

УДК 546.34:622.7:66.061.3
DOI 10.56525/MOPG1278

ЛИТИЙДІ МИНЕРАЛДЫ ЖӘНЕ ГИДРОМИНЕРАЛДЫҚ ШИКІЗАТТАН АЛУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ

А.Н.Боранбаева, А.Абаева

Есенов университеті, Актау, Қазақстан

e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz, abaevaaknaz@gmail.com

Аңдатпа: Бұл мақалада литийді минералдық және гидроминералдық шикізат көздерінен алудың қазіргі технологиялары салыстырмалы түрде талданады. Литийдің литий-ионды аккумуляторлар, энергия сақтау жүйелері және электр көліктері өндірісіндегі стратегиялық маңызы оның табиғи және техногендік көздерден тиімді әрі экологиялық қауіпсіз алынуын өзекті ғылыми-технологиялық мәселе ретінде қарастыруға негіз болады. Жұмыста қатты минералдық кендерден литий алу әдістері, соның ішінде ауыр ортада бөлу, флотация, сподумен концентратын күкіртқышқылды сульфаттау–шаймалау, лепидолитті HF қатысында өңдеу және сілтілік әдістер қарастырылған. Сонымен қатар тұзды ерітінділер, минералданған сулар және мұнай-газ қабат суларынан литий алу бағыттары талданады. Гидроминералды жүйелер үшін күн буландыру, Li_2CO_3 тұндыру, экстракция, мембраналық технологиялар және DLE ион-елеуіш сорбциялық әдістерінің артықшылықтары мен шектеулері көрсетілген. Әрбір әдістің тиімділігі литий концентрациясына, ерітінді құрамындағы қоспаларға, Mg/Li және Ca/Li қатынастарына, сондай-ақ технологиялық және экологиялық талаптарға тікелей байланысты екені анықталады. Зерттеу нәтижелері литий алу технологияларын таңдауда тек өндірістік өнімділікті емес, сонымен қатар реагент шығынын, энергия тұтынуды және қалдықтарды басқару мәселелерін бірге қарастыру қажеттігін көрсетеді. Қазақстанның минералдық-шикізаттық әлеуетін ескере отырып, мұндай салыстырмалы талдау болашақта отандық литий өндірісін ғылыми негізде дамытуға мүмкіндік береді. Мақалада әмбебап технологиялық шешімнің жоқ екені, әрбір шикізат түрі үшін оның минералогиялық және химиялық құрамын ескере отырып, жеке технологиялық схема таңдау қажеттігі негізделеді. Қазақстан жағдайында литий өндіруді дамыту үшін қатты кендер мен пласт сулардың құрамын кешенді зерттеу, Mg/Li , Ca/Li және SO_4^{2-} сияқты факторларды бағалау, сондай-ақ пилоттық сынақтар жүргізу маңызды екені атап өтіледі.

Түйін сөздер: литий, гидроминералды шикізат, сподумен, DLE технологиясы, пласт сулары, сорбция, мембраналық әдістер, Li_2CO_3 .

Кіріспе

Литий қазіргі энергетикада, әсіресе литий-ионды аккумуляторлар өндірісінде, стратегиялық маңызы жоғары ресурс ретінде танылады. Энергия сақтау жүйелері мен электр көліктері нарығының қарқынды кеңеюі литийге деген сұранысты тұрақты өсіріп, сәйкесінше оны өндірудің өнімділігі, технологиялық тұрақтылығы және экологиялық қауіпсіздігі мәселелерін жаһандық деңгейде алдыңғы қатарға шығарды. АҚШ Геологиялық қызметінің (USGS) деректеріне сәйкес, 2024 жылы әлемдік литий өндірісі шамамен 240 мың т деңгейіне жетіп, өсу динамикасы сақталған [11]. Сондықтан литийді табиғи әрі техногендік көздерден алу технологияларын жүйелі түрде салыстырып бағалау, шикізаттың түрі мен құрамына сай тиімді өңдеу тәсілдерін негіздеу және қоршаған ортаға түсетін жүктемені азайтатын шешімдерді анықтау қазіргі зерттеулердің өзекті бағыты болып табылады.

Литий шикізаты шартты түрде екі ірі топқа бөлінеді: қатты минералдық кендер (пегматиттердегі сподумен, лепидолит және т.б.) және гидроминералды көздер (тұзды рассолдар, мұнай-газ кен орындарының пласт сулары, минералданған және геотермальды сулар). Бұл топтар үшін технологиялық тәсілдеме түбегейлі ерекшеленеді. Қатты кендерде негізгі міндет — литий құрамды минералдарды байыту арқылы концентрат алу және минерал

құрылымын кейінгі химиялық өндеуге қолайлы реакцияға қабілетті күйге көшіру, ал ерітінді типті шикізатта — литийдің салыстырмалы түрде төмен концентрациясы жағдайында жоғары селективті бөліп алу, әсіресе Mg/Li қатынасы жоғары жүйелерде қоспаларды тиімді басқару шешуші рөл атқарады [3,10,12,13]. Осы айырмашылықтар технология таңдауда «бірдей әмбебап әдіс» жоқ екенін, керісінше нақты шикізатқа бейімделген кешенді шешімдер қажет екенін көрсетеді.

Қазақстанда литийдің қатты минералдық кендері мен минералданған ерітінді көздеріне қатысты перспективалар ғылыми еңбектер мен ашық деректерде көрсетілгенімен, толық коммерциялық ауқымдағы өндірістердің басым бөлігі әзірге барлау және пилоттық сынақтар деңгейінде қалып отыр. Осы тұрғыдан халықаралық тәжірибеге сүйенген технологиялық салыстырмалы талдау еліміз үшін ықтимал тиімді бағыттарды айқындауға, өндеу схемаларын ғылыми тұрғыдан негіздеуге және болашақ өнеркәсіптік енгізуге қажетті ғылыми-техникалық алғышарттарды қалыптастыруға мүмкіндік береді [2,3].

Қатты кендерді байыту: ауыр ортада бөлу (DMS) және флотация. Қатты минералдық кендерден литий өндірудің бастапқы кезеңі — руданы байыту арқылы литий құрамды минералдардың үлесін арттыру және концентрат алу. Бұл қадам кейінгі химиялық өндеудің массалық ағынын азайтып, реагент пен энергия шығынын төмендетеді. Ірі түйірлі фракциялар үшін ауыр ортада бөлу (DMS) минералдардың тығыздық айырмашылығына негізделген алдын ала байыту әдісі ретінде тиімді саналады. Ахметкино төмен сапалы сподумен кені бойынша жүргізілген зерттеулерде DMS ірі фракцияларда бос жыныстарды айтарлықтай бөліп, байытуға түсетін шикізат сапасын жақсартатыны көрсетілген [2].

Ұсақ фракциялар үшін кең қолданылатын әдіс — көбікті флотация, мұнда коллектор реагенттер минерал бетін гидрофобтандырып, ауа көпіршіктерімен бірге көбікті өнімге шығарады. NaOH және DAA қолданылған жағдайда литийдің қалпына келуі артқанымен, кварц пен дала шпатының қатар флотациялануы концентрат сапасын шектейтіні баяндалған [2]. Бұл жағдай төмен сапалы кендер үшін бір ғана әдіс жеткіліксіз екенін көрсетеді және DMS пен флотацияны фракциялық тұрғыда біріктіру технологиялық тұрғыдан негізді шешім ретінде қарастырылады.

Сподумен концентратын күкіртқышқылды өндеу (күйдіру–сульфаттау–шаймалау). Сподуменнен литий алу тәжірибесінде кең тараған әдіс — $\alpha \rightarrow \beta$ түрлендіру арқылы минералды реакцияға қабілетті ету және кейін концентрлі H_2SO_4 -пен сульфаттау арқылы литийді еритін тұзға көшіру. Кольск ғылыми орталығының сподумен концентраты бойынша зерттеулерінде декрипитация температурасы, қышқыл шығыны және уақыт факторлары бағаланып, оңтайлы жағдайда литийдің алыну дәрежесі 96,6–98,1% деңгейіне жететіні көрсетілген [4]. Бұл әдістің ерекшелігі — жоғары recovery және өндірістік сенімділік. Алайда жоғары температуралы күйдірудің энергия сыйымдылығы, концентрлі қышқылдың коррозиялық әсері, сондай-ақ бейтараптандыру және қалдықтарды басқару операциялары технологиялық күрделілікті арттырады. Сондықтан күкіртқышқылды схема тиімді болғанымен, экономикалық-экологиялық оңтайландыруды қажет етеді.

Лепидолиттен литий алу: HF қатысында шаймалау. Лепидолиттің күрделі алюмосиликатты құрылымы литийді бөлу үшін агрессивті реагенттерді қолдануды талап етуі мүмкін. Rosales және әріптестері лепидолитті HF қатысында шаймалау кезінде Li, Al және Si ерітіндіге өтетінін және белгілі температуралық режимдерде литий экстракциясы жоғары деңгейге жететінін көрсеткен [5]. Кейін Si және Al қосылыстарын селективті тұндыру арқылы литий LiF түрінде жоғары тазалықта бөлініп алынған. Дегенмен HF-пен өндеудің өнеркәсіптік енгізілуі қауіпсіздік пен экология талаптарына байланысты шектеледі: HF — өте қауіпті және коррозиялық реагент; фторлы қалдықтарды залалсыздандыру күрделі; арнайы жабдық қажет. Осы себептен HF-шаймалау көбіне жоғары тиімділігіне қарамастан, технологиялық тәуекелі жоғары әдістер қатарына жатады.

Сілтілік (NaOH) өндеу және LiOH алу. Сілтілік өндеу схемалары литий алюмосиликаттарының NaOH әсерімен литийді ерігіш гидроксид түріне көшіруге негізделеді. Классикалық әдебиеттерде көпсатылы шаймалау, ерітіндіні қоюландыру және $LiOH \cdot H_2O$

кристалландыру арқылы өнім алу схемалары сипатталған [6]. Бұл әдіс тікелей LiOH алуға мүмкіндік беретіндігімен маңызды. Сонымен бірге NaOH шығынының жоғары болуы, көпсатылылық, энергия және капиталдық шығындар, сондай-ақ сілтілік ағын суларды залалсыздандыру күрделілігі оның кең қолданылуын шектейтін факторлар ретінде қарастырылады.

Тұзды ерітінділерден өндіру: күн буландыруы және тұндыру. Тұзды ерітінділерден литий өндірудің классикалық бағыты — күн буландыру тоғандары арқылы ерітіндіні қоюландыру және тұздарды кезеңдеп кристалландыру. Atacama үлгісіндегі өндірістік процестерде бұл тәсіл ірі масштабта іске асатыны көрсетілген [12]. Энергия шығыны салыстырмалы түрде төмен (күн радиациясы), технологиялық базасы қалыптасқан. Алайда буландырудың іргелі шектеулері бар: процесс ұзақ уақытты қажет етеді, үлкен аумаққа тәуелді, тұз қалдықтарының жиналуымен сипатталады және Mg^{2+}/Ca^{2+} , SO_4^{2-} сияқты қоспалар технологиялық басқаруды күрделендіреді [3,12]. Сондықтан рассолдың нақты құрамы мен климаттық жағдайлар бұл тәсілдің тиімділігін анықтайтын негізгі факторлар болып саналады.

Марганец оксиді негізіндегі сорбциялық әдістер: DLE (Direct Lithium Extraction). Төмен концентрациялы минералданған ерітінділер үшін перспективалы бағыт — DLE, соның ішінде литий-ион елеуіш (ion-sieve) қасиеті бар сорбенттерді қолдану. Мұндай сорбенттерде кристалдық тор қуыстары литий ионының өлшеміне сәйкес келіп, селективті адсорбцияны қамтамасыз етуі мүмкін [3,7]. Регенерация (десорбция) нәтижесінде литий концентратталған элюат түрінде алынады. Шетелдік зерттеулерде Mn/Ti типті ион-елеуіштердің тұзды жүйелерде литийге селективтілігі перспективалы екені көрсетілген, әсіресе Mg/Li қатынасы жоғары ерітінділерде [13]. Дегенмен сорбенттің циклдік тұрақтылығы, регенерация кезінде деградация және реагент шығыны технологияны ауқымдауда шешуші инженерлік шектеулер ретінде қарастырылады [3,7,13].

Мұнай-газ қабат суларынан литий алу: мембрана + сорбция гибриді схемалары. Қабат сулар — тұздылығы өте жоғары, әрі иондық құрамы күрделі ерітінділер. Jakarja және әріптестері Bakken қабат сулары үшін литий өндіруде алдын ала жұмсарту/сүзу, кейін NF/RO/ED арқылы концентрлеу және соңғы сорбциялық тазалау сияқты гибриді схеманың тиімді екенін көрсетеді. Мембраналық кезең тұздылықты төмендетіп, литийді шоғырландыруға мүмкіндік береді, ал сорбциялық саты литийді селективті бөліп алуға бағытталған. Сонымен қатар мембраналардың ластануы, энергия шығыны және көпсатылылық схеманың экономикалық тиімділігіне әсер ететін негізгі факторлар ретінде аталады [10]. Осылайша, пласт сулардан литий алу технологиясы су менеджменті және қосалқы компоненттерді кәдеге жарату шешімдерімен бірге қарастырылуы тиіс.

Төмен концентрациялы ерітінділерден Li_2CO_3 тұндыру және қоспалар әсері. Жұмыста [8] Li_2CO_3 тұндыру технологиялық тұрғыда қарапайым болғанымен, төмен концентрациялы жүйелерде кинетика мен өнім сапасы қоспаларға тәуелді. Aprilianto және әріптестері карбонат және сульфат иондарының әсерін зерттеп, SO_4^{2-} концентрациясының өсуі Li_2CO_3 шығымын төмендететінін көрсетеді, сондықтан алдын ала десульфаттау қажеттігін негіздейді. Бұл нәтиже тұндыру әдісін қолданғанда ерітіндіні кондициялау міндетті екенін дәлелдейді.

$FeCl_3$ –ТБФ жүйесінде экстракция. Экстракциялық әдістер күрделі құрамды ерітінділерден литийді селективті бөліп алуға бағытталған. $FeCl_3$ –ТБФ жүйесінде литийдің органикалық фазаға кешен ретінде өтуі және кейін реэкстракция арқылы су фазасына қайтарылуы көпсатылы түрде іске асырылады; кинетикалық параметрлер қарсы ағын режимінде қолдануға негіз береді. Дегенмен органикалық фазаны регенерациялау, эмульсия түзілу тәуекелі, көпсатылы жуу/реэкстракция өндірістік енгізуді күрделендіреді [9].

Жоғарыда келтірілген әдеби шолуға салыстымалы талдау жасай отырып, литийді алу технологиясында әмбебап шешім жоқ екенін көрсетеді: қатты кендерде жоғары recovery көбіне термохимиялық өңдеумен қамтамасыз етіледі, ал гидроминералды жүйелерде селективтілік пен қоспалар әсері шешуші рөл атқарады. Қатты кендер үшін ең жоғары және өнеркәсіптік тұрғыдан дәлелденген көрсеткіштер күкіртқышқылды сульфаттау–шаймалау

схемасында байқалады (96,6–98,1%). Алайда бұл тиімділік энергия мен қышқылды қалдықтарды басқару шығындарымен қатар жүреді. Лепидолитті HF қатысында өңдеу жоғары экстракция әлеуетін көрсеткенімен, реагенттің қауіптілігі мен фторлы қалдықтар өндірістік қолданымды шектейді. Гидроминералды көздерде классикалық күн буландыруы кең таралғанымен, ұзақ мерзімділік, үлкен аумақ және тұз қалдықтарының жиналуы — негізгі шектеулер. Осыған байланысты DLE технологиялары (ион-елеуіш сорбенттер) төмен концентрацияда және Mg/Li қатынасы жоғары жүйелерде перспективалы бағыт ретінде қарастырылады, бірақ сорбент тұрақтылығы мен регенерация шығыны мәселе болып қала береді. Пласт суларда ең тиімді тәсіл ретінде мембрана + сорбция гибриды көрсетіледі, алайда энергия шығыны мен аппараттық күрделілік олардың экономикалық тиімділігін анықтайды. Li_2CO_3 тұндыру әдісі қарапайым болғанымен, SO_4^{2-} сияқты қоспаларға сезімталдығы алдын ала тазалау сатыларын қажет етеді.

Қазақстанда литий өндірісін дамыту үшін шикізат түріне қарай технологиялық бағыттарды жіктеу маңызды. Қатты минералдық кендер үшін байыту кезеңі (DMS/флотация) концентрат сапасын арттырып, кейінгі химиялық өңдеудің тиімділігін жақсартады [2]. Ал гидроминералды көздерде (минералданған ерітінділер, пласт сулары) шешуші фактор — ерітіндінің нақты химиялық құрамы және $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ деңгейі, сондықтан селективті DLE немесе мембраналық алдын ала концентрлеумен біріктірілген схемаларды тәжірибелік-пилоттық деңгейде бағалау қажет [10,13].

Осылайша, Қазақстан үшін басым міндет — нақты объектілер бойынша (кен минералогиясы; ерітіндідегі Mg/Li, Ca/Li, SO_4^{2-}) технологиялық таңдауды ғылыми негіздеп, пилоттық сынақтармен дәлелдеу және экологиялық тәуекелді төмендету.

Қорытынды

Литийді минералды және гидроминералды шикізаттан алу технологиялары шикізаттың табиғатына тәуелді және көбіне кешенді әдістер комбинациясын талап етеді. Қатты кендерде байыту (DMS/флотация) концентрат алуға мүмкіндік беріп, ең жоғары recovery беретін бағыт ретінде $\alpha \rightarrow \beta$ түрлендіру және H_2SO_4 сульфаттау–шаймалау (96,6–98,1%) ерекшеленеді. Алайда жоғары температуралық күйдіру мен қышқылды қалдықтарды басқару бұл схеманың негізгі шектеуі болып табылады. Лепидолитті HF қатысында шаймалау жоғары тиімділік көрсеткенімен, қауіпсіздік және экология тәуекелі өндірістік енгізуді шектейді. Гидроминералды көздерде күн буландыруы өндірістік классика болғанымен, уақыт пен аумаққа тәуелділігі және қалдық тұздардың жиналуы маңызды проблема. Төмен концентрациялы ерітінділер үшін DLE (ион-елеуіш сорбция) селективтілігімен перспективалы, бірақ сорбент тұрақтылығы мен регенерация шығынын оңтайландыру қажет. Пласт суларда мембрана+сорбция гибриды тиімді болғанымен, көпсатылылық пен энергия шығыны экономикалық тұрғыдан мұқият есептеуді талап етеді. Сондықтан технология таңдау нақты шикізаттың құрамы мен экономикалық-экологиялық талаптарды қатар ескере отырып жүргізілуі тиіс.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. “Сорбционное извлечение лития из рассола” С.А. Алейников, Н.В. Белоусова; *iPolytech journal* (2025). DOI: 10.21285/1814-3520-2025-3-376-388.
2. “Lithium Ore Beneficiation: Sustainable Approaches for Efficient Recovery of Lithium from a Low-Grade Spodumene Ore” D. Sagzhanov, Junichiro Ito, Batnasan Altansukh, et al.; *Journal of Sustainable Metallurgy* (2025).
3. Кудрявцев П.Г., Кудрявцев Н.П. Сравнение эффективности способов извлечения лития и его соединений из природного сырья // *Альтернативная энергетика и экология* (ISJAE). 2017;(28–30):82–105.
4. Сернокислотное разложение сподуменового концентрата Колмозерского месторождения / А.Г. Касиков и др. // *Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки*. 2023. Т.14, №2. С.102–106. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.2.018.

5. Rosales G.D., Pinna E.G., Suarez D.S., Rodriguez M.H. Recovery Process of Li, Al and Si from Lepidolite by Leaching with HF. *Minerals*. 2017, 7(3), 36. <https://doi.org/10.3390/min7030036>
6. Плющев В.Е., Степин Б.Д. *Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия*. Москва: «Химия», 1970. 407 с.
7. Попов Г.В. Выделение лития на сорбентах Токем-160 и Amberlite IR-120 из водных растворов // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020. Т.331. №10. С.146–154.
8. Aprilianto D.R., Perdana I., Rochmadi, Petrus H.T.B.M. Effect of Sulfate and Carbonate Ions on Lithium Carbonate Precipitation from a Low Concentration Lithium Containing Solution. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2024, 63, 4918–4933.
9. Рахимбаев Б.С., Хасанов А.С., Туробов Ш.Н., Комилов Б.А. ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ЭКСТРАКЦИИ ЛИТИЯ. *DIGITAL TECHNOLOGIES IN INDUSTRY* (2025). DOI: 10.70769/3030-3214.SRT.3.1.2025.14
10. Jakaria M., Ling K., Pu H., et al. Lithium and Salt Extraction from the Bakken Produced Water. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* (2025) 15:167. <https://doi.org/10.1007/s13202-025-02012-9>
11. U.S. Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries 2025: Lithium* (2025).
12. Torres D., Pérez K., Galleguillos Madrid F.M., et al. Salar de Atacama Lithium and Potassium Productive Process. *Metals* (2024), 14(10), 1095.
13. Ding Y., et al. Manganese–Titanium Mixed Ion Sieves for the Selective Adsorption of Lithium Ions... *Materials* (2023), 16(11), 4190.

ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ ИЗ МИНЕРАЛЬНОГО И ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.Н. Боранбаева, А. Абаева

Университет Есенова, Актау, Казахстан

e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz, abaevaaknaz@gmail.com

Аннотация. В данной статье проводится сравнительный анализ современных технологий извлечения лития из минерального и гидроминерального сырья. Стратегическое значение лития в производстве литий-ионных аккумуляторов, систем накопления энергии и электротранспорта обуславливает актуальность его эффективного и экологически безопасного получения из природных и техногенных источников. В работе рассмотрены методы извлечения лития из твердых минеральных руд, включая разделение в тяжелых средах, флотацию, сернокислотное сульфатирование и выщелачивание сподуменового концентрата, обработку лепидолита в присутствии HF, а также щелочные методы. Кроме того, проанализированы направления получения лития из солевых растворов, минерализованных вод и нефтегазовых пластовых вод. Для гидроминеральных систем показаны преимущества и ограничения солнечного испарения, осаждения Li_2CO_3 , экстракции, мембранных технологий и сорбционных методов DLE на основе ион-ситовых материалов. Установлено, что эффективность каждого метода напрямую зависит от концентрации лития, состава примесей в растворе, соотношений Mg/Li и Ca/Li , а также технологических и экологических требований. Результаты исследования показывают необходимость учитывать при выборе технологии извлечения лития не только производительность процесса, но и расход реагентов, энергопотребление и вопросы управления отходами. С учетом минерально-сырьевого потенциала Казахстана такой сравнительный анализ может способствовать научно обоснованному развитию отечественного производства лития в будущем. В статье обосновано, что универсального технологического решения не существует, поэтому для каждого типа сырья необходимо подбирать индивидуальную технологическую схему с учетом его минералогического и химического состава. Для условий Казахстана подчеркивается

важность комплексного изучения состава твердых руд и пластовых вод, оценки таких факторов, как Mg/Li , Ca/Li и SO_4^{2-} , а также проведения пилотных испытаний.

Ключевые слова: литий, гидроминеральное сырье, сподумен, технология DLE, пластовые воды, сорбция, мембранные методы, Li_2CO_3 .

TECHNOLOGIES FOR LITHIUM RECOVERY FROM MINERAL AND HYDROMINERAL RAW MATERIALS

A.N. Boranbayeva, A. Abayeva

Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

e-mail: assiya.boranbayeva@yu.edu.kz, abaevaaknaz@gmail.com

Abstract. This article provides a comparative analysis of modern technologies for lithium extraction from mineral and hydromineral raw materials. The strategic importance of lithium in the production of lithium-ion batteries, energy storage systems and electric vehicles determines the relevance of its efficient and environmentally safe recovery from natural and technogenic sources. The paper considers methods for extracting lithium from solid mineral ores, including dense medium separation, flotation, sulfuric acid sulfation and leaching of spodumene concentrate, leaching of lepidolite in the presence of HF, as well as alkaline processing methods. In addition, the main approaches to lithium recovery from saline solutions, mineralized waters and oilfield formation waters are analyzed. For hydromineral systems, the advantages and limitations of solar evaporation, Li_2CO_3 precipitation, solvent extraction, membrane technologies and DLE sorption methods based on ion-sieve materials are discussed. It is established that the efficiency of each method directly depends on lithium concentration, the impurity composition of the solution, Mg/Li and Ca/Li ratios, as well as technological and environmental requirements. The results of the study indicate that the selection of lithium extraction technology should take into account not only process productivity, but also reagent consumption, energy demand and waste management issues. Considering Kazakhstan's mineral resource potential, such a comparative analysis may contribute to the scientifically grounded development of domestic lithium production in the future. The article substantiates that there is no universal technological solution; therefore, an individual process scheme should be selected for each type of raw material, taking into account its mineralogical and chemical composition. For the conditions of Kazakhstan, the importance of comprehensive studies of solid ores and formation waters, assessment of factors such as Mg/Li , Ca/Li and SO_4^{2-} , as well as pilot-scale testing, is emphasized.

Keywords: lithium, hydromineral raw materials, spodumene, DLE technology, formation waters, sorption, membrane methods, Li_2CO_3 .