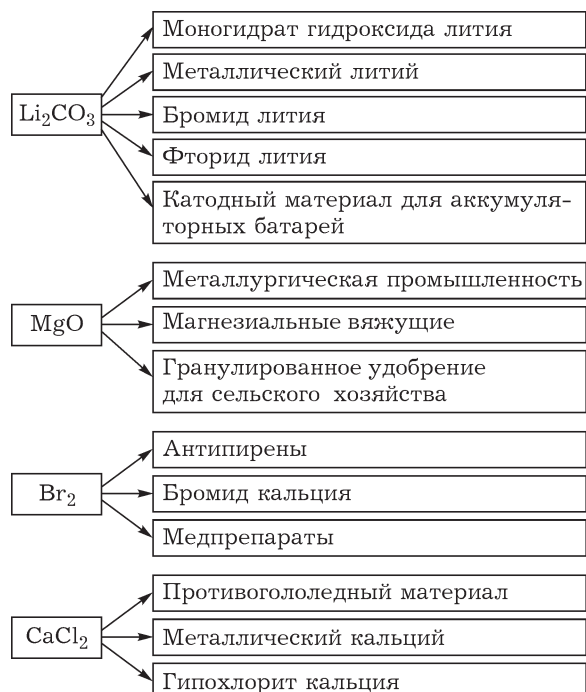


Рис. 1. Основные первичные продукты, полученные из рассола, и области их использования.

жанием  $\text{Li}_2\text{O}$  может оказаться востребованной [6]. В связи с ростом объемов строительства в последние годы остро встала проблема получения цемента. Как показано авторами [5], отходы литиевого производства, содержащие основные компоненты цементного клинкера (двухкальциевый силикат, алюминаты и алюмоферриты кальция), при соответствующей корректировке могут стать прекрасным сырьевым источником для получения как шламоцемента, так и портландцемента [5, 6].

Нами рассмотрены варианты организации производства для двух видов литиеносного сырья (гидроминерального и горнорудного), отличающиеся логистикой и комплектностью. Годовой объем добычи ЛГМС составляет 3800 тыс.  $\text{м}^3$ , сырье имеет следующий состав,  $\text{кг}/\text{м}^3$ :  $\text{LiCl}$  2.4 (или  $\text{Li}$  0.4),  $\text{NaCl}$  15,  $\text{MgCl}_2$  115,  $\text{CaCl}_2$  330,  $\text{Br}$  9. Объемы годового производства из него лития составляют 1520 т. При том же количестве полученного лития усредненный состав сподуменовой руды (годовой объем 400 тыс. т) выглядит следующим образом, мас. %:  $\text{Li}_2\text{O}$  0.82 ( $\text{Li}$  0.38),  $\text{Na}_2\text{O}$  3.9,  $\text{K}_2\text{O}$  1.96,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.9,  $\text{SiO}_2$  73.3.

В табл. 2 приведены показатели экономической эффективности комплексной переработки ЛГМС Ковьктинского месторождения и сподуменных руд Ташелгинского месторождения [6]. При этом для сравнения выб-

раны два варианта, сопоставимые по содержанию лития в исходном материале: для ЛГМС – вариант с получением технического карбоната лития и литийсодержащих фтористых солей, а для рудного сырья – вариант с получением на месте добычи двойного гидроксида алюминия и лития, перевозкой его на “Красноярский химико-металлургический завод” и переработкой в моногидрат гидроксида лития. Комплексность переработки сырья в этих вариантах обеспечивалась тем, что, помимо литиевых продуктов, в первом случае из части добытого рассола производился противогололедный материал. Во втором случае получающийся в процессе производства литиевых продуктов шлак использовался для производства цементного клинкера на близлежащем к месторождению цементном заводе.

Следует отметить, что оба проекта экономически эффективные, причем проект переработки сподуменовой сырья по стандартному показателю эффективности (чистый дисконтированный доход) выглядит предпочтительнее.

Заметим, что одной литиевой продукцией в обоих проектах не удастся вывести производство на полную окупаемость. Основу эффективности составляет вспомогательная продукция – цемент, за счет чего производство лития из руды выглядит экономически пред-

ТАБЛИЦА 2

Экономические показатели проектов переработки литиеносного гидроминерального (ЛГМС) и сподуменовой сырья

Показатели	ЛГМС	Сподуменовая руда
Годовой объем добычи сырья (рассол, руда), (тыс. $\text{м}^3$ , тыс. т)	3800	400
Годовой объем выпуска продукции, тыс. т		
противогололедный материал	400	–
карбонат лития технический	3.6	–
литийсодержащие фтористые соли	11.06	–
моногидрат гидроксида лития	–	7.9
цемент	–	920
Годовой объем реализованной продукции, млн руб.	3083	4429
В том числе литиевой продукции	1483	748,0
Капитальные затраты, млн руб.	1365	2409
Годовые операционные издержки, млн руб.	761	1210.5
Среднегодовая чистая прибыль, млн руб.	1751	2450
Чистый дисконтированный доход проекта, млн руб.	7605	7998
Внутренняя норма доходности проекта, %	116	81.9
Срок окупаемости проекта, лет	2.5	2.7

почтительным. Если литиевое производство считать основным, то соотношение основной продукции (соединений лития) и вспомогательной (противогололедный материал и цемент) в случае производства из ЛГМС составляет по стоимости в процентном отношении 48/52, а из рудного сырья – 17/83.

Высокая доля вспомогательной продукции обуславливает чувствительность проекта к рискам изменения спроса. При падении спроса и цен на цементную продукцию происходит существенное уменьшение рентабельности производства, вплоть до убыточности. Причем уменьшение объема производства цемента связано автоматически и с вынужденным уменьшением производства литиевой продукции, даже при росте спроса на нее.

В то же время, использование гидроминерального сырья позволяет значительно уменьшить риски, связанные с падением спроса на вспомогательную продукцию – противогололедный материал. Как показывают расчеты, даже двукратное уменьшение объемов производства противогололедного материала незначительно снижает эффективность проекта. Чистый дисконтированный доход уменьшается до 4444 млн руб., а срок окупаемости возрастает до 3,5 лет. Кроме того, как показано в работах [2, 3], комплексность извлечения полезных компонентов из рассолов можно увеличивать, получая в дополнении к карбонату лития и фтористым солям лития бромид лития и чистый бром, магниевые продукты и магниезиальные вяжущие (как, например, на Ковыктинском месторождении). В этом случае по показателю чистого дисконтированного дохода производство продукции из ЛГМС оказывается более эффективным по сравнению с производством продукции из сподуменового сырья, а капитальные затраты и операционные издержки, хотя и возрастают по сравнению с вариантом получения карбоната лития, фтористых солей лития и противогололедного материала, все же остаются ниже соответствующих показателей, характерных для производства продукции из рудного сырья.

Организация производства, основанная на комплексном извлечении продуктов из ЛГМС, способствует также росту устойчивости бизнеса за счет диверсификации продуктового ряда. Это позволяет повысить конкуренто-

способность производства за счет снижения себестоимости отдельных продуктов при комплексном извлечении полезных компонентов рассолов в едином производственном цикле. Комплексная схема обеспечивает возможность последовательно-параллельного извлечения полезных компонентов по мере готовности всего комплекса к промышленной эксплуатации, а также реорганизацию производства в соответствии с изменением рыночного спроса на получаемую продукцию.

Помимо глубинных рассолов иркутских месторождений, освоение которых сопряжено с высокими расходами на бурение скважин, имеются и другие источники гидроминерального сырья, не требующие бурения. К таким сырьевым источникам относятся дренажные рассолы алмазных месторождений (Якутия). С дренажными рассолами кимберлитовой трубки Удачной ежедневно выносятся на поверхность до 5400 кг хлорида лития [7]. При их использовании объем капитальных затрат существенно сократится.

Исходя из анализа экономических показателей и учитывая тенденции мировых производителей литиевой продукции, перспективы производства первичных литиевых продуктов в России будут связаны с вовлечением в производство гидроминеральных сырьевых источников, технология переработки которых уже готова к промышленному освоению с получением конкурентоспособных литиевых продуктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Jaskula B. W. Lithium // Mineral Yearbook. USGS, 2010. Adv. Rel. 12 p. Электронный ресурс: URL: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/myb1-2010-lithi.pdf>
- 2 Рябцев А. Д., Коцупало Н. П., Ягольницер М. А., Маркова В. М., Ляхов Н. З. // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. 2007. № 6. С. 44–50.
- 3 Коцупало Н. П., Рябцев А. Д. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья / под ред. В. В. Болдырева. Новосибирск: ГЕО, 2008. 291 с.
- 4 Химия и технология гидроалюмината лития // Сб. тр. ИХТТМ СО РАН / под ред. А. Е. Логвиненко, О. Г. Евтевой. Вып. 3, ч. I, II. Новосибирск, 1969.
- 5 Коцупало Н. П., Рябцев А. Д., Ягольницер М. А., Ляхов Н. З. // Химия уст. разв. 2009. Т. 17, № 2. С. 151–159.
- 6 Коцупало Н. П., Рябцев А. Д., Ягольницер М. А., Ляхов Н. З. // Минер. ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 6. С. 52–56.
- 7 Алексеев С. В. Криогидрогелогические системы Якутской алмазной провинции. Новосибирск: ГЕО, 2009. 315 с.