

Код МРНТИ 38.49.17

Р.Т. Баратов, В.Н. Келюхов, Д.О. Даутбеков, *М.А. Машрапова
ТОО «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

ПЕРСПЕКТИВЫ ЛИТИЕНОСТИ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СОЛОНЧАКОВ ЧУ-САРЫСУЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Аннотация. В статье представлены результаты исследования литиевой минерализации в солончаках Чу-Сарысуийской депрессии. В статье описана методика проводимых исследований, которая основана на выделении территорий распространения солончаков с помощью визуального дешифрирования материалов ДЗЗ (дистанционное зондирование земли), полевых работах и лабораторно-аналитических исследованиях. Дается информация о результатах аналитических исследований, проведенных с использованием спектроскопии и рентгеновской дифракции проб рапы, отобранных в полевой сезон 2022 года. Полученные результаты показали повышенное содержание лития в пробах, что имеет важное значение для разворота поисково-оценочных работ с целью выявления в стране нового геолого-промышленного типа (ГПТ) литиевого сырья, являющегося на современном этапе очень востребованным в производстве батарей для мобильных устройств и электромобилей. Это исследование является первым шагом в оценке ресурсного потенциала Чу-Сарысуийской депрессии и открывает новые перспективы для дальнейшего изучения этой проблемы в эпиплатформенных областях Казахстана, в частности на территории впадины Чу-Сарысу.

Ключевые слова: литиеность, гидроминеральное сырье, рапа, солончаки, низовья бессточных рек.

Шу-Сарысу ойпаты сорларындағы жер бетіне жақын суларының литийге перспективасы

Аннотация. Мақалада Шу-Сарысу ойпатының тұзды батпақтарындағы литий минералдануын зерттеу нәтижелері келтірілген. Мақалада қашықтықтан зондтау материалдарын визуалды интерпретациялау, далалық жұмыстар мен зертханалық-аналитикалық зерттеулер көмегімен сортаңдардың таралу аймақтарын бөлуге негізделген ағымдағы зерттеулердің әдістемесі сипатталған. 2022 жылғы дала маусымында алынған тұзды ерітінділердің үлгілерінің спектроскопиясы мен рентгендік дифракциясын қолдану арқылы жүргізілген аналитикалық зерттеулердің нәтижелері туралы ақпарат берілген. Алынған нәтижелер сынамалардағы литий мөлшерінің жоғары екен екенін көрсетті, бұл елде қазіргі уақытта литий шикізатының жаңа геологиялық-өнеркәсіптік түрін анықтау мақсатында іздестіру және бағалау жұмыстарын дамыту үшін маңызды болуы мүмкін. Бұл қазіргі кезеңде мобильді құрылғылар мен электромобильдерге арналған аккумуляторлар өндірісінде өте сұранысқа ие. Бұл зерттеу Шу-Сарысу ойпатының ресурстық әлеуетін бағалаудың алғашқы қадамы болып табылады және Қазақстанның эпиплатформалық аймақтарында, атап айтқанда, Шу-Сарысу ойпатының аумағында осы мәселені одан әрі зерттеудің жаңа перспективаларын ашады.

Түйінді сөздер: литий, гидроминеральды шикізат, тұзды ерітінділер, сортаңдар, ағынсыз өзендердің төменгі ағысы.

Perspectives of lithienosity of superficial waters of the saline lakes of the Chu-Sarysu depression

Abstract. The article presents the results of a study on lithium mineralization in the salt marshes of the Chu-Sarysu depression. The article describes the methodology of the conducted research, which is based on the identification of territories of salt marsh distribution using visual interpretation of remote sensing materials, field work, and laboratory-analytical studies. Information is given about the results of analytical studies conducted using spectroscopy and X-ray diffraction of samples taken during the field season of 2022. The obtained results showed an elevated lithium content in the samples, which may have important implications for the development of prospecting and assessment works aimed at identifying a new geological-industrial type (GIT) of lithium raw materials in the country, which is currently in high demand in the production of batteries for mobile devices and electric vehicles. This study is the first step in assessing the resource potential of the Chu-Sarysu depression and opens up new prospects for further studying this issue in the epiplatform areas of Kazakhstan, particularly in the territory of the Chu-Sarysu depression.

Key words: lithium content, hydro-mineral raw materials, rapa, salt flats, floodplains of non-flowing rivers.

Введение

На современном этапе развития энергетики литий (*Li*) является наиболее важным элементом отрасли. Растущий спрос на литий определяется все возрастающей востребованностью литий-ионных аккумуляторов, которые имеют высокую удельную мощность и относительно низкую стоимость, что делает их оптимальными для накопления энергии в портативных электронных устройствах, для электрической энергии энергосистем и для быстро растущих парков гибридных и электрических транспортных средств.

Основными производителями лития на современном этапе являются страны Латинской Америки, в частности Чили, а также Австралия и Китай [1, 2]. Если в Австралии основным источником лития остаются месторождения пегматитового типа, то прорыв стран Латинской Америки и Китая в ведущие производители лития произошел за счет вовлечения в эксплуатацию месторождений гидроминерального сырья (Salar de Atacama, Chile; Salar de Uyuni, Bolivia; Salar del Hombre Muerto, Argentina; серия литий-содержащих солов в Qinghai – Tibet plateau, China) [2-5].

Анализ условий формирования саларов Южной Америки, Тибета и соленых озер Монголии позволяет сделать следующий вывод. Содержание Li_2O в водах конечных водоемов стока, представляющих собой естественные геоморфологические и структурные ловушки, в которых идет аккумуляция легкоподвижных и легкорастворимых компонентов, включая *Li* [2], определяется литиеностью

питающих наземных и подземных вод, степенью минерализации рассолов, тектоно-вулканической активностью районов и климатическим режимом, который мог приводить к неоднократной садке легкорастворимых солей и, соответственно, обогащению литием остаточной рапы.

Приведенная информация явилась идеей о выявлении возможных промышленных месторождениях *Li* из рапы, солончаков низовий бессточных рек. Благоприятной для поисков месторождений лития нового типа для Казахстана, прежде всего, является Прикаспийская впадина, в которой издавна разрабатывались месторождения соли для добычи галита, сильвина, гипса, бора, магнетита. Широко развито подобное гидроминеральное сырье также в районе высыхающего Аральского моря, Чу-Сарысуийских солончаков, и возможно, соленых озер Павлодарского Прииртышья.

Учитывая несомненную актуальность оценки перспектив литиености солончаков Казахстана, авторами была подана заявка на грантовый проект в Комитет науки МОН РК на выполнение темы «Выявление литиености солончаков низовий бессточных рек Чу и Сарысу и оценка их промышленных перспектив», который был одобрен. Целью грантового проекта является выявление литиености минерализованных солончаков низовий бессточных рек Чу и Сарысу и прогнозная оценка их промышленных перспектив. В статье излагаются результаты первого этапа исследований по данному направлению в Казахстане.

Методы исследования

Литий добывают из трех типов месторождений: «твердых» пегматитов, континентальных рассолов в «саларах» и гидротермально измененных глин. Залежи рассола содержат около 75% запасов лития в мире из-за более низких затрат на добычу [1-3]. Рассолы, богатые *Li*, встречаются преимущественно в бассейнах внутреннего дренажа или саларов, которые в основном расположены в Андах в странах Литиевого треугольника. Это бессточные бассейны, а это означает, что единственный выход для втекающей воды – испарение. Это означает, что вода, богатая литием, поступает в салары, а затем испаряется, концентрируя рассолы высокой плотности, содержащими экономически выгодные концентрации лития, которые затем откачиваются. В то время как добыча из горных пород требует гидрометаллургического процесса (дробление и нагрев), добыча из рассолов, т. е. соленых водоносных горизонтов, включает в себя откачку из неглубоких недр и набор солнечных испарительных бассейнов. В этом процессе другие компоненты удаляются либо осаждением, либо химическими реакциями путем введения реагентов. Это необходимо, поскольку литий сосуществует в соляных растворах с другими элементами, такими как магний, которые неэкономичны. Следует отметить, что процесс испарения/осаждения является медленным и занимает от одного до двух лет от перекачки воды до обработки концентрированного рассола на обогатительной фабрике, где используется дальнейшая обработка для получения карбоната лития.

В целом, исполнители проекта при исследовании сорос Чу-Сарысу впадины придерживались классического комплекса региональных поисковых методов, которые обычно делятся на камеральные и полевые периоды. В камеральный в преполевой период авторы дешифровали материалы ДЗЗ (дистанционное зондирование земли) для изучения геоморфологических, гидрогеологических, ландшафтно-геохимических характеристик исследуемого района.

Из сайта были предварительно скачаны доступные космические снимки (мультиспектральные и радиолокационные) со спутников Landsat-8, Maxar, Sentinel и RADARSAT-1. Проведено дешифрирование космических снимков с целью оценки обводненности, солёности, предварительного состава и геоморфологии солончаков низовий бессточных рек Чу и Сарысу, а также крупных солончаков Каракоин и Тамгалы. Дешифрирование показало информативность в плане обводненности солончаков на снимках со спутника Sentinel, а геоморфологические характеристики исследуемого региона хорошо дешифрировались совмещением снимков Landsat+RADARSAT-1 (рис. 1).

Основным методом полевых исследований являлось лито- и гидрохимическое опробование (геохимическая съемка) соляных озер и солончаков. Цель геохимической съемки – выявление наиболее минерализованных на литий соляных озер, солончаков (сорос) и соляных куполов, выходящих на поверхность.

Гидрогеохимическая съемка проводится для анализа состава поверхностных вод с целью обнаружения гидрогеохимических аномалий, фиксирующих концентрацию лития в приповерхностных водах и рассолах.

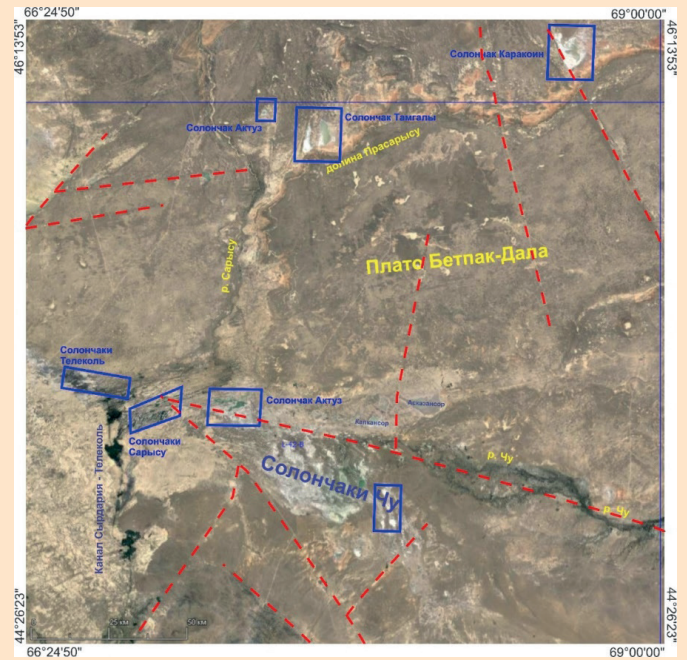


Рис. 1. Космический снимок со схематическим расположением изученных солончаков Чу-Сарысу впадины в полевой сезон 2022 (синие контуры).

Сурет 1. 2022 жылғы егістік маусымындағы Шу-Сарысу ойпатының зерттелген сортандарының ғарыштық суреті мен сұлбасы (көк сызықтар).

Figure 1. Scape image and scheme of the studied salt flats of the Shu-Sarysu depression in the field season 2022 (blue outlines).

Опробованию подлежали соленые озера, обводненные солончаки (соры), самоизливающие скважины. Для отбора проб вскрывался слой галит-новосадка, галит-старосадка, мощность которых не превышала 10-15 см. Далее ручным буром пробуривалась небольшая скважина диаметром 150 мм, глубиной 1 метр до ила. В течение 5 минут рапа в скважине отстаивалась, после чего отбиралась проба рапы и с забоя скважины отбирался ил. В случае отбора пробы с такыров отбиралась глина. Пробы рапы отбирались в ПЭТ (полиэтилентерефталата) бутылки объемом в 0,5 литра, пробы ила и глины массой 200 грамм в пластиковые пакеты (рис. 2).

Литохимическая и гидрохимическая съемка проводятся одновременно с приблизительным шагом 1000 x 1000 м, в зависимости от условий местностей, подлежащих опробованию. Геохимическая съемка проводится в сухой летний период, так как в этот период минерализация поверхностных вод и соляных озер не разубожена сезонными дождями.

Основными задачами камеральных работ являются обработка и анализ результатов, полученных лабораторно-аналитическими исследованиями. Как сказано выше, первый этап исследований включал изучение солончаков и соляных озер Северной и Западной территории междуречья Чу и Сарысу. Полевые работы с отбором проб проведены на солончаках низовий реки Сарысу и Южной части солончаков низовья реки Чу, на крупных соляных озерах Каракоин, Тамгалы и Актуз



Рис. 2. Гидрохимическое опробование.
Сурет 2. Гидрохимиялық сынама алу.
Figure 2. Hydrochemical sampling.

(см. рис. 3) с лито- и гидрогеохимическим опробованием и изучением литологического состава солончаков и их гидрогеологических условий. В результате полевых работ была отработана методика отбора проб рапы с применением ручного бура, описаны геологические условия мест отбора проб и отобрано 160 рядовых проб рапы, 8 контрольных, 47 – из донного ила и 6 проб рапы объемом 1 литр для сокращенного химического анализа. Все отобранные пробы в полевой сезон 2022 года из перечисленных солончаков Чу-Сарысуйской впадины были проанализированы на количественное определение лития в рядовых и контрольных пробах рапы в химической лаборатории «Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина» методом атомной эмиссии (ISP-AES) (табл. 1). Контроль результатов лабораторных исследований (30 проб) рапы был осуществлен методом атомной эмиссии (ISP-AES) в лаборатории химических методов ТОО «Научный аналитический центр». Также были проанализированы на определение *Li* почвенные пробы из тех же сорев.

Для контроля результатов лабораторных исследований 30 проб рапы с изученных солончаков были направлены в Химическую лабораторию Научного аналитического центра г. Алматы. Отмеченные пробы были проанализированы методом ISP-Ms. Содержание лития в пробах из рапы, проанализированные методом ISP-Ms, оказались в 3,5 выше результатов, проанализированных методом «Атомной эмиссии» Института гидрогеологии. Возможно, это связано с чувствительностью методов. Такие же различия при сравнении результатов аналитических исследований были отмечены в предыдущих работах [4]. При анализе большого количества публикаций, в которых дается количественная оценка содержания лития в рапе или же в рассолах солончаков [1-3, 9-11 и др.], выявляется, что ни в одной из них не дается характеристика или наименование метода лабораторно-аналитических исследований.

Авторы попытались также изучить общую минерализацию в отобранных пробах рапы, по данным сокращенного химического анализа в рассолах отмечается в основном натровый тип минерализации, а общая минерализация рассолов варьирует в пределах 300-400 г/л (табл. 3) и в целом совпадает с минерализацией рассолов известных промышленных месторождений в Андах, Тибете, Монголии и других.

Согласно данным полевых наблюдений оказалось, что поверхность соленых озер Каракоин, Тамгалы и Актуз представлена коркой галита мощностью около 1 метра, с межсолоевой рапой, а поверхность группы солончаков низовья Сарысу представлена маломощной коркой галита, сильвинита и затакырными участками. Крупный солончак Ащыколь (рис. 3) низовья ручья Боктыкарын оказался полностью сухим. Во время полевых работ также проводилась заверка дешифрованных признаков солончаков и засолонцованных участков.

Результаты исследования и обсуждение

Исследуемые солончаки приурочены к тектонической Чу-Сарысуйской депрессии типа описанного выше, с бессточными довольно протяженными реками Чу и Сарысу. Под Чу-Сарысуйской депрессией или впадиной некоторыми исследователями понимается регион, ограниченный с востока Чу-Илийскими горами, с Севера плато Бетпак-Дала и с Юго-Запада горами Каратау, в котором расположены исследуемые соры (рис. 3).

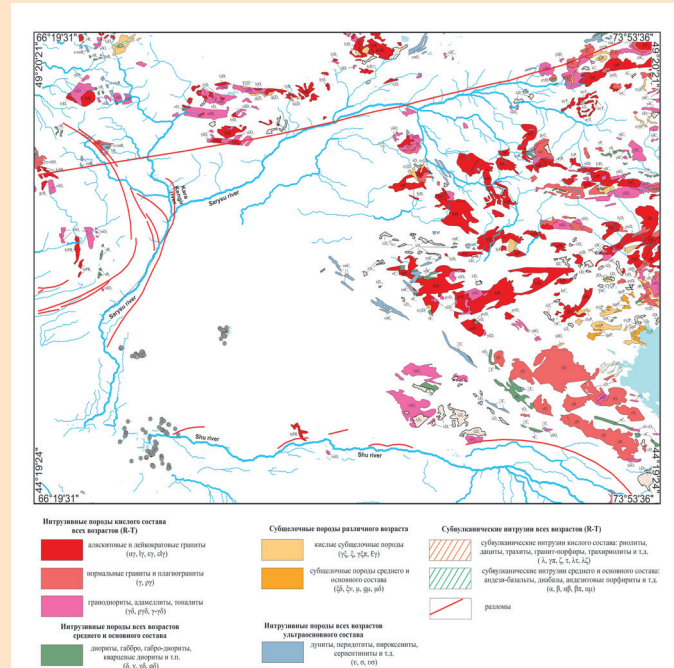


Рис. 3. Гидрографическая сеть бессточных рек Чу и Сарысу.
Сурет 3. Шу және Сарысу тұйық өзендерінің гидрографиялық желісі.
Figure 3. Hydrographic network of the closed rivers Shu and Sarysu.

Регион исследования охватывает более 1500 км² по площади и расположен в Казахстане в пределах административных границ Туркестанской и Кызылординской областей. В геоморфологическом отношении изучаемый район имеет в общем довольно слабо расчлененный рельеф, где невысокие пологие возвышенности чередуются с большими плоскими низинами, занятыми огромными такырами и солончаками, длина которых достигает 30-40 км.

Территория Чу-Сарысу́йской депрессии вследствие малого годового количества осадков и большой сухости климата принадлежит к полупустынным и пустынным районам. Поэтому здесь полностью отсутствует гидрографическая сеть, если не считать реки Чу и Сарысу. Количество солнечных дней в году в изучаемом регионе превышает 3000 часов и количество выпадаемых осадков менее 100 мм в год.

Долина Чу и Сарысу представляет собой слегка волнистую равнину шириной до 40 км. На поверхности ее встречаются отдельные участки эоловых песков, многочисленные солончаки, озера и сухие русла временных водотоков. В половодье вода в реках слабосоленоватая; летом, сохраняясь в плесах, имеет минерализацию более 10 г/л. Аллювиальная равнина сложена разнородными песками с гравием и галькой, супесями, в низовье – суглинками, мелкозернистыми песками, глинами и озерными фациями, зачастую покрытыми корками солей. Мощность отложений изменяется от нескольких до 40 м и более. Обводненная часть составляет 2-15 м. Глубина залегания уровня грунтовых вод колеблется от 1 до 5-9 м; амплитуда – 0,6-1 м. Дебиты водопунктов изменяются от 2 до 86 м³/сутки, иногда достигают 172 м³/сутки (2 л/сек) при понижении уровня воды на 1-3 л. В пойменной части реки воды преимущественно соленые и только на отдельных участках слабосоленоватые. На террасах и в устье минерализация воды достигает 10-50 г/л и более [7].

Наиболее распространенный химический состав грунтовых вод сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный натриевый. Питаются подземные воды за счет фильтрации речных вод Чу и Сарысу и атмосферных осадков. Разгружаются они путем транспирации растительностью и испарения, которое во много раз превосходит годовую сумму осадков.

В современном чехле изучаемой территории выделяются среднечетвертичные, нерасчлененные средне-верхнечетвертичные, верхнечетвертичные-современные и современные аллювиальные и делювиально-пролювиальные отложения. Кроме того, выделяются нерасчлененные среднечетвертичные-современные эоловые образования [8, 9].

Выбор территории Чу-Сарысу́йской депрессии как перспективной на экзогенную литиевую минерализацию прежде всего обусловлен тем, что бессточные реки Чу и Сарысу являются довольно протяженными, которые протекают через крупные пояса вулканоплутонических образований и вымывают из них легко растворимые компоненты типа щелочных металлов (*Li, K, Na, Ca* и др.). Река Сарысу имеет длину около 800 км, образовывается слиянием небольших речек Жаман Сарысу, Жаксы Сарысу, Атасу, Талдисай, Курманака, Талдыманака, Кумдиеспе и Каракенгир. Основное течение ее проходит по вулканоплутоническим формациям средне-кислого состава, иногда с повышенной щелочностью окраинно-континентального Девонского вулканоплутонического пояса (рис. 3). Река Чу берет свое начало в горах Тянь-Шанской горной системы, протекает по западному борту Чу-Илийских гор. Продукты механического разрушения и в

особенности химического выветривания на путях следования рек аккумулируются в Чу-Сарысу́йской впадине в крупных сорах (рис. 3).

Анализы, полученные в химических лабораториях, представлены в таблице 1 (количественные определения *Li* в пробах рапы и таблице 2 – почвенные пробы).

Учитывая, что низовья рек Чу и Сарысу представлены глинисто-песчаными аллювиальными отложениями, которые могут быть перспективными на россыпное золото, почвенные пробы были проанализированы также на золото атомно-абсорбционным методом. Полученные данные требуют контрольных определений.

Анализ аналитических данных таблицы 1 показал крайне неравномерное содержание *Li* в опробованных семи солончаках. В солончаках Тамгалы, Актуз, Телеколь и Ащисор не выявлено ни одной пробы с содержанием *Li* равным или большим количеством относительно минимальных промышленных значений, известных месторождений – 5 мг/л. В то же время в солончаках Караконин, группе соров низовой реки Сарысу и ЮВ части низовья реки Чу количество проб с промышленными содержаниями *Li* составляют 23% – 51,5% – 11,8% соответственно из общего количества проб, отобранных в этих солончаках. Из названных трех солончаков с пробами равными и выше промышленных содержаниями *Li* наиболее интересными представляются солончак Караконин и группа соров низовой реки Сарысу. Среди проб с промышленными содержаниями *Li* в этих солончаках встречаются значения и 10 мг/л, и 20 – 30 – 40 – 50 – 60 до 97,24 мг/л. При отсутствии проб с промышленными содержаниями в первых 4-х сорах обращает на себя внимание отсутствие пустых проб, поэтому среднее содержание *Li* в исследованных сорах составляют: солонец Караконин – 5,24 мг/л, Тамгалы – 1,7 мг/л, Актуз – 0,66 мг/л, Телеколь – 0,91 мг/л, группа солончаков низовой реки Сарысу – 14,1 мг/л, Ащисор – 2,9 мг/л и низовой р. Чу – 2,6 мг/л. Согласно определению *Li* в рапе исследованных солончаков, несомненно, обращают на себя внимание высокие содержания его в пробах соров низовой р. Сарысу. В тоже время определения *Li* в почвенных пробах опробованных солончаков (табл. 2) указывают на большое количество проб с промышленными содержаниями в соре Караконин – 77,7%, Ащисор – 55,5% и только потом в группе соров низовой р. Сарысу – 37,5%. В целом же содержание *Li* в почвенных пробах оказалось более низкими, чем в пробах рапы. Отсутствие корреляции в содержании *Li* в рапе и почвенных пробах требует своего объяснения, что и ставится в качестве одной из задач в полевой сезон 2023 года.

Корреляции элементов между собой в минерализованных водах солончаков наблюдается на диаграмме (рис. 4). По данным обработки результатов аналитических исследований получается, что прямой корреляции содержаний лития от содержания других элементов не устанавливается. При внимательном анализе данных таблицы 3 более четко просматривается корреляция между содержанием *Li* со значениями общей минерализации рассола, что можно использовать в качестве относительного поискового критерия [12].

Таблица 1
Результаты количественного определения лития в пробах рапы исследованных солончаков в полевой сезон 2022 года
Кесте 1

2022 жылғы егістік маусымында зерттелетін сортаңдардың тұзды ерітінділеріндегі литийді сандық анықтау нәтижелері

Table 1

Results of quantitative determination of lithium in brine samples of the studied salt marshes in the field season of 2022

Название лаб.	Институт гидрогеологии				Научный аналитический Центр			
	Название солончака	Кол-во проб	Содерж. Li_{min} , $г/м$	Содерж. Li_{max} , $г/м$; Li , $г/м$	Содерж. $Li_{сред}$, $г/м$; Li , $г/м$	Кол-во проб	Содерж. Li_{min} , $г/м$	Содерж. Li_{max} , $г/м$; Li , $г/м$
Каракоин	19	1,05	14,48	5,24	3	38	53	45
Тамгалы	26	0,73	4,5	1,7				
Актуз	5	0,28	0,96	0,66				
Телеколь	3	0,06	3,39	1,18				
Группа солончаков низовья р. Сарысу	67	0,1	97,24	13,9	28	25	286	82
Ащысор	18	0,91	4,76	2,9				
Солончаки ЮВ Чу	17	0,12	5,52	2,6				

Таблица 2

Результаты количественного определения лития в почвенных пробах полевого сезона 2022 года
(Научный аналитический центр)

Кесте 2

2022 жылғы егістік маусымындағы топырақ үлгілеріндегі литийдің сандық анықтау нәтижелері
(Ғылыми талдау орталығы)

Table 2

The results of the quantitative determination of lithium in soil samples of the 2022 field season
(Scientific Analytical Center)

Пп № проб	Назв. солончака	Li, мг/кг	Пром. содер. Li, %	Пп № проб	Назв. солончака	Li, мг/кг	Пром. содер. Li, %	Пп № проб	Назв. солончака	Li, мг/кг	Пром. содер. Li, %
2	1	3	4	6	5	7	8	10	9	11	12
1	Каракоин	6,6	77,7 %	8	Тамгалы	5,2	0%	12	Сарысу	6,38	45,5%
2		7,4		9		8,51		13		7,56	
3		5,72		10		5,84		14		7,88	
4		3,14		1	0,85	15		4,61			
5		9,76		2	1,1	16		3,76			
6		3,22		1	1,95	1		4,51			
7		9,46		2	2,16	2		4,05			
8		8,56		3	0,66	3					
9		11,02		4	1,94	4		4,49			
1	Тамгалы	1,49	30%	5	Сарысу	3,1	37,5%	5	Ащысор	6,11	45,5%
2		3,16		6		0,28		6		6,25	
3		0,93		7		0,6		7		3,77	
4		1,47		8		15,47		8		5,37	
5		1,42		9		4,32		9		1,97	
6		2,17		10		5,72		10		8,1	
7		1,02		11		10,18		11		8,22	
								1	Шу – 164	1,59	0%

Таблица 3

Таблица химического состава рассолов Северной и Западной частей Чу-Сарысу́йской впадины

Кесте 3

Шу-Сарысу ойпатының солтүстік және батыс бөліктеріндегі тұзды ерітінділердің химиялық құрамының кестесі

Table 3

Table of the chemical composition of brines in the northern and western parts of the Shu-Sarysu depression

Участок	Минер. г/л	Na, г/л	K, г/л	Ca, г/л	Mg, г/л	Хлориды, г/л	Сульфаты, г/л	Бромиды, мг/л	Ср. содерж. Li, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Каракоин	372	108,4	22,5	0,8016	16,5	145,373	115,998		5,13
Тамгалы	322	118,4	0,64	0,2004	14,2	166,648	50,215		1,7
Телеколь	356	111,1	1,8	0,802	21,4	148,919	105,205		3,39
Сарысу	360	98,5	6,5	1,002	28,5	163,202	98,043	256	15
Ащысор	362	119,7	1,3	0,2004	14,47	184,376	76,146		2,75
Чу юг	306	104,1	1,96	0,6012	17,2	170,193	43,629		2,57

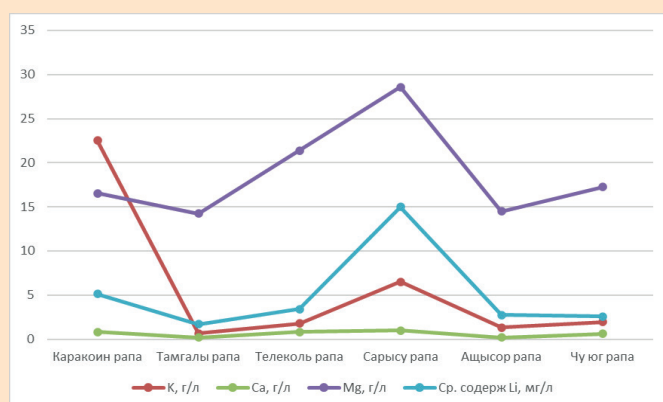


Рис. 4. Вариационные кривые содержания калия, кальция, магния и лития и средних значений минерализации рассолов в сорах исследуемой территории.

Сурет 4. Зерттелетін аймақтың сорларындағы калий, кальций, магний және литий мөлшері мен тұзды минералданудың орташа мөндерінің вариациялық қисықтары.

Figure 4. Variation curves for the contents of potassium, calcium, magnesium and lithium and the average values of brine mineralization in the sors of the study area.

Выводы

Приведенные результаты первого этапа исследований солончаков низовий бессточных рек Чу и Сарысу по данным лабораторно-аналитических исследований однозначно показывают, что наиболее перспективной для локализации литиевой минерализации в близповерхностной рапе (рассолах) является группа солончаков низовья реки Сарысу. Данный факт подтверждает идею миграции растворенных щелочных металлов по реке Сарысу и осаждение их в его низовьях, где образованы обширные по площади и многочисленные солончаки. Также на этой территории идет дополнительная подпитка близповерхностных вод пластовыми подземными водами по разломам, которая еще более увеличивает минерализацию. Возможными горизонтами распространения литиевых рассолов являются неоген-четвертичные отложения, мощность которых варьи-

рует в пределах 15-30 метров. О несомненной перспективности соров низовья р. Сарысу наглядно можно судить по схеме геохимических ореолов лития солончаков низовья р. Сарысу (рис. 5). На схеме четко видно, что в соответствии с изученностью в настоящее время наиболее перспективными являются сора западной и южной частей исследуемой территории. На аномальных участках требуется дополнительное опробование для заверки высоких содержаний *Li* на них. Участки с низкими содержаниями *Li* требуют дополнительного опробования по более плотной сети.

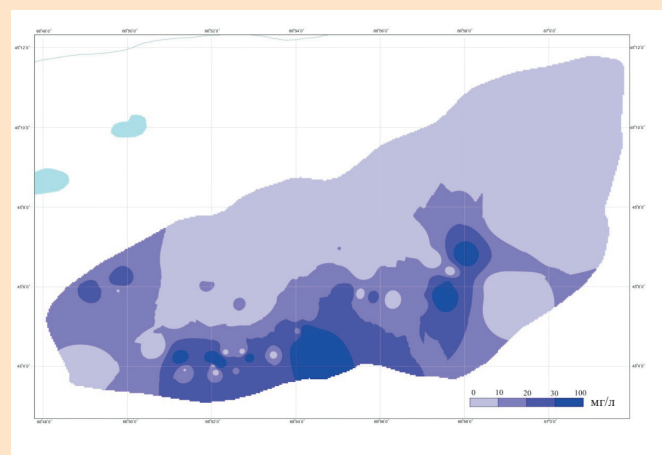


Рис. 5. Схема геохимических ореолов лития солончаков Сарысу по данным анализов проб полевого сезона 2022 года.

Сурет 5. Сарысу сортандарындағы литийдің геохимиялық ореолдарының сызбасы 2022 жылғы егістік маусымының үлгілерін талдау.

Figure 5. Scheme of geochemical halos of lithium in the Sarysu salt flats according to the analysis of samples from the field season of 2022.

Работы первого этапа исследования в целом показывают перспективность Чу-Сарысу́йской депрессии на возможность обнаружения литиевых месторождений экзогенного типа. Авторы продолжают исследования Восточной части

впадины, включающей солончаки низовья реки Чу и группу солончаков Чу, Капкансор и Асказансор. Если содержания лития в близповерхностных рассолах солончаков Чу также будет в пределах промышленных (>10 мг/л), то площадь продуктивная на литиевые рассолы будет охватывать ~ 1800 км².

Приведенные данные позволяют авторам считать Чу-Сарысуйскую провинцию в целом перспективной для выявления литиеносных солончаков, а высокие и ровные содержания **Li** в пробах солонцов низовья р. Сарысу рекомендовать для постановки поисковых работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каренов Р.С. Проблемы формирования рынка редких и редкоземельных металлов в Казахстане. // Ж. Вестник КарГУ. – 2007. – №3. – С. 37-42 (на русском языке)
2. Cristian Rossi, Luke Bateson, Maral Bayaraa, Andrew Butcher, Jonathan Ford, Andrew Hughes. Основы дистанционного зондирования и моделирования формирования литиево-рассольных месторождений. // Дистанционное зондирование. – 2022. – Вып. 14. – №1383 (на английском языке)
3. Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Курмангалиева Ш.Г., Вялов В.Д., Калугин О.А. Отчет по теме: «Оценка перспектив освоения попутных пластовых рассолов месторождений нефти и газа Казахстана в качестве гидроминерального сырья» (2015-2017 гг.). НЦ НТИ РК. – Алматы, 2015. – С. 48 (на русском языке)
4. Зейлик Б.С., Сейтмуратова Э.Ю., Баратов Р.Т., Даутбеков Д.О., Сейтжанов Ш.А. Отчет по проекту: «Выявление литиеносности солонцов и соев низовий рек Талас и Чу и золото-платиноносности соляных куполов Шалкар и Индер». ТОО «Казфосфат». – Алматы, 2016. – С. 27 (на русском языке)
5. Сейтмуратова Э.Ю., Баратов Р.Т., Аршамов Я.К., Даутбеков Д.О., Сейтжанов Ш.А. Содержание лития и золота в соляных куполах и солончаках западного и южного Казахстана. // Научный вестник Национального городского университета – 2023. – С. 10-19 (на английском языке)
6. Абсаматов М.К., Касымбеков Д.А., Муртазин Е.Ж. Перспективы освоения гидрогеотермальных и гидрогеоминеральных ресурсов Казахстана. // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2014. – Т. 325. – №1. – С. 110-116 (на русском языке)
7. Джакелов А.К. Формирование подземных вод Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, их ресурсы перспективы использования. // Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. – Алма-Ата, 1982. – С. 386 (на русском языке)
8. Venson Thomas R., Matthew A. Coble, James J. Rytuba, Gail A. Mahood. Обогащение литием внутриконтинентальных риолитовых магм приводит к образованию месторождений лития в кальдерных бассейнах. // Nature Communications. – 2017. – №8. – С. 270 (на английском языке)
9. Ellis B.S., Szymanowski D., Harris C., Tollan P.M.E., Neukampf J., Guillong M., Cortes-Calderon E.A., Vachmann O. Оценка потенциала риолитового стекла как источника лития для соляных месторождений. // Общество экономических геологов, Экономическая геология. – 2022. – Вып. 117. – №1. – С. 91-105 (на английском языке)
10. Коцупало Н.П. Перспективы получения соединений лития из природных хлоридных рассолов. // Химия в интересах устойчивого развития. – Новосибирск, 2001. – №9. – С. 243-253 (на русском языке)
11. Садуакасова А.Т., Самойлов В.И. Гидротермальное литийсодержащее сырье. // Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикпаева. – Усть-Каменогорск, 2015. – С. 21-31 (на русском языке)
12. Торикова М.В., Михеева Е.Д. Прогнозно-поисковые критерии литиеносных рассолов. // Московское отделение ИМГРЭ. – 2007. – С. 151-154 (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Каренов Р.С. Қазақстанда сирек және сирек жер металдар нарығының қалыптасу мәселелері. // Ж. ҚарМУ хабаршысы. – 2007. – №3. – Б.37-42 (орыс тілінде)
2. Кристиан Росси, Люк Бейтсон, Марал Баяраа, Эндрю Батчер, Джонатан Форд, Эндрю Хьюз. Литий-тұзды шөгінділердің түзілуін қашықтан зондау және модельдеу шеңбері. // Қашықтан зондылау. – 2022. – Шығ.14(6). – №1383 (ағылшын тілінде)
3. Муртазин Е.Ж., Кан С.М., Құрмангалиева Ш.Г., Вялов В.Д., Калугин О.А. Тақырып бойынша баяндама: «Гидроминералды шикізат ретінде Қазақстандағы мұнай және газ кен орындарының ілесіне қабат тұзды суларын игеру перспективаларын бағалау» (2015-2017 ж.). ҚР ҰТИ НТ. – Алматы, 2015. – Б. 48 (орыс тілінде)
4. Зейлік Б.С., Сейтмуратова Э.Ю., Баратов Р.Т., Дауытбеков Д.О., Сейтжанов Ш.А. Жоба бойынша баяндама: «Талас және Шу өзендерінің төменгі ағысы сортаңдары мен сорларының

литий құрамын және Шалқар мен Индер тұзды күмбездерінің алтын-платина құрамын анықтау». «Казфосфат» ЖШС. – Алматы, 2016. – Б. 27 (орыс тілінде)

5. Сейтмұратова Э.Ю., Баратов Р.Т., Аршамов Я.Қ., Дауытбеков Д.О., Сейтжанов Ш.А. Батыс және оңтүстік Қазақстан тұзды күмбездері мен сортаң жерлеріндегі литий мен алтынның мөлшері. // Ұлттық қалалық университетінің ғылыми хабаршысы. – 2023. – Б. 10-19 (ағылшын тілінде)
6. Әбсаметов М.Қ., Қасымбеков Д.А., Мұртазин Е.Ж. Қазақстанның гидрогеотермальды және гидрогеоминералды ресурстарын дамыту перспективалары. // Томск политехникалық университетінің еңбектері. – Томск, 2014. – Т. 325. – №1. – Б. 110-116 (орыс тілінде)
7. Жәкелов Ә.Қ. Шу-Сарысу артезиан алабының жер асты суларының қалыптасуы, олардың ресурстары, пайдалану перспективалары. // Геология-минералогия ғылымдарының докторы ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация. – Алма-Ата. – 1982. – Б. 386 (орыс тілінде)
8. Бенсон Томас Р., Мэттью А. Кобл, Джеймс Дж. Рутуба, Гейл А. Махуд. Құрлықішілік риолит магмаларында литийді байыту кальдера бассейндеріндегі Li шөгінділеріне әкеледі. // Табиғат коммуникациялары. – 2017. – №8. – Б. 270 (ағылшын тілінде)
9. Эллис Б.С., Шимановски Д., Харрис С., Толлан П.М.Е., Нойкамф Дж., Гийонг М., Кортес-Кальдерон Э.А., Бахманн О. Риолиттік шыны әлеуетін тұзды ерітінділер үшін литий көзі ретінде бағалау. // Экономикалық геологтар қоғамы, Экономикалық геология. – 2022. – Бөл. 117. – №1. – Б. 91-105 (ағылшын тілінде)
10. Коцупало Н.П. Табиғи хлоридті тұзды ерітінділерден литий қосылыстарын алу перспективалары. // Тұрақты даму үшін химия. – Новосибирск, 2001. – №9. – Б. 243-253 (орыс тілінде)
11. Сәдуақасова А.Т., Самойлов В.И. Құрамында литий бар гидротермиялық шикізат. // Шығыс Қазақстан мемлекеттік техникалық университеті. Д.Серікпаева. – Өскемен, 2015. – Б. 21-3 (орыс тілінде)
12. Торикова М.В., Михеева Е.Д. Құрамында литий бар тұзды ерітінділерді болжау-іздеу критерийлері. // IMGRE Мәскеу филиалы. – 2007. – Б. 151-154 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Karenov R.S. Problemy formirovaniya rynka redkih i redkozemel'nyh metallov v Kazahstane [Problems of formation of the market of rare and rare earth metals in Kazakhstan]. // Zh. Vestnik KarGU = J. Bulletin of KarSU. – 2007. – №3. – P. 37-42 (in Russian)
2. Cristian Rossi, Luke Bateson, Maral Bayaraa, Andrew Butcher, Jonathan Ford, Andrew Hughes. Framework for Remote Sensing and Modelling of Lithium-Brine Deposit Formation. // Remote Sens. – 2022. – Vol. 14(6). – №1383 (in English)
3. Murtazin E.Zh., Kan SM., Kurmangaliyev Sh.G., Vyalov V.D., Kalugin O.A. «Ocenka perspektiv osvoeniya poputnyh plastovyh rassolov mestorozhdenij nefti i gaza Kazahstana v kachestve gidromineral'nogo syr'ya» (2015-2017 gg.) [Report on the topic: «Assessment of the prospects for the development of associated reservoir brines of oil and gas fields in Kazakhstan as hydromineral raw materials» (2015-2017)]. NT NTI RK. = Scientific and technical information of the Republic of Kazakhstan. – Almaty, 2015. – P. 48 (in Russian)
4. Zeylik B.S., Seitmuratova E.Yu., Baratov R.T., Dautbekov D.O. Seitghanov Sh.A. Otchet po proektu: «Vyavlenie litienosnosti soloncov i sorov nizovij rek Talas i CHu i zoloto-platinonosnosti solyanyh kupolov SHalkar i Inder» [Report on the project: «Identification of the lithium content of solonchets and sors of the lower reaches of the Talas and Chu rivers and the gold-platinum content of the salt domes of Shalkar and Inder»]. Kazfosfat. = Kazphosphate LLP. – Almaty, 2016. – P. 27 (in Russian)
5. Seitmuratova E., Baratov R.T., Arshamov Ya.K., Dautbekov D.O., Seytghanov Sh.A. Lithium and gold content in salt domes and saline lands of western and southern Kazakhstan. // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2023. – P. 10-19 (in English)
6. Absametov M.K., Kasymbekov D.A., Murtazin E.Zh. Perspektivy osvoeniya gidrogeotermal'nyh i gidrogeomineral'nyh resursov Kazahstana [Prospects for the development of hydrogeothermal and hydrogeomineral resources of Kazakhstan]. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. – Tomsk, 2014. – Т. 325. – №1. – P. 110-116 (in Russian)
7. Dzhakelov A.K. Formirovanie podzemnyh vod Chu-Sarysujskogo artezianskogo bassejna, ih resursy perspektivy ispol'zovaniya [Formation of underground waters of the Chu-Sarysu artesian basin, their resources, prospects for use]. // Dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk = Dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. – Alma-Ata. – 1982. – P. 386 (in Russian)

8. Benson Thomas R., Matthew A. Coble, James J. Rytuba, Gail A. Mahood. Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins. // *Nature Communications*. – 2017. – №8. – P. 270 (in English)
9. Ellis B. S., Szymanowski D., Harris C., Tollan P.M.E., Neukampf J., Guillong M., Cortes-Calderon E. A., Bachmann O. Evaluating the Potential of Rhyolitic Glass as a Lithium Source for Brine Deposits. // *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*. – 2022. – Vol. 117. – №1. – P. 91-105 (in English)
10. Kotsupalo N.P. Perspektivy polucheniya soedinenij litiya iz prirodnyh hlорidnyh rassolov [Prospects for obtaining lithium compounds from natural chloride brines]. // *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya = Chemistry for sustainable development*. – Novosibirsk, 2001. – №9. – P. 243-253 (in Russian)
11. Saduakasova A.T., Samoilov V.I. Gidrotermal'noe litijsoderzhashchee syr'yo [Hydrothermal lithium-containing raw materials]. // *Vostochno-Kazakhstanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. D. Serikpaeva = East-Kazakhstan State Technical University. D. Serikpaeva*. – Ust-Kamenogorsk, 2015. – P. 21-31 (in Russian)
12. Torikova M.V., Mikheeva E.D. Prognozno-poiskovye kriterii litienosnyh rassolov [Predictive-search criteria for lithium-bearing brines]. // *Moskovskoe otdelenie IMGRE = Moscow branch Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements*. – 2007. – P. 151-154 (in Russian)

Сведения об авторах:

Баратов Р.Т., доктор PhD, старший научный сотрудник, «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), refa_88@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0627-1536>

Келюхов В.Н., инженер-геолог, младший научный сотрудник, «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), slava_1989@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9651-4396>

Даутбеков Д.О., доктор PhD, старший научный сотрудник, «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), dautbekov_diyas@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8220-5450>

Маурапова М.А., доктор PhD, младший научный сотрудник, «Институт геологических наук имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), moldir_m_m@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6009-9730>

Авторлар туралы мәліметтер:

Баратов Р.Т., PhD докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институтының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Келюхов В.Н., инженер-геолог, Қ.И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институтының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Даутбеков Д.О., PhD докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институтының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Маурапова М.А., PhD докторы, Қ.И. Сәтбаев атындағы геологиялық ғылымдар институтының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Baratov R. T., Doctor PhD, Senior Researcher, Institute of Geological Sciences named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Kelyukhov V.N., engineer geologist, junior researcher, Institute of Geological Sciences named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Dautbekov D.O., Doctor PhD, Senior Researcher, Institute of Geological Sciences named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)

Mashrapova M.A., Doctor PhD, junior researcher, Institute of Geological Sciences named after K.I. Satbayev (Almaty, Kazakhstan)