

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт
минерального сырья им. Н.М.Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»)

Курков А.В.
Мамошин М.Ю.
Рогожин А.А.

ЛИТИЙ:
ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИЗ РАСТВОРОВ
(ключевое значение, новое поколение решений,
перспективные объекты)

Москва, 2021

К93 Курков А.В., Мамошин М.Ю., Рогожин А.А. Литий: технологии прямого извлечения из растворов (ключевое значение, новое поколение решений, перспективные объекты). М.: ВИМС, 2021. 136 с.
ISBN

Показано ключевое значение лития для устойчивого развития мировой экономики, зеленой энергетики и химии. Представлена глубокая структуризация данных по процессам прямого извлечения лития (DLE). Выполнен анализ современного состояния исследований и разработок в области прорывных технологий DLE из растворов различного происхождения. Приведены характеристики, описание и анализ основных технологий DLE– сорбционных, экстракционных и мембранных, а также их преимущества по сравнению с традиционными методами извлечения лития из растворов. Особое внимание уделено процессам синтеза и подходы к коммерциализации неорганических сорбентов, ионоселективных наномембран и ионитов молекулярного распознавания, используемых для селективного извлечения лития из различных видов континентального, геотермального и техногенного гидроминерального сырья. Описаны основные направления работ по созданию новых сорбентов, экстрагентов и высокоселективных наномембран. Указаны зарубежные фирмы – разработчики процессов синтеза, производители литийселективных сорбентов и мембран, а также оборудования для технологий DLE. Представлены перспективные объекты для извлечения лития методами DLE. Приведена информация об основных зарубежных проектах по переработке литийсодержащих растворов различных типов с использованием технологий DLE. Представлены рекомендации по использованию нового семейства технологий для эффективного освоения гидроминерального сырья различных регионов РФ.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. ВВЕДЕНИЕ		7
1.1. Зеленая экономика, зеленая энергетика и химия: основные направления развития		7
1.1.1. <i>Понятие об устойчивости</i>		7
1.1.2. <i>Устойчивая (зеленая) энергетика</i>		8
1.1.3. <i>Зеленая химия</i>		10
1.2. Литий как ключевой элемент зеленой энергетики		11
1.2.1. <i>Основные типы аккумуляторов</i>		12
1.2.2. <i>Литий-ионные аккумуляторы</i>		14
1.2.3. <i>Новые аккумуляторные технологии</i>		16
1.2.4. <i>Развитие производства электромобилей</i>		21
2. МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПОТРЕБЛЕНИЕ ЛИТИЯ		23
3. МИРОВЫЕ РЕСУРСЫ ЛИТИЯ		25
3.1. Совокупные общемировые ресурсы и запасы лития		25
3.2. Основные типы гидроминеральных ресурсов лития		26
3.2.1. <i>Рассолы саларов</i>		27
3.2.2. <i>Геотермальные рассолы</i>		27
3.2.3. <i>Пластовые воды нефтегазовых месторождений</i>		28
3.2.4. <i>Гидроминеральные ресурсы лития РФ</i>		29
3.2.5. <i>Перспективные объекты для организации добычи лития из гидроминеральных ресурсов РФ</i>		31
4. ТЕХНОЛОГИИ DLE (Direct Lithium Extraction)		31
4.1. Основные проблемы традиционных технологий переработки литийсодержащего сырья		31
4.2. Общая характеристика технологий прямого извлечения лития (семейство технологий DLE)		34
4.3. Основные преимущества технологий DLE		35
4.3.1. <i>Отказ от использования прудов-испарителей</i>		35
4.3.2. <i>Компактность</i>		35
4.3.3. <i>Резкое сокращение продолжительности производственного цикла</i>		37

4.3.4. <i>Возможность рентабельной переработки бедного гидроминерального сырья</i>	37
4.3.5. <i>Расширение ресурсной базы лития</i>	37
4.3.6. <i>Нечувствительность к ионному составу исходных рассолов</i>	38
4.3.7. <i>Исключение затратных операций осаждения примесей</i>	39
4.3.8. <i>Легкость масштабирования</i>	39
4.3.9. <i>Независимость от географического фактора</i>	39
4.3.10. <i>Вовлечение в переработку новых видов гидроминеральных ресурсов</i>	39
4.3.11. <i>Низкий уровень воздействия на окружающую среду</i>	40
4.4. <i>Основные стадии технологического процесса DLE</i>	41
4.4.1. <i>Осветление и фильтрация</i>	41
4.4.2. <i>Ионообменное умягчение исходного рассола</i>	42
4.4.3. <i>Концентрирование лития (мембранное, ионообменное или обратноосмотическое)</i>	42
4.4.4. <i>Упаривание и тонкая очистка концентрата</i>	43
4.4.5. <i>Производство товарных продуктов лития высокой чистоты</i>	43
4.5. <i>Стоимость установок DLE (капитальные затраты)</i>	43
5. <i>СОРБЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ</i>	44
5.1. <i>Сорбция лития на традиционные ионообменные смолы</i>	44
5.2. <i>Неорганические сорбенты для технологий семейства DLE</i>	45
5.2.1. <i>Эффект ионного сита</i>	46
5.2.2. <i>Основные типы неорганических сорбентов для извлечения лития</i>	46
5.2.3. <i>Синтез неорганических сорбентов</i>	48
5.2.4. <i>Слоистые литий-алюминатные сорбенты (LDH-сорбенты)</i>	50
5.2.5. <i>Сорбенты на основе оксидов лития-марганца (ОЛМ-сорбенты)</i>	53
5.2.6. <i>Сорбенты на основе оксидов лития-титана (ОЛТ-сорбенты)</i>	56
5.2.7. <i>Сорбенты на основе фосфата Fe(III)</i>	57
5.2.8. <i>Сравнение сорбционных свойств неорганических сорбентов различных типов по литию</i>	59
5.3. <i>Извлечение лития из рассолов с использованием ионитов молекулярного распознавания (ИМР)</i>	63

5.3.1. Общие сведения об ИМП	63
5.3.2. Основные типы ИМП	63
5.3.3. Основные преимущества использования ИМП	65
5.3.4. Синтез ИМП	67
5.3.5. Краун-эфиры	68
5.3.6. Основные ИМП для технологий DLE	71
5.3.6.1. ИМП типа I	71
5.3.6.2. ИМП типа II	72
5.3.6.3. Неорганические ИМП	73
5.3.6.4. Гибридные ИМП для сорбции лития (МО-ИМП)	75
5.4. Заключительные замечания	77
6. ЖИДКОСТНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ ЛИТИЯ	78
6.1. Жидкостная экстракция как один из процессов DLE	78
6.2. Экстрагент CYANEX 936P	79
6.3. Использование краун-эфиров как селективных экстрагентов для извлечения Li	80
6.4. Перспективы использования жидкостной экстракции в процессах DLE	81
7. МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (МТ)	81
7.1. Общее описание МТ	81
7.2. Основные виды МТ. Классификация мембран	82
7.3. Преимущества и ограничения МТ	83
7.4. Применение МТ для прямого извлечения лития (DLE)	83
7.5. Процесс обратного осмоса (ОО)	84
7.5.1. Процесс ОО – важная стадия подготовки исходных растворов перед DLE	84
7.5.2. Промышленное использование ОО для концентрирования литийсодержащих растворов	85
7.5.3. Технология HERO (High Efficiency Reverse Osmosis)	85
7.6. Типы мембран для использования в процессах DLE	87
7.6.1. Стандартные мембраны для нанофильтрации (НФ-мембраны)	87
7.6.2. Ионообменные мембраны (ИОМ)	87
7.6.3. Нанесенные ионожидкостные мембраны (SILM-мембраны)	88
7.6.4. Нанесенные ОЛМ- и ГОЛМ-мембраны	89

7.6.5. Другие типы мембран.....	90
7.7. Ионоселективные наномембраны последнего поколения.....	93
7.7.1. Общее описание.....	93
7.7.2. MOF-структуры.....	94
7.7.3 Проблемы и перспективы в области разработки и коммерциализации литийселективных наномембран.....	96
7.7.4. Гибридные (MOF-полимерные) наномембраны.....	97
7.7.5. LiTAS-технология.....	100
7.7.6. Коммерциализация технологии LiTAS.....	103
7.7.7. PIM-технология.....	106
7.8. Электродиализ (ЭД).....	107
7.9. Заключительные замечания.....	110
8. ОСНОВНЫЕ ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОЕКТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ DLE.....	112
8.1. Проект Geolithic Corp. (США).....	112
8.2. Проект Salton Sea (США).....	112
8.3. Проект Simbol Materials (США).....	113
8.4. Проект Hell's Kitchen (США).....	113
8.5. Проект Kachi (Чили).....	114
8.6. Проекты Smackover Lithium и Bristol Lake/Mojave (США).....	115
8.7. Проект Alberta Lithium (Канада).....	119
8.8. Проект Cornish Lithium (Великобритания).....	119
8.9. Проект Grimmer-Saravia (ФРГ).....	121
8.10. Проект Vulcan (ФРГ).....	122
8.11. Проект EuGeLi (ФРГ-Франция).....	123
8.12. Проект Тепова (Израиль-Италия).....	126
8.13. Производители оборудования для процессов DLE.....	127
9. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	127
ЛИТЕРАТУРА.....	129

КН-П-22-

- 052008

Научное издание
ФГБУ «ВИМС»

Курков Александр Васильевич
Мамошин Михаил Юрьевич
Рогожин Александр Алексеевич

**Литий:
технологии прямого извлечения из растворов
(ключевое значение, новое поколение решений,
перспективные объекты)**

Компьютерная верстка Е.О. Василёва, А.В. Барышников

Подписано в печать 20.06.2021 г.
Формат 60х90 1/8. Усл. печ. л. 10,4
Тираж 150 экз. Заказ № 4

Редакционно-издательский сектор (РИС) ВИМС.
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31. Тел. (495) 9503180
Отпечатано на ризографе в РИС ВИМС.