

Код МРНТИ 38.33.19:38.33.17

*Б. Б. Ағалиева, С. А. Мусаканова, И. Е. Матайбаева, Е. А. Калиев

Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан)

АРАЛ Өңірінің сорлары мен табиғи суларының литийлілігі

Аңдатпа. Қазақстанның Арал өңіріндегі сорлармен, тұзды көлдермен және жерасты суларымен байланысты литийлі гидроминералдық объектілерге салыстырмалы шолу жасалды. Негізгі назар сор рапаларындағы, рассолдардағы, сондай-ақ әртүрлі тереңдіктерден алынған грунт үлгілеріндегі литий концентрациясына аударылды. Аталған аймақта литийдің өнеркәсіптік концентрациясы тек сорлармен ғана байланысты екендігі анықталды, ал өздігінен ағатын ұңғымалардың жерасты сулары литийдің кларктық мазмұнымен сипатталады. Ең перспективалы объектілер ретінде Момышкөл соры (рападағы Li – 53,976 мг/л), Жақсыкылыш көлі (11,01 мг/л) және Бірітабан Қарасу урочищесіндегі атаусыз сор (13,062 мг/л) айқындалды. Рассолдардағы литийдің жинақталуының ионалмасу механизмі туралы – сыйыстырушы саздақ жыныстардан шайылып шығу есебінен – болжам ұсынылды.

Түйінді сөздер: литий, рапа, сорлар, Арал өңірі, Қазақстан, гидрогеохимия, геохимиялық іздегірту, өнеркәсіптік концентрациялар.

Lithium content of salt soils and natural waters in the Aral Sea region

Abstract. A comparative review of lithium-bearing hydromineral objects of the Aral Sea region (Kazakhstan) associated with salt marshes, salt lakes and groundwater was carried out. It focuses on lithium concentrations in brines and brines of salt marshes, as well as in soils at various extraction depths. It has been established that industrial concentrations of lithium in this region are associated exclusively with salt marshes, while groundwater from self-overflowing wells is characterized by clark content. The most promising objects are the Momyshkol salt marsh (53.976 mg/l Li in rapa), Lake Zhaksykylysh (11.01 mg/l) and the unnamed salt marsh of the Birtaban Karasu tract (13.062 mg/l). A hypothesis has been put forward about the ion exchange mechanism of lithium accumulation in brines due to leaching from the host clayey rocks.

Key words: lithium, rapa, salt marshes, Aral Sea region, Kazakhstan, hydrogeochemistry, geochemical prospecting, industrial concentrations.

Литиеносность солончаков и природных вод Приаралья

Аннотация. Проведен сравнительный обзор литиеносных гидроминеральных объектов Приаралья (Казахстан), связанных с солончаками, солеными озерами и подземными водами. Основное внимание уделено концентрациям лития в рапах и рассолах солончаков, а также в грунтах на различных глубинах отбора. Установлено, что промышленные концентрации лития в данном регионе ассоциируются исключительно с солончаками, тогда как подземные воды самоизливающиеся скважин характеризуются кларковыми содержаниями. Наиболее перспективными объектами определены солончак Момышкөл (53,976 мг/л Li в рапе), озеро Жаксыкылыш (11,01 мг/л) и безымянный солончак урочища Биртабан Карасу (13,062 мг/л). Выдвинута гипотеза об ионообменном механизме накопления лития в рассолах за счет вымывания из вмещающих глинистых пород.

Ключевые слова: литий, рапа, солончаки, Приаралье, Казахстан, гидрогеохимия, геохимические поиски, промышленные концентрации.

Кіріспе

XXI ғасырдың басынан бастап литий әлем экономикасының стратегиялық шикізатына айналды. Электромобильдерге және энергияны сақтау жүйелеріне арналған литий-ионды аккумуляторлар өндірісінің өсуі осы металға деген сұраныстың күрт артуына алып келді. АҚШ Геологиялық қызметінің мәліметтері бойынша литийдің әлемдік ресурстары 98 млн т деп бағаланады, оның шамамен 60%-ы тұзды көлдер рассолдарында шоғырланған [1].

Дәстүрлі түрде гидроминералдық литийдің негізгі көзі ретінде «литий үшбұрышының» – Чили, Аргентина және Боливияның – таулы салалары, сондай-ақ Қытайдың Тибет үстіртіндегі тұзды көлдер есептеледі. Сонымен бірге литийдің мүмкін болатын дәстүрлі емес көздері, атап айтқанда аридті ойпаттардағы сорлар, өте жеткіліксіз зерттелген [2].

Арал өңірінің аумағы бірегей табиғи объектіні білдіреді: кеуіп қалған Арал теңізінің түбі ауқымды сорлармен және теңіздік эвапориттер қабаттарымен жабылған, теориялық тұрғыдан литий мазмұны бар шикізаттың айтарлықтай қорын сақтауы мүмкін. Арал өңірінің өнеркәсіптік сулары мен тұздары литий мазмұнына іс жүзінде зерттелмеген. Сирек кездесетін әдеби деректер бойынша литийдің аймақтың тұзды көлдері мен рапаларында болуы мүмкін деп болжанған [3].

2023 жылдың күз мезгілінде Арал өңірінің литий кен орнына минерагендік потенциалын зерттеуге арналған жүйелі іздегірту жұмыстары алғаш рет жүргізілді. Осы мақала алынған нәтижелерді жинақтауды және талдауды қамтиды.

Зерттеу ауданы

Әкімшілік тұрғыдан алғанда зерттелген аумақ Қазақстан Республикасының Қызылорда облысының Қазалы

және Арал аудандарын, сондай-ақ Ақтөбе облысының Шалқар ауданын қамтиды. Ірі елді мекендері: Арал қаласы (шамамен 30 мың тұрғын) және Шалқар қаласы (шамамен 28 мың тұрғын).

Географиялық тұрғыдан аудан абсолюттік белгілері 45-тен 250 м-ге дейін өзгертін, негізінен кеуіп қалған Арал теңізінің түбінде орналасқан кең аласа жазықты білдіреді. Оның шеңберінде рельефтің үш негізгі элементі бөлінеді: Арал маңы Қарақұмының құмдары (эолдық рельеф пішіндері, абсолюттік белгілер 70–100 м), теңіз жазығы (кеуіп қалған Аралдың тегіс, аздап еңкейген беті, белгілер 45–56 м) және солтүстік бөлігіндегі үстелді тип останецтері бар төбелі жазық.

Климат күрт континентті, аридті: жылдық жауын-шашын мөлшері 100–150 мм-ден аспайды, жаздық температура +40–45 °C-қа жетеді, булану жауын-шашыннан бірнеше есе асып кетеді. Бұл жағдайлар грунттардың қарқынды тұздануын және рельефтің ойыстарында – сорлар мен тұзды көлдерде – тұздардың шоғырлануын туғызады.

Жұмыс әдістемесі

Далалық жұмыстар басталмас бұрын камералдық кезеңде жерді кашықтықтан зондтау материалдары дешифрленді және алғашқы сынамалауға ең перспективалы учаскелер айқындалды. Далалық жұмыстар барысында өздігінен ағатын артезиандық ұңғымалар, бұлақтар, тұзды көлдер және сорлар тексерілді [4, 5, 6].

Өздігінен ағатын ұңғымаларда дебит, минерализация (TDS), су температурасы анықталып, химиялық талдауға арналған үлгілер іріктелді. Сорларда су (рапа) және грунт үлгілері беттен, сондай-ақ 0,15 м; 0,30 м; 0,45 м тереңдіктерден, жекелеген учаскелерде – 0,9 м тереңдікке дейін



Сурет 1а. Сор бетінен тұз үлгісін іріктеу.
Figure 1a. Taking salt samples from the surface of the salt marsh.

Рис. 1а. Отбор проб соли с поверхности солончака.



Сурет 1в. Далалық журналдарды жүргізу.
Figure 1с. Keeping field journals.

Рис. 1в. Ведение полевых журналов.



Сурет 1б. Копуш өткізу.
Figure 1b. Passage of the kopusha.
Рис. 1б. Проходка копуши.



Сурет 1г. Өздігінен ағатын ұңғыманы тексеру.
Figure 1d. Examination of a self-flowing well.
Рис. 1г. Обследование самоизливающейся скважины.

алынды. Барлық бақылау нүктелерінде далалық тіркеу және фотосуретке түсіру жүргізілді.

2023 жылғы далалық жұмыстар барысында барлығы 80-нен астам су үлгісі және 232 грунт үлгісі іріктелді. Су үлгілері Алматы қаласындағы У. М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының химиялық-аналитикалық зерттеу әдістері зертханасында ИСП-АЭС әдісімен (СТ РК ГОСТ Р 51309-2003) талданды. Грунт үлгілері Қарағанды қаласындағы ALS Kazgeochemistry зертханасында ME-ICP41 және ME-ICP61 әдістерімен зерттелді [7, 8].

Гидрогеохимиялық зерттеу нәтижелері

Гидрогеохимиялық зерттеулермен 1 ретті үш гидрогеологиялық бассейні қамтылды: Үстірт, Сырдария және Аралмаңы-Торғай-Шу-Сарысу. Барлығы 36 өздігінен ағатын ұңғыма, 9 бұлақ және 25 тұзды көл сынамаланды.

Жерасты сулары. Өздігінен ағатын ұңғымалармен ашылған жерасты суларындағы литий мөлшері 0,031–0,133 мг/л аралығында. Ұңғымалардың ешқайсысында өнеркәсіптік концентрация (10 мг/л-ден жоғары) анықталмады. Ұңғымалардың дебиті 0,12-ден 20 дм³/с-қа дейін,

минерализация – 1,4-тен 9,6 г/л-ге дейін, су температурасы – 16-дан 48 °C-қа дейін өзгереді.

Бұлақтар. Сынамаланған бұлақтардағы литий концентрациясы 0,083–1,602 мг/л аралығында. Батыс Арал өңірінде (338 б.н., Тұщыбас шығанағы) 3,729 мг/л дейінгі жоғарылаған мән белгіленді. Жалпы алғанда бұлақтардағы литий мөлшері өнеркәсіптік мәндерден төмен.

Көлдер мен сор рапалары. Литийдің ең жоғары концентрациялары сор рапаларынан және тұзды көлдер суларынан анықталды. Көлдер суындағы литий концентрациясы 0,466-дан 53,976 мг/л-ге дейін өзгереді [9, 10].

Геохимиялық зерттеу нәтижелері

Далалық жұмыстар барысында 82 учаскеде сор бетінен және 0,15–0,45 м тереңдіктерден 232 грунт үлгісі іріктелді. Зертханалық зерттеу деректері бойынша грунттардағы литий концентрациясы 10-нан 170 мг/кг (г/т) дейін өзгереді. Концентрация мәні бойынша үш дәреже бөлінеді: төмен өнеркәсіптік – 10–20 мг/кг, жоғары – 20–50 мг/кг, өте жоғары – 50 мг/кг-нан астам.

Геохимиялық деректер бойынша ең перспективалы алты учаске айқындалды. Сорбұлақ алқабындағы сор (36 б.н., Арал өңірінің солтүстік-шығысы): 0,15–0,45 м

Кесте 1

Арал өңіріндегі литий мөлшері жоғарғы объектілер

Table 1

Objects with high lithium content in the Aral Sea region

Таблица 1

Объекты с повышенным содержанием лития в Приаралье

Объектілер	Координаттар	Li, мг/л	Ескертпе
Момышкөл соры (325 б.н.)	46°30'33" с.е., 61°39'55" ш.б.	53,976 / 11,658	Рапа (0,15 м) / жерасты сулары; өте жоғары өнеркәсіптік концентрациялар
Атаусыз сор (48 б.н.)	46°49'50" с.е., 59°20'56" ш.б.	13,062	Ең төменгі өнеркәсіптік концентрация (> 10 мг/л)
Жаксы Қылыш көлі (326 б.н.)	46°51'47" с.е., 61°54'13" ш.б.	11,01	Ең төменгі өнеркәсіптік концентрация
Қаланды а. маңындағы сор (341 б.н.)	46°04'11" с.е., 59°30'04" ш.б.	11,474	Рапа, ең төменгі өнеркәсіптік концентрация
Ақбөгет көлі (34 б.н.)	45°59'38" с.е., 61°18'24" ш.б.	7,187	Жоғарылаған концентрациялар
Тақыртөбе урочищесі (18 б.н.)	45°02'22" с.е., 61°47'21" ш.б.	8,368	Жоғарылаған концентрациялар
Қошқарата соры (350/351 б.н.)	46°35'44–54" с.е., 58°22–31" ш.б.	4,122–4,267	Жоғарылаған концентрациялар



Сурет 2. Жаксы Қылыш соры – Li мөлшері 11,01 мг/л.

Figure 2. Salt marsh Zhaksy Kylysh – Li content 11.01 mg/l.

Рис. 2. Солончак Жаксы Кылыш – содержание Li 11,01 мг/л.



Сурет 3. Сор рапаларынан сынама алу.

Figure 3. Sampling from salt marsh brines.

Рис. 3. Отбор проб из рап солончаков.

аралығындағы *Li*-дің орташа мөлшері 156 мг/кг, максимум – 0,30 м тереңдікте 170 мг/кг. Бұл мәндер өте жоғары өнеркәсіптік концентрацияларға жатады [11].

Бердікөл көлінің соры (39 б.н., Арал өңірінің солтүстігі): барлық сынама тереңдіктерінде литий мөлшері

80–90 мг/кг, орташа – 87,5 мг/кг. Кіші Барсуки құмдарынан шығысқа қарай орналасқан атаусыз сор (41 б.н.): литий концентрациясы 50–70 мг/кг. Жетіқаңсор соры (51 б.н.): 20–80 мг/кг, орташа мән 55 мг/кг. Баспансор соры (70 б.н.): зерттелген бүкіл аралықта литий мөлшері тұрақты 70–80 мг/кг, орташа – 77,5 мг/кг.



Сурет 4. Сорбұлақ алқабындағы сор – геохимиялық жұмыстардың ең перспективалы учаскесі, Li мөлшері 170 мг/кг-ға дейін.

Figure 4. Solonchak of the Sorbulak site is the most promising area for geochemical work, Li content is 170 mg/l.

Рис. 4. Солончак участка Сорбулак – наиболее перспективный участок геохимических работ, содержание Li 170 мг/л.

Нәтижелерді талқылау

Алынған деректер Латын Америкасының «литий үшбұрышында» және Қытайдың Тибет үстіртіне іске асырылған классикалық литийлілік үлгісінен түбегейлі ерекшеленеді. Бұл аймақтарда литий жас вулканизм аймақтарымен

тамақтанатын ыстық және жылы бұлақтармен байланысты [4, 5]. Ең ірі салалардың – Атакама (Чили) және Уюни (Боливия) – рапаларындағы литий мөлшері 1000–7000 мг/л-ге жетеді.

Арал өңірінде жағдай түбегейлі өзгеше: жерасты сулары жоғары дебитке және айтарлықтай минерализацияға (9,6 г/л-ге дейін) қарамастан, литийдің тек кларктық мөлшерін ғана (0,031–0,133 мг/л) қамтиды. Бұл Арал аймағындағы вулкандық белсенділіктің және геотермалдық көздердің болмауымен түсіндіріледі.

Басты бақылау – литийдің тереңдік бойынша таралу сипаты: рассолдардағы концентрация сынама тереңдігіне іс жүзінде тәуелді емес және тамақтандырушы ұңғыма суларындағы концентрациямен корреляцияланбайды. Бұл литийдің бастапқыда саздақ жыныстарда болатындығын, олардан рассолдардың натрий хлоридінің әсерінен ионалмасу нәтижесінде жерасты суларына өтетіндігін куәландырады [8]. Осылайша, бұл кен пайда болу түрін ионалмасулы-элювиалды деп сипаттауға болады.

Бурабай массивінің (Шығыс қазақстан) литийлілігімен салыстыру

Қазақстанның литий потенциалын толық түсіну үшін Арал өңірінде алынған нәтижелерді Бурабай гранитоидты массивінің (Шығыс Қазақстан облысы, Күршім ауданы, Зайсан ойысы) аумағындағы көлдер литийлілігіне қатысты 2020 жылы ИСП-МС әдісімен алынған деректермен салыстыру ерекше ғылыми қызығушылық тудырады.

Бурабай учаскесі Қалба-Нарым батолитының құрамындағы ерте пермдік жастағы аттас гранитты массивке тіркелген. Арал өңірінен айырмашылығы – мұнда литий аридті климат жағдайында қарқынды булану кезінде сорлардың рапалары мен рассолдарында шоғырланбайды, – Бурабай массивінің ауданында литий көзі болып **Li** мөлшері 19,1 г/т болатын Қалба кешеннің биотиттік граниттері, ал көл түбіндегі шөгінділер 0,98 г/т дейін литий қамтиды. Бурабай учаскесінің тұйық көлдерінің сулары (8–10 көлдер) литийді 366,20 мкг/л (0,366 мг/л) мөлшерінде қамтиды. Бұл мәндер сыйыстырушы граниттерден литийдің баяу шайылып шығуын – гранитогендік литийлілік типі деп аталатынды – куәландырады.

Осылайша, Қазақстан шеңберінде гидроминералдық литийліліктің екі түбегейлі өзгеше типі айқындалды (2-кесте). Бірінші тип – ионалмасулы-эвапориттік (Арал өңірі): литий мезо-кайнозой жасындағы сыйыстырушы саздақ жыныстармен концентрленген хлоридтік-натрийлік тұздықтармен өзара әрекеттесуі нәтижесінде ионалмасу арқылы тұйық сорлардың рапалары мен рассолдарында жинақталады; литий концентрациясы 53,976 мг/л-ге жетеді, бұл өнеркәсіптік өндіру шегінен 147 есе жоғары. Екінші тип – гранитогендік (Бурабай массиві): литий Қалба-Нарым плутонының литийлі граниттерінен химиялық шайылу кезінде тұйық көлдер суларына түседі; максималды концентрациялар 0,366 мг/л құрайды, бұл өнеркәсіптік мәндерден айтарлықтай төмен, алайда сыйыстырушы гранитоидтардың сирек металдық мамандануымен тікелей байланысты.

Айқындалған айырмашылықтар түбегейлі өзгеше геологиялық және климаттық жағдайлармен байланысты: Арал өңірінде аридті климат, қарқынды булану және кеуіп қалған Арал теңізінің қуатты эвапоритті шөгінділерінің

болуы шешуші рөл атқарады, ал Шығыс Қазақстанда көлдердің литийлілігі тауқайнарлы гранитоидтарға жақындығымен айқындалады – олардың минерал құрайтын минералдарында (биотит пен мусковитте) литийдің жоғарылаған концентрациялары бар. Алынған деректер Қазақстандағы аридті зоналардың сорларында да, сирек металдық гранитоидты массивтерге тіркелген тұйық көлдерде де гидроминералдық литийге бағытталған іздестіру жүргізудің перспективалылығына дәлел болып табылады.

Кесте 2

Қазақстан табиғи суларының литийлілік типтерін салыстыру

Table 2

Comparison of lithium types in natural waters of Kazakhstan

Таблица 2

Сравнение типов лития в природных водах Казахстана

Көрсеткіш	Арал өңірі	Бурабай массиві (ШҚО)
Литийлілік типі	Ионалмасулы-эвапориттік	Гранитогендік
Литий көзі	Мезо-кайнозой саздақ жыныстары (рассолдармен ионалмасу)	Қалба-Нарым плутонының биотиттік граниттері (шайылу)
Сулардағы Li , мг/л	0,466–53,976 (макс. 53,976)	0,366 дейін
Жыныстар/грунттардағы Li , г/т	10–170 (сорлардың грунттары)	19,1 (граниттер); 0,98 (түбіндегі шөгінділер)
Сулардың минерализациясы	10 г/л-ден жоғары (рапалар)	0,5–9 г/дм ³
Климат және рельеф	Аридті жазық, кеуіп қалған теңіз түбі, сорлы ойыстар	Таулы-тайгалық рельеф, гранитты массивтер арасындағы тұйық көлдер
Өнеркәсіптік перспективалары	Жоғары: Li > 10 мг/л болатын 4 объект; барлау жүргізу ұсынылады	Өнеркәсіптіктен төмен; СМ кенденуінің индикаторы ретінде маңызды
Талдау әдісі	ИСП-АЭС (СТ РК ГОСТ Р 51309-2003); МЕ-ICP41/61	ИСП-МС (ICP-MS Agilent 7500cx)

Қорытынды

Арал өңірінің 36 өздігінен ағатын ұңғымасының жерасты суларындағы литий мөлшері 0,031–0,133 мг/л құрайды, бұл ең төменгі өнеркәсіптік мәннен (10 мг/л) екі есе төмен. Латын Америкасының «литий үшбұрышына» тән гидроминералдық литийдің геотермалдық белсенділікпен генетикалық байланысы осы аймақта жоқ.

Литийдің өнеркәсіптік концентрациялары (> 10 мг/л) төрт объектінің рапалары мен суларынан анықталды: Мо-

мышкөл соры – 53,976 мг/л (0,15 м тереңдіктегі рапа) және 11,658 мг/л (жерасты сулары); Бірітабан Қарасу маңындағы сор – 13,062 мг/л; Жаксықылыш көлі – 11,01 мг/л; Қаланды а. маңындағы сор – 11,474 мг/л. Аталған объектілер егжей-тегжейлі геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу үшін ұсынылады.

Грунттарды геохимиялық сынамалау деректері бойынша (232 үлгі, 82 учаске) өнеркәсіптік санатқа жататын литий концентрациясы бар алты перспективалы сор айқындалды: Сорбұлақ – орташа 156 мг/кг (максимум 170 мг/кг), Бердіқол – 87,5 мг/кг, Баспансор – 77,5 мг/кг, Жетіқаңсор – 55 мг/кг, бұл Л. С. Балашов жіктемесі бойынша өте жоғары және жоғары өнеркәсіптік мазмұндарға сәйкес келеді.

Сорлардың рассолдарында литийдің тереңдік бойынша таралуының салыстырмалы түрде біркелкі екені және оның концентрациясы коректендіруші жерасты суларының концентрациясымен айқын корреляция көрсетпейтіні анықталды. Бұл литийлі рассолдардың қалыптасуының ионалмасулы-элювиалды механизмін куәландырады: литий көзі болып мезо-кайнозой жасындағы саздақ жыныстар табылады, олардан металл концентрленген хлоридтік-натрийлік рассолдармен өзара әрекеттесу кезінде бөлінеді.

Бурабай гранитоидты массивінің (Шығыс Қазақстан) көлдері литийлілігіне қатысты деректермен салыстыру

Қазақстан шеңберінде гидроминералдық литийліліктің екі типінің – ионалмасулы-эвапориттіктің (Арал өңірі, *Li* 53,976 мг/л дейін) және гранитогендіктің (Бурабай, *Li* 0,366 мг/л дейін) – арасындағы айқын айырмашылықтарды көрсетеді. Арал өңірі айтарлықтай жоғары өнеркәсіптік потенциалға ие және гидроминералдық литийге одан әрі іздестіру-барлау жұмыстарын жүргізуге перспективалы объект болып табылады.

Қаржыландыру

Бұл мақала «Жас Ғалым» бюджеттік бағдарламасы шеңберінде орындалатын №113-459-24 шарт негізінде АР22682812 «Шығыс Қазақстанның табиғи суларында сирек кездесетін элементтердің геохимиялық таралуын геоақпараттық жүйелерді қолдана отырып зерттеу» жобасы бойынша Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2024–2026 жылдарға арналған бағдарламалық-нысаналы қаржыландыру конкурсы аясында дайындалды.

Алғыс

Авторлар әріптестеріне әдістемелік қолдау және пайдалы талқылаулар үшін, сондай-ақ мақаланың сапасын жақсартуға ықпал еткен құнды ескертулер үшін анонимді рецензенттерге алғыс білдіреді.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Yaskula B. V. *Lithium* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – Б. 44.1–44.10 (ағылшын тілінде)
2. Оңтүстік Америка мен Орталық Азияның литий тұзды көлдері / Н. И. Волкова [және т. б.] // *Тұрақты даму үшін химия*. – 2012. – Т. 20. – Б. 21–26 (орыс тілінде)
3. Қазақстан Республикасының гидрогеологиялық карталарының атласы. – Алматы: М. И. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, 2022. – 180 б. (орыс тілінде)
4. Garrett D. *Литий және табиғи кальций хлориді анықтамалығы: олардың кен орындары, өңдеуі, қолданылуы және қасиеттері*. – Амстердам: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 б. (ағылшын тілінде)
5. *Жер асты сирек кездесетін металл суларын геохимиялық бағалау және картаға түсіру бойынша әдістемелік ұсыныстар* / Л. С. Балашов, М. С. Голицын, Н. В. Ефремочкин [және т. б.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 87 б. (орыс тілінде)
6. Шу-Сарысу ойпатының сортаң жерлерінің беткі қабатындағы суларындағы литий құрамының болашағы / Р. Т. Баратов [және т. б.] // *Қазақстанның тау-кен журналы*. – 2023. – № 11. – Б. 5–13 (орыс тілінде)
7. Қатты пайдалы қазбалардың кен орындарының қорларын жіктеуді және болжамды ресурстарын қолдану бойынша әдістемелік ұсыныстар. Көл тұздары. – Мәскеу: Пайдалы қазбалар қорлары жөніндегі мемлекеттік комиссия, 2007 (орыс тілінде)
8. Ченсизбаев Д. Б. Қазақстан Республикасының минералды-шикізат базасының литий әлеуеті // *ТПУ хабаршысы. Георесурстар инженериясы*. – 2024. – Т. 335. – № 7. – Б. 120–133 (орыс тілінде)
9. Шу-Сарысу ойпатының тұзды тұзды суларындағы литий концентрациясы / R. T. Baratov [және т. б.] // *Applied sciences*. – 2024. – Т. 14. (12). – 5351 (ағылшын тілінде)
10. Арал теңізі аймағының тұзды көлдерінің тұзды суынан литий хлоридін алу процесін зерттеу / А. А. Анарбайев [және т. б.] // *ИЖИТЕЭ*. – 2019. – Т. 8 (7). – Б. 2235–2238 (ағылшын тілінде)
11. Арал теңізі аймағының литий бар тұзды суынан литий хлоридін сорбциялық алуды математикалық модельдеу / М. М. Ulbekova [және т. б.] // *Science Direct*. – 2024. – Т. 358. – 118756 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Yaskula B. V. *Lithium* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – P. 44.1–44.10 (in English)
2. *Litievye solyanye ozera Yuzhnoi Ameriki i Tsentral'noi Azii* [Lithium Salt Lakes of South America and Central Asia] N. I. Volkova et al. *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development]. – 2012. – Vol. 20. – P. 21–26 (in Russian)

3. *Atlas gidrogeologicheskikh kart Respubliki Kazakhstan [Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan]*. – Almaty: Institut gidrogeologii i geoekologii imeni U. M. Akhmedsafina, 2022. – 180 p. (in Russian)
4. Garrett D. *Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride: Their Deposits, Processing, Use, and Properties*. – Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 p. (in English)
5. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoi otsenke i kartirovaniyu podzemnykh redkometall'nykh vod [Methodical Recommendations for Geochemical Assessment and Mapping of Underground Rare-Metal Waters]* L. S. Balashov, M.S. Golitsyn, Efremochkin N.V. et al. – Moscow: VSEGINGEO, 1977. – 87 p. (in Russian)
6. *Perspektivy litienosnosti priповерхностnykh vod solonchakov Chu-Sarysuiskoi vpadiny [Prospects for Lithium Content of Surface Waters of the Chu-Sarysu Depression Solonchaks]* R. T. Ratov et al. *Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]*. – 2023. – No. 11. – P. 5–13 (in Russian)
7. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu klassifikatsii zapasov mestorozhdenii i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ozerne soli [Guidelines for the Application of the Classification of Mineral Reserves and Prognostic Resources of Solid Minerals. Lake Salts]*. – Moscow: Gosudarstvennaya komissiya po zapasam poleznykh iskopaemykh, 2007 (in Russian)
8. Chensizbaev D. B. *Litievyy potentsial mineral'no-syr'evoi bazy Respubliki Kazakhstan [Lithium Potential of the Mineral Resource Base of the Republic of Kazakhstan]*, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering [Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov]*. – 2024. – Vol. 335. – No. 7. – P. 120–133 (in Russian)
9. *Lithium concentrations in saline brines of the Shu-Sarysu depression* / R. T. Ratov et al. // *Applied sciences*. – 2024. – Vol. 14 (12). – Article 5351 (in English)
10. *Study of the process of lithium chloride extraction from the brine of salt lakes of the Aral Sea* / A. A. Anarbayev et al. // *Izhevsk Institute of Hydrometeorology and Electrification*. – 2019. – Vol. 8 (7). P. 2235–2238 (in English)
11. *Mathematical Modeling of Sorptive Extraction of Lithium Chloride from Lithium-Containing Brine of the Aral Sea Region* / M. M. Ulbekova et al. // *Separation and Purification Technology*. – 2024. – Vol. 358. – Article 118756 (in English)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yaskula B. V. *Лутий* // *Yearbook of Minerals of the US Geological Survey*. – 2022. – С. 44.1–44.10 (на английском языке)
2. *Литиевые соляные озера Южной Америки и Центральной Азии* / Н. И. Волкова [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2012. – Т. 20. – С. 21–26 (на русском языке)
3. *Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан*. – Алматы: Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, 2022. – 180 с. (на русском языке)
4. Garrett D. *Справочник по литию и природному хлориду кальция: их месторождения, переработка, использование и свойства*. – Амстердам: Elsevier Academic Press, 2004. – 476 с. (на английском языке)
5. *Методические рекомендации по геохимической оценке и картированию подземных редкометалльных вод* / Л. С. Балашов, М. С. Голицын, Н. В. Ефремочкин [и др.]. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 87 с. (на русском языке)
6. *Перспективы литиеносности приповерхностных вод солончаков Чу-Сарысуиской впадины* / Р. Т. Баратов [и др.] // *Горный журнал Казахстана*. – 2023. – № 11. – С. 5–13 (на русском языке)
7. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Озерные соли*. – М.: Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, 2007 (на русском языке)
8. Ченсизбаев Д. Б. *Литиевый потенциал минерально-сырьевой базы Республики Казахстан* // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2024. – Т. 335. – № 7. – С. 120–133 (на русском языке)
9. *Концентрации лития в соленых рассолах Шу-Сарысуской депрессии* / R. T. Baratov [и др.] // *Applied sciences*. – 2024. – Т. 14 (12). – Ст. 5351 (на английском языке)
10. *Исследование процесса извлечения хлорида лития из рассола соленых озер Аральского моря* / А. А. Анарбаев [и др.] // *ИЖИТЕЭ*. – 2019. – Т. 8 (7). – С. 2235–2238 (на английском языке)
11. *Математическое моделирование сорбционного извлечения хлорида лития из литийсодержащего рассола Аральского моря* / М. М. Ulbekova [и др.] // *Separation and Purification Technology*. – 2024. – Т. 358. – Ст. 118756 (на английском языке)

Авторлар туралы мәліметтер:

Ағалиева Б. Б., Ph.D докторы, ІФҚ, Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), agalieva_00@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5682-8451>

Мусаканова С. А., Жер туралы ғылымдар мектебінің аға оқытушысы, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), saya_22.01@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7386-135X>

Матайбаева И. Е., Ph.D докторы, Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), indi.mataybaeva@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0550-7591>

Калиев Е. А., Жер туралы ғылымдар мектебінің магистранты, Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті (Өскемен қ., Қазақстан), era_grk@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0007-9241-4516>

Information about the authors:

Agalieva B. B., Ph.D, Senior Lecturer, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Musakanova S. A., Senior Lecturer, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Mataibaeva I. E., Ph.D, Professor, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Kaliev E. A., Master's student, School of Earth Sciences, D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Сведения об авторах:

Ағалиева Б. Б., доктор Ph.D, ВНС, ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Мусаканова С. А., ст. преподаватель школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Матайбаева И. Е., доктор Ph.D, профессор школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)

Калиев Е. А., магистрант школы наук о Земле, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан)