

УДК 65.3977

***ИЗУЧЕНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТОИМОСТЬ ДОБЫЧИ И  
ОБРАБОТКИ ЛИТИЯ***

***Кукушкина М.С.***

*магистрант,*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,*

*Москва, Россия*

***Котов Е.Ю.***

*аспирант,*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,*

*Москва, Россия*

**Аннотация**

Статья посвящена проблемам экономического обоснования процессов промышленного производства лития. Цель статьи заключается в изучении экономических аспектов стоимости добычи и обработки лития. В статье рассмотрены основные этапы добычи лития и его соединений, факторы, влияющие на стоимость систем экстракции лития и прочие факторы, определяющие стоимость его добычи. На основе сделанных выводов проведена оценка стоимости процесса экстракции лития.

**Ключевые слова:** литий, мировой рынок, стоимость добычи природных ресурсов, производство лития, добыча лития

***STUDY OF FACTORS INFLUENCING THE COST OF LITHIUM EXTRACTION  
AND PROCESSING***

***Kukushkina M.S.***

*master,*

*National Research Nuclear University “MEPhI”,*

*Moscow, Russia*

***Kotov E.U.***

*graduate student,*

*National Research Nuclear University “MEPhI”,*

*Moscow, Russia*

## **Annotation**

This paper addresses the economic justification of lithium industrial production processes. The aim of the study is to examine the economic aspects of the cost of lithium extraction and processing. The paper discusses the main stages of lithium and its compounds extraction, factors influencing the cost of lithium extraction systems, and other elements determining the cost of its extraction. Based on the conclusions drawn, an assessment of the cost of the lithium extraction process was made.

**Key words:** lithium, global market, resource extraction costs, lithium production, lithium extraction

## **Введение**

В последние годы литий стал одним из наиболее востребованных в мире редким металлом, широко применяемым как военными, так и гражданскими отраслями промышленности [1]. Этот вид минерального сырья является ключевым для инновационной экономики, использование его в мире постоянно увеличивается вместе с развитием ряда современных отраслей промышленности, таких как рынок аккумуляторов и электроавтомобилей. [5, 6].

Объем мирового рынка лития в 2021 году составил около \$3,1 млрд, а к 2028 году ожидается прирост до \$8,2 млрд со среднегодовым приростом (CAGR) 14,9%. В основном этому способствует быстрый прогресс в области перезаряжаемых аккумуляторов для различной техники и автоотрасли. [3].

Цены на карбонат лития стремительно растут: с 13 тыс. долл. за 1 т в июле 2021 г. до 75 тыс. долл. в апреле 2022 г. Это вызывает ажиотаж и дефицит – по

данным Benchmark Mineral Intelligence запасы карбоната лития у производителей аккумуляторов находятся на низком или нулевом уровне. Из-за высокого спроса на производство аккумуляторов для электромобилей текущие темпы добычи лития недостаточны [7]. Согласно прогнозам с 2022 по 2025 гг. мировое потребление карбоната лития увеличится с 797 тысяч тонн до 1428 тысяч тонн [2]. По оценке Global Data к 2024 г. спрос на него увеличится в 2,5 раза, а из прогноза Международного энергетического агентства следует, что к 2040 г. востребованность лития на рынке вырастет в 40 раз [8].

### **Цель и задачи исследования**

Цель данной статьи заключается в изучении факторов, влияющих на стоимость добычи лития. Для достижения данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- изучить рынок лития и перспективы его развития;
- изучить процессы добычи лития и его соединений, а также способы их обработки;
- оценить стоимость предприятий по добыче и обработке лития.

### **Основная часть**

Литий является активным щелочным металлом, обладающим превосходной тепло- и электропроводностью. Однако из-за своей высокой реакционной способности чистый элементарный литий не встречается в природе, а вместо этого присутствует в виде солей или других соединений. Аналогичным образом, большая часть коммерческого лития доступна в форме карбоната лития, который является сравнительно стабильным соединением, которое можно легко превратить в другие соли или химические вещества.

Коммерческий литий образуется из двух основных источников: подземных месторождений соляных растворов и месторождений минеральных руд. Методы извлечения и обработки лития различаются в зависимости от исходного материала и включают следующее: традиционная экстракция литиевого рассола,

извлечение лития из твердых пород/сподумена, а также иные способы извлечения лития [4].

Традиционная экстракция литиевого рассола подразумевает добычу лития из озер саларов. Восстановление литиевого рассола обычно представляет собой простой, но длительный процесс, который может занять от нескольких месяцев до нескольких лет. Саларские рассолы очень концентрированы и помимо лития обычно содержат также калий и натрий.

Как только рассол в пруду-испарителе достигает идеальной концентрации лития, рассол перекачивается на установку по извлечению лития для экстракции. Этот процесс варьируется в зависимости от состава месторождения рассола, но обычно включает в себя следующие этапы: предварительная обработка, химическая обработка, фильтрация, товарное производство лития.

После завершения процесса извлечения лития оставшийся соляной раствор возвращается в подземный резервуар.

На долю месторождений минеральных руд приходится относительно небольшая доля мирового производства лития, ежегодно добывается около 20 тонн лития. Более 100 различных минералов содержат определенное количество лития, однако только пять из них активно добываются для производства лития, наиболее распространённый из них – сподумен.

Месторождения минеральных руд часто богаче литием, чем саларские рассолы, однако доступ к ним обходится дорого, поскольку их приходится добывать из пластов твердых пород. Этот процесс может стоить вдвое дороже, чем восстановление рассола, что способствовало меньшей доле лития на рынке.

Помимо перечисленных, существуют и другие способы добычи лития, включающие добычу из гекторитовой глины, морской воды, переработанных рассолов энергетических предприятий, из добытых рассолов нефтяных месторождений, а также переработанной электроники. Хотя каждый из этих способов представляет собой потенциально ценный источник лития, технологии извлечения из них рассола еще недостаточно развиты, чтобы сделать их

экономически эффективной или жизнеспособной альтернативой добыче саляричного рассола или добыче минеральной руды.

Процесс добычи и переработки лития можно разделить на четыре этапа, включающие обработку добытого лития, ионообмен и умягчение рассола, испарение и последующая обработка. [9] Первичная обработка добытого лития включает в себя четыре этапа. Первым этапом является осветление и фильтрация, в рамках которого осуществляется удаление физических примесей из насыщенного литием рассола.

Следующий этап - ионообмен и умягчение рассола. Он подразумевает удаление кальция, магния, железа и других нежелательных металлов из рассола.

Затем устанавливаются испарительные мембраны и мембраны высокого давления. На этом этапе обычно происходит либо этап испарения, либо мембранный этап высокого давления, который доводит литий до более высокой концентрации.

Завершающий этап - полировка и последующая обработка. Рассол поступает в систему очистки, где электрохимическая ячейка отделяет литий от рассола.

К основным факторам, влияющим на стоимость системы экстракции лития, относят: степень загрязнения рассола, концентрацию лития и скорость потока.

Одним из основных факторов, влияющих на типы технологий, необходимых для системы извлечения рассола на предприятии, являются присутствующие в нем различные типы редких металлов и земель. Для некоторых металлов и элементов могут потребоваться дополнительные этапы обработки, поскольку извлечение лития может быть затруднено из-за определенных металлов, таких как цинк или свинец. Если они присутствуют в потоке, предприятию, возможно, придется сначала удалить эти примеси, а затем литий.

Другие исходные загрязнения, такие как кремнезем, сульфаты, железо, кальций, магний, твердые частицы, взвешенные твердые вещества и т.д., также могут затруднить приведение рассола в состояние, при котором его можно будет полировать и использовать для разделения. концентрация завершает процесс.

Итак, опять же, их необходимо будет удалить перед извлечением и концентрированием лития.

Еще одним важным фактором является концентрация лития. Если литий не имеет достаточно высокой концентрации в потоке жидкости, то стоимость его концентрации существенно увеличивает общую стоимость килограмма лития. Иногда может дойти до такой степени, что вообще не будет смысла восстанавливать литий. Чем выше концентрация лития, тем меньше объемов переработки руды и рассола требуется предприятию, что также снижает вторичные отходы и общую стоимость.

Чем выше скорость потока в системах экстракции и полировки лития, тем больше будет оборудования и тем больше будут капитальные затраты. Системы также обычно настраиваются для извлечения лития, поскольку приложения для каждого проекта уникальны.

К факторам, определяющим стоимость добычи лития, относят предварительное планирование, требования к пространству, скорость установки, уровень автоматизации, эксплуатационные расходы.

Разработка концепций, проектов и нормативных требований для проекта — это первый шаг к планированию системы извлечения лития. Стоимость инженерных работ для этого типа проекта обычно может составлять 10–15% от стоимости всего проекта и обычно вносится поэтапно в течение проекта, при этом большая часть инвестиций распределяется на общее устройство объекта, механическое, электротехника и гражданское проектирование.

При планировании системы извлечения лития масштаб системы будет влиять на затраты, а занимаемая площадь обычно велика, поэтому расположение завода может повлиять на стоимость системы.

Еще одна вещь, о которой следует помнить, — это скорость установки в регионе. Они также различаются в зависимости от местоположения, поэтому ее необходимо учитывать при планировании бюджета.

Когда дело доходит до уровня автоматизации, необходимого для системы извлечения лития, есть два варианта. Первый — это более высокий уровень автоматизации, при котором не потребуются присутствие оператора большую часть времени. Благодаря этому типу автоматизации возможно исключить большую часть человеческих ошибок, связанных с эксплуатацией установки, и хотя этот вариант является более дорогостоящим на начальном этапе (первоначальные инвестиции в более сложные средства управления и контрольно-измерительные приборы), текущие затраты на рабочую силу будут меньше. Второй вариант — более низкий уровень автоматизации с меньшими капитальными затратами, но с добавлением рабочей силы это может в конечном итоге обойтись дороже.

Если имеется возможность заказать готовую систему извлечения лития, это обычно экономит около трех месяцев на строительстве при примерно той же стоимости или меньше. Преимущество предварительной сборки системы заключается в том, что производственные мощности и цеха, которые собирают систему, чаще всего хорошо осведомлены о типе системы, которую они производят. Это приводит к быстрому и эффективному изготовлению по сравнению со сборкой на месте. Иногда, при найме полевых бригад, приходится проходить некоторый этап обучения, который может добавить к проекту дополнительное время и/или затраты.

При доставке системы извлечения лития на завод нужно учесть около 5–10% стоимости оборудования на транспортировку. Это значение может сильно варьироваться в зависимости от времени года, в которое приобретает система, а также от того, где расположен завод по отношению к производственному объекту.

Также нужно учитывать, что помимо того, что приобретение определенных технологических пакетов заранее стоит определенную сумму, также необходимо учитывать эксплуатационные расходы системы с течением времени. Для принятия подобных решений необходимо взвесить плюсы и минусы

первоначальных и долгосрочных инвестиций, а также то, что подойдет компании и персоналу.

При покупке системы извлечения лития также необходимо учитывать потенциальные скрытые расходы. Например: будут ли взиматься какие-либо налоги на систему или дополнительные сборы за покупку; каковы возможные расходы на коммунальные услуги в месте установки; будут ли взиматься какие-либо экологические сборы и/или разрешения; какие-либо текущие аналитические проверки на соответствие, за которые нужно платить.

Кроме того, нужно учитывать, что потребуются затраты на переработку вторичных отходов, образующихся в системе. В соответствии со строгими экологическими нормами необходимо либо обработать отходы для вывоза, либо спрессовать их с помощью фильтр-пресса/испарителя и транспортировать в стороннюю фирму по утилизации.

### **Результаты**

Для предварительной фильтрации запланированные расходы составляют от 750 000 до 2 500 000 долларов в зависимости от объема фильтрации, скорости потока и автоматизации фильтров. Стоимость системы рассола находится в том же диапазоне. Более низкие скорости потока (около 50 галлонов в минуту) находятся в диапазоне от 300 000 до 400 000 долларов США, а более высокие скорости потока (от 500 до 1000 галлонов в минуту) в диапазоне от 1,5 до 3 миллионов долларов США.

Мембранные процессы легко настраиваются, и мембранная система высокого давления на 50 галлонов в минуту для концентрирования лития может стоить от 200 000 до 400 000 долларов США, а высокопроизводительная система на 1000 галлонов в минуту будет стоить от 2 до 4 миллионов долларов США.

Полноценная действующая пилотная установка, установленная и работающая в масштабе 1/10, может стоить от 50 до 150 000 миллионов долларов США. Стоимость крупного интегрированного объекта может достигать 500–1 миллиарда долларов США.

## Заключение

Несмотря на то, что месторождения минеральных руд часто богаче литием, чем саларские рассолы, процесс экстракции может стоить вдвое дороже, чем восстановление рассола, что способствует меньшей доле лития на рынке. Технологии извлечения лития из альтернативных источников еще недостаточно развиты, чтобы сделать их экономически эффективной или жизнеспособной альтернативой добыче саларского рассола или добыче минеральной руды.

В работе также рассмотрены основные факторы, влияющие на стоимость экстракции лития, среди которых: степень загрязнения рассола, концентрация лития и скорость потока. Кроме того, рассмотрены факторы, определяющие стоимость добычи лития, включающие: предварительное планирование, требования к пространству, установку, автоматизацию, эксплуатационные расходы и т.д.

## Библиографический список

1. Берёзкин М.Ю., Дегтярев К.С., Синюгин О.А. Динамика рынка лития как ключевой элемент мировой энергетики / М.Ю. Берёзкин // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции. – 2023. – С.209-212.
2. Ежеквартальный бюллетень «Resources and Energy Quarterly March 2024» [Электронный ресурс] // Государственный департамент промышленности, науки, энергетики и ресурсов Австралии (Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources). — Режим доступа: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2024-03/resources-and-energy-quarterly-march-2024.pdf>. pdf, свободный (Дата обращения 02.04.2024).
3. Кудрявцев П.Г., Кудрявцев Н. П. Литий: ресурсы, добыча и перспективы развития мирового рынка/ П.Г. Кудрявцев // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2018. № 10–12. С. 70–81

4. Курков А.В., Лихникевич Л.Г., Ануфриева С.И., Онтоева Т.Д., Рогожин А.А., Пермякова Н.А. Современные технологии освоения минерально-сырьевой базы лития / А.В. Курков // Минеральное сырье. № 35. М.: ВИМС, 2018. 73 с.
5. Линде Т.П. Литий России, состояние, перспективы освоения и развитие минерально-сырьевой базы. / Т.П. Линде // Диссертация канд. эконом. наук. – 2000. – С.30-32.
6. Линде Т.П., Ставров О.Д., Юшко Н.А. Минеральное сырье. / Т.П. Линде // Серия геологоэкономическая. – 2000. – №. 6.
7. Миронов Ю. Б., Карпунин А. М., Фукс В. З. Эпохи формирования и типы месторождений лития зарубежных стран / Ю. Б. Миронов и др. // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 105–116. DOI: 10.52349/0869-7892\_2022\_92\_105-116.
8. Султанова А.Г., Мичурин С.В. Некоторые вопросы геохимии лития и его распределение в рифейских породах Южного Урала / А.Г. Султанов // Геологический вестник. – 2024. – № 2. – С. 65–80. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-6
9. Хасанов А.С., Рахимбаев Б.С., Мирзанова З.А., Махситалиева Л.О. Развития и переработки литийсодержащих руд и техногенных отходов. / А.С. Хасанов // Цифровые технологии в промышленности. – 2023. – №2.

*Оригинальность 78%*