

МИРОВЫЕ ЗАПАСЫ ЛИТИЯ: СТОИМОСТЬ И СПРОС КАК АСПЕКТЫ НЕОБХОДИМОСТИ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ ИЗ ОТХОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

А. И. Сердюк, д.х.н., профессор; Я. О. Белецкий

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», г. Макеевка

Аннотация. Работа посвящена рассмотрению мировых запасов лития и областям применения его соединений в быту и технике, и различных видах производств. Проведен обзор крупнейших в мире месторождений лития, сделан анализ его мировой добычи и запасов. Представленные оценки запасов были сделаны на основе информации, полученной из правительственных и промышленных источников. В статье приведены цены и уровень спроса на литий и его соединения, так как литий является основным компонентом литий-ионных аккумуляторов, которые в современном мире получили большой спрос в связи с повышением производства электромобилей. Работа направлена на прогнозирование истощения запасов лития в будущем. А также необходимостью сокращения выработки лития из недр Земли путем переработки отходов литий-ионных аккумуляторов и получением из них лития в качестве вторичного сырья.

Ключевые слова: литий, месторождение, спрос, добыча.



**Сердюк
Александр Иванович**



**Белецкий
Ярослав Олегович**

Сегодня мы не можем представить нашу жизнь без электронного оборудования. Смартфоны, колонки, ноутбуки, фотоаппараты – в нашем мире почти все имеет аккумулятор внутри, так же все больше автомобилей переходят на электродвигатели, которые являются большими потребителями электроэнергии от аккумуляторов. Каждый год выходят все более и более интересные устройства, позволяя нам менять их как перчатки. Но задумывались ли вы, как устроены аккумуляторы и что в них находится, в работе рассмотрим основной компонент литий-ионных аккумуляторов – литий Li, его мировые запасы и уровень спроса на его потребление.

Месторождения. Мировая добыча и запасы. Месторождения лития известны в Чили, Боливии, США, Аргентине, Конго, Китае, Бразилии, Сербии, Австралии, России. Оценки запасов были сделаны на основе информации, полученной от правительственных и промышленных источников и представлены в таблице 1. В целях защиты данных США не публиковали сведения по объемам своей внутренней добычи, потому в этой статье их оценка проводится, исходя из опубликованных сведений о запасах Солончак Уюни в Боливии – крупнейшего в мире месторождения лития и пригодного для добычи из него галургическим методом хлорида лития. В Боливийской прессе сообщается, что в этом озере-солончаке содержится около 100 миллионов тонн лития, что в 10 раз превышает оценки американских специалистов [1]. По оценкам специалистов из The U.S. Geological Survey (USGS) там находится 20-30 % мировых запасов лития [2].

По запасам литиевых руд Чили занимает 2-е место среди промышленно развитых капиталистических и развивающихся стран.

Месторождения (Салар-де-Атакама, Аскотан и др.) находятся в Центральной долине и связаны с минерализованными водами саларов – высокогорных бессточных озёр. На месторождении Салар-де-Атакама ресурсы лития в «каличе» (пропитанные рапой пористые гипсово-галитовые породы) оцениваются в более чем 3 млн. тонн с содержанием 0,3 % Li_2O [3].

В Соединенных Штатах Америки функционируют две компании, добывающие и перерабатывающие литиевое сырье. Компания Rockwood Lithium Inc., NC, Kings Mountain эксплуатирует соляное озеро Silver Peak, штат Невада, а компания Lithium Corporation – соляное озеро Fish Lake Valley, штат Невада.

Rockwood Lithium Inc. является мировым лидером на рынке соединений лития и одним из крупнейших производителей литиевого сырья, а также ведущим поставщиком специальных металлических соединений на основе цезия, бария и циркония в мире.

Доступ к сырью имеет основополагающее значение для экономики и жизненно необходим для обеспечения поставок. Rockwood Lithium Inc. полностью обратимо интегрирована и имеет в эксплуатации три независимых ресурса первичного лития. Самый привлекательный из них – Чилийский ресурс в Салар-де-Атакама. С 1960-х годов в Silver Peak в штате Невада у Rockwood Lithium Inc. работает еще один завод на основе рассола. В 2014 году компания приобрела долю в 49 % в Talison Lithium в Австралии с доступом к его сподуменовым ресурсам. Кроме того, Rockwood Lithium Inc. постоянно работает над инновационными методами эксплуатации с целью повышения эффективности и устойчивости использования своих ресурсов [4].

Lithium Corporation является молодой горнодобывающей компанией, которая сосредоточена на создании акционерной стоимости за счет открытия и разработки месторождений лития и связанных с ними других полезных ископаемых. В настоящее время Lithium Corporation изучает два находящиеся в полной ее собственности перспективных месторождения, расположенных в штате Невада, США, и два месторождения в Британской Колумбии, Канада. На каждом из месторождений в Неваде компания обнаружила аномалию по содержанию лития в солевых растворах. На флагманском месторождении Fish Lake Valley, помимо экономически выгодных ресурсов лития, были обнаружены запасы калия и бора.

Вблизи поверхности озера компания наткнулась на обогащенные по литию и бору рассолы, с содержанием до 140 мг/л лития. В дополнение к этим довольно аномальным значениям содержания лития и бора, также было обнаружено повышенное

содержание калия (до 2 500 мг/л). Lithium Corporation провела программу бурения осенью 2012 года и намеревается увеличить работы в этом направлении [5].

Третьим уникальным источником лития является озеро Чабьер-Цака – высокогорное бессточное сверхсолёное содовое озеро в округе Шигадзе, Тибетский автономный район, Китай. Помимо огромного количества карбоната лития, Чабьер-Цака содержит в заметных количествах тетраборат натрия, мирабилит и другие соли щелочных металлов.

В России более 50 % запасов сосредоточено в месторождениях редких металлов Мурманской области. Однако данные, приведенные в таблице 1, занижены, так как они не учитывают ресурсы лития, находящиеся в подземных рассолах и попутных нефтяных водах. Практически во многих областях России существуют залежи соленых подземных вод с концентрацией лития от 5 до 50 мг/л.

В статье проведена оценка ресурсов лития в бассейне Мертвого моря (Израиль), исходя из опубликованных данных по запасам магния, калия и брома [6] и концентрации всех этих элементов в воде Мертвого моря [7]. Полученные результаты также представлены в табл. 1.

Применение лития и его соединений. За последние несколько десятилетий качественная структура потребления лития практически не изменилась, однако в количественных соотношениях произошли серьезные изменения.

В последние годы значительно увеличился расход лития для аккумуляторов, так как перезаряжаемые батареи лития широко применяются на растущем рынке портативных электронных устройств и все чаще используются в электрических инструментах,

Таблица 1.

Мировая добыча, запасы и ресурсы лития

Страна	Добыча по годам		Запасы, тонны	Мировые ресурсы	
	2018	2019		Тонны	%
Боливия				9 000 000	21,39
Чили	12 500	12 700	7 500 000	7 500 000	17,83
Соединенные штаты	13 000	13 000	3 800 000	6 700 000	15,92
Аргентина	4 200	4 800	2 000 000	6 500 000	15,45
Китай	3 300	3 500	3 200 000	5 100 000	12,12
Россия				2 000 000	4,75
Австралия	14 300	14 400	1 500 000	1 700 000	4,04
Канада				1 000 000	2,38
Конго (Киншаса)				1 000 000	2,38
Сербия				1 000 000	2,38
Бразилия	1 500	1 700	48 000	180 000	0,43
Мексика				180 000	0,43
Австрия				130 000	0,31
Португалия	400	450	60 000	60 000	0,14
Зимбабве	900	1000	23 000	23 000	0,05
Всего в мире	50 100	51 550	18 131 000	42 073 000	100

электрических транспортных средствах и приложениях для сетевых хранилищ. Структура наиболее крупных областей использования лития и его соединений в мире в 2018 и 2019 годах представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Оценка наиболее крупных областей использования лития и его соединений в мире

Литиевые источники тока. Уже многие годы первой и наиболее важной областью применения лития и его соединений является сфера химических источников тока. Еще с середины прошлого века гидроксид лития стали добавлять в электролит щелочных аккумуляторов, что, как оказалось, увеличивает их емкость примерно на 20 % и срок службы в 2-3 раза. В последние годы эта область резко расширилась в связи с созданием литиевых источников тока, необходимых для работы сотовых телефонов, смартфонов, ноутбуков и других малогабаритных изделий бытовой электронной техники [8].

Из лития изготавливают аноды химических источников тока аккумуляторов и гальванических элементов с твердым электролитом, работающих на основе неводных твердых и жидких электролитов. Примерами подобных аккумуляторов являются литий-хромосеребряные аккумуляторы. Гальванические элементы с твердым электролитом представлены следующими конструкциями: литий-висмутатный, литий-окисномедный, литий-диоксид-марганцевый, литий-иод-свинцовый, литий-иодный, литий-тионилхлоридный, литий-оксид-ванадиевый, литий-фтор-медный, литий-диоксид-серный элементы. В случае жидких электролитов в качестве растворителей используются следующие органические полярные жидкости: тетрагидрофуран, пропиленкарбонат, метилформат, ацетонитрил и ряд других.

Такие твердые электролиты, как кобальтат лития и никелат лития показали лучшие эксплуатационные свойства и энергоёмкость в качестве положительного электрода в литиевых аккумуляторах. В настоящее время в массовом производстве литий-ионных аккумуляторов используются несколько классов катодных материалов:

- кобальтат лития $LiCoO_2$ и твердые растворы на основе изоструктурного ему никелата лития $LiNiO_2$;
- литий-марганцевая шпинель $LiMn_2O_4$;
- литий-феррофосфат $LiFePO_4$;
- нанотрубки из молибдата лития, покрытые углеродом, могут быть использованы в качестве анода в литий-ионных аккумуляторах [9-10].

Алюминат лития (литиевый β -глинозем) — один из наиболее эффективных твердых электролитов наряду с натриевым и цезиевым-бета-глинозёмом.

Гидроксид лития используется как один из компонентов для приготовления электролита щелочных аккумуляторов. Добавление гидроксида лития к электролиту тяговых железо-никелевых, никель-кадмиевых, никель-цинковых аккумуляторных батарей повышает емкость аккумулятора на 12 %, удельное сопротивление — на 21 %, увеличивает срок службы железо-никелевого аккумулятора в 2-3 раза и его ёмкость на 21 % за счёт образования никелатов лития[11-12].

Цены и спрос на литий. На начало декабря 2022 года цена на литий равна 577 500 юаней или 82 197 \$ за тонну. Причем такая высокая цена наблюдается относительно недавно — после августа 2021 года, когда цена выросла более чем на 400 %. Это результат стечения следующих обстоятельств:

- развитие отрасли электромобилей;
- повсеместные сложности с цепочками поставок (которые не были восстановлены после пандемии 2020 года);
- последовавшие за этим нехватки ресурсов для производства аккумуляторов со стороны крупнейших производителей.

На сегодняшний день стоимость лития снизилась, она составляет 307 500 юаней или 44 612,12 \$ за тонну. Это связано с тем, что ослабление спроса на электромобили в Китае породило сомнения по поводу возможного дефицита на рынке лития в этом году, что привело к снижению цен в других странах, а также к падению акций производителей лития. График стоимости лития представлен на рис. 2.

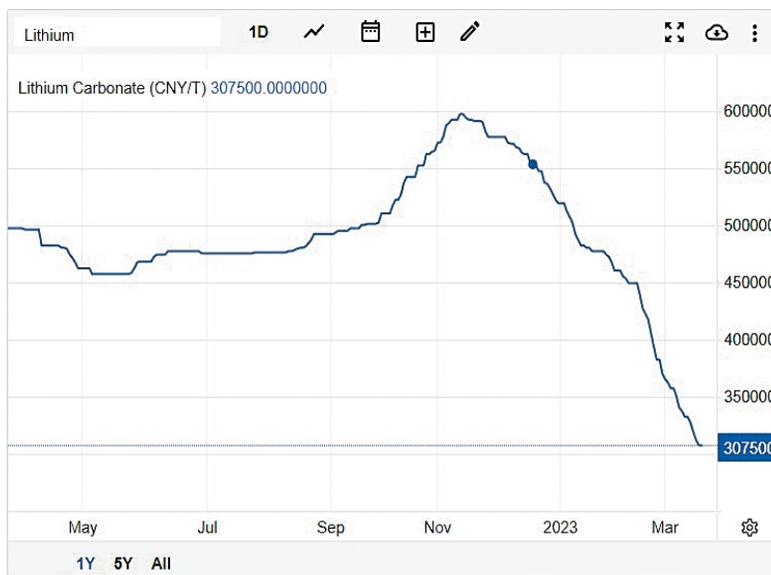


Рис. 2. Стоимость лития на март месяц 2023 года

На графике видно, что тенденция пока показывает падение стоимости лития в мире, что может привести к понижению цен на электрооборудование и электромобили [13].

В статье проведен обзор основных месторождений лития, а также данные по мировой добыче и запасам лития. Так, мировые запасы лития оцениваются в 18,8 млн. тонн, а мировые ресурсы всего в 42 млн. тонн. Таким образом, литий является однозначно исчерпаемым ресурсом, и перспективы его использования должны строиться на поиске все более бедных природных источников лития, например, таких как подземные рассолы и попутные нефтяные воды. Необходимо разрабатывать новые методы его извлечения из бедных по литию растворов и вторичного сырья.

Перспективным направлением в этой области является синтез и использование высокоселективных к литию неорганических композиционных ионообменных сорбентов. При этом на первый план выходит извлечение лития из вторичных ресурсов, в частности отработанных литиевых источников электропитания. Учитывая все выше приведенные данные, необходимо перерабатывать литий-ионные аккумуляторы с целью экономии земельных ресурсов лития. Стратегически важной задачей становится организация сбора и утилизации отработанных литийсодержащих изделий, а также разработка таких технологических процессов и создание соответствующих производств по их переработке.

Список литературы

1. Jaskula, B. W. *Minerals Yearbook*/ B.W Jaskula // *Lithium, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: https://books.google.ru/books/about/Minerals_Yearbook.html?id=LqVRVfPz-0sC&redir_esc=y – текст электронный. (Дата обращения 15.04.2023).
2. *Bolivia's Lithium-Powered Future*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: <http://foreignpolicy.com/slideshow/bolivias-lithium-powered-future/> – текст электронный. (Дата обращения 14.04.2023).
3. *Lithium. Statistics and Information. USGS Mineral Commodity*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information/> – текст электронный. (Дата обращения 18.04.2023).
4. *Rockwood Lithium*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: <http://www.rockwoodlithium.com/> – текст электронный. (Дата обращения 16.04.2023).
5. *Lithium Corporation*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: <http://www.lithiumcorporation.com/index.php/> – текст электронный. (Дата обращения 20.04.2023).
6. Беленицкая, Г. А. *Тектонические аспекты пространственного и временного распределения соле-осных бассейнов мира*/ Г. А. Беленицкая // Электронное научное издание «Альманах Пространство и Время». 2013. Т. 4, Вып. 1. Специальный выпуск СИСТЕМА ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ. С. 1–31.
7. Nissenbaum A. *Trace Minor and trace elements in Dead Sea water* / A. Nissenbaum // *Israel Journal of Earth Science*. Электронный ресурс: Режим доступа URL: https://www.researchgate.net/publication/248358226_Minor_and_trace_elements_in_Dead_Sea_water/ – текст электронный. (Дата обращения 20.04.2023).
8. Liu Xudong, Lyu Yingchun. *Nanotube Li₂MoO₄: a novel and high-capacity material as a lithium-ion battery anode*/ Xudong Liu, Yingchun Lyu, Zhihua Zhang, Hong Li et al. // *Nanoscale*. 2014. Vol. 6. P. 13660–13667 (DOI:10.1039/C4NR04226C). Электронный ресурс: Режим доступа URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25274504/> – текст электронный. (Дата обращения 17.04.2023).
9. Сердечный, Д. В. *Управление процессом заряда многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей* / Д. В. Сердечный, Ю. Б. Томашевский. – Текст : непосредственный // Журнал «Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль». – № 3 (21). – 2017. – С. 115 – 123.
10. Сатаркулов, А. М. *Некоторые аспекты утилизации литий-ионных аккумуляторов как мера обеспечения экологической и пожарной безопасности* / А. М. Сатаркулов, И. С. Зубарев, Я. Д. Шинков. – Текст : непосредственный // *Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Современные методы и технологии предупреждения и профилактики возникновения чрезвычайных ситуаций* : Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург. – 2019. – С. 230-234.
11. Тутков, А. А. *Проблемы утилизации батарей электрических автомобилей* / А. А. Тутков. – Текст : непосредственный // *Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники : сборник статей Международной научно-практической конференции*, – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна». – 2019. – С. 42-46.
12. Kamal Ibne Amin Chowdhury. *Child lead exposure near abandoned lead acid battery recycling sites in a residential community in Bangladesh : Risk factors and the impact of soil remediation on blood lead levels* / Chowdhury Kamal Ibne Amin Nurunnahar Nurunnahar, Lutful Kabir Mohammad et al. – Text: direct // *Environmental Research – Volume 194*. – 2021. – P. 234-242.
13. *Литий – Фьючерсный контракт – Цены Trading economics* / Электронный ресурс: Режим доступа URL: <https://ru.tradingeconomics.com/commodity/lithium/> – текст с заглавного экрана. (Дата обращения 17.04.2023).