Код МРНТИ 38.33.15

Л. Д. Исаева[1], Б. Б. Амралинова[1], К. С. Тогизов[1], *Ж. Б. Досымбекова[1, 2]

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),

[2]ТОО «Национальный научный центр сейсмологического наблюдения и исследования» (г. Алматы, Казахстан)

ПЕТРОПЛОТНОСТНАЯ АНОМАЛИЯ В СРЕДЕ ОТЛОЖЕНИЯ ШЕЕЛИТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ БАЯН

Аннотация. Ранее нами исследованы геологические факторы включения редкоземельных элементов (РЗЭ) в состав шеелита на редкометалльных месторождениях Казахстана и выделены геохимические и термодинамические факторы, влияющие на кристаллизацию шеелита с примесями РЗЭ. В данной статье рассматривается среда отложения шеелита с плотностными характеристиками, где оценивались петроплотностные аномалии в пределах месторождения Баян при отложении шеелита в скарновых и полевошпатовых рудах. Рассматривалась природа формирования петроплотностной аномалии за счет сравнения плотности метаморфических и гранитоидных пород с рудолокализующими породами (апоскарноидами). В результате установлено, что петроплотностная дифференциация рудовмещающих и рудолокализующих пород может рассматриваться как петрофизический признак среды локализации шеелитового оруденения и должна интерпретироваться в комплексе с геологическими, минералогическими и геохимическими данными.

Ключевые слова: *редкоземельные элементы, шеелит, геохимическая типизация, вольфрамовое оруденение, метасоматиты, гидротермальное минералообразование.*

Баян кен орнында шеелиттің жиналу ортасындағы петротығыздық аномалиясы

Аңдатпа. Бұған дейін біз Қазақстанның сирек металды кен орындарындағы шеелит құрамына сирекжер элементтерінің (СЖЭ) қосылуына әсер ететін геологиялық факторларды зерттеп, СЖЭ-лі шеелиттің кристалдануына ықпал ететін геохимиялық және термодинамикалық факторларды айқындадық. Мақалада шеелиттің шөгінді жиналу ортасы тығыздық сипаттамалары тұрғысынан қарастырылады. Баян кен орнында скарнды және далашпатты кендердегі шеелиттің қалыптасуымен байланысты петрофизикалық-тығыздық аномалиялары бағаланды. Петрофизикалық-тығыздық аномалиясының табиғаты метаморфтық және гранитоидты жыныстардың тығыздығын кенді локализациялайтын жыныстармен (апоскарноидтармен) салыстыру арқылы анықталды. Кенсыйыстырушы және кенді локализациялаушы жыныстардың петротығыздық дифференциациясы шеелитті минералдану локализациясының қосымша петрофизикалық белгісі ретінде анықталды және оны геологиялық, минералогиялық және геохимиялық деректермен интерпретациялау қажет.

Түйінді сөздер: *сирекжер элементтері, шеелит, геохимиялық типтеу, вольфрам кенденуі, метасоматиттер, гидротермалық минералтүзілу.*

Petrophysical density anomaly in the scheelite depositional environment of the Bayan deposit

Abstract. We previously investigated geological controls on Rare-earth elements (REE) incorporation into scheelite at rare-metal deposits in Kazakhstan and identified geochemical and thermodynamic factors governing crystallization of REE-bearing scheelite. This study evaluates the scheelite depositional environment using density characteristics, focusing on petrophysical density anomalies associated with scheelite in skarn and feldspar-rich ores of the Bayan deposit. The origin of these anomalies was assessed by comparing densities of metamorphic and granitoid rocks with those of ore-localizing rocks (aposkarnoids). The results show that petrodensity differentiation between ore-hosting and ore-localizing rocks may serve as a petrophysical indicator of scheelite mineralization and should be interpreted together with geological, mineralogical, and geochemical data.

Keywords: *rare earth elements, scheelite, geochemical classification, tungsten mineralization, metasomatites, hydrothermal mineral formation.*

Введение

Исследования по выявлению петрофизических аномалий для прогноза оруденений на месторождениях разной рудной формаций были проведены многими исследователями. Эти исследования показали, что изменения изученных петрофизических свойств вмещающих пород закономерно связаны с распространением и интенсивностью развития околорудных изменений пород и масштабами рудообразующего процесса [1, 2].

В этой связи актуальной задачей являются петрофизические особенности среды отложения шеелита с содержанием редких земель на месторождении Баян.

Комплексное изучение геологических факторов рудолокализации и физических свойств пород является одним из направлений развития методологии поисков и прогноза месторождений полезных ископаемых. Для казахстанской геологической научной школы традиционным является рассмотрение оруденения во взаимосвязи с геологическим строением, структурно-тектоническими условиями, вещественным составом и физическими свойствами геологической среды. Развитие такого подхода позволяет рассматривать петрофизические характеристики не изолированно, а как часть системы взаимосвязанных признаков формирования и локализации оруденения. В настоящей работе данный подход применен при оценке петроплотностных особенностей среды локализации шеелитового оруденения Баянского месторождения.

Руды Баянского месторождения систематически не изучались на редкие и рассеянные элементы-примеси. Это было оправдано тем, что при изучении вещественного состава различных типов руд месторождения Баян, не было обнаружено собственных минеральных форм РЗЭ. Тем не менее, в практическом плане большой интерес представляло выяснение уровней накопления РЗЭ в продуктах обогащения руд, прежде всего, в шеелитовом концентрате. Полученные результаты исследователями (ВИМС) показали, что содержание РЗЭ в шеелитовом концентрате почти в 2 раза больше, чем в чистом шеелите. Такое «обогащение» шеелитового концентрата объясняется присутствием минералов, близких к шеелиту по флотационным свойствам, которые также могут выступать концентраторами РЗЭ.

Цель исследования — установить особенности петроплотностной дифференциации рудовмещающих и рудолокализующих пород Баянского месторождения и оценить ее значение как одного из петрофизических признаков среды локализации шеелитового оруденения на основе комплексного анализа геологических, минералогических и петрофизических данных.

Фактические материалы

Баянское месторождение редких металлов (вольфрамовое) расположено между двумя гранитогнейсовыми куполами: Баянским и Зерендинским, ближе к ядерной части первого, среди метамофических пород. Оно приурочено

к северо-восточному крылу антиклинальной складки, осложненной в осевой части тектоническими нарушениями.

Месторождение классифицируется как ***стратиформное,*** принадлежащее к формации ***шеелит-сульфидно-скарноидного*** типа и сосредоточено в разрезе метаморфической толщи. Из осадочных образований на площади месторождения установлены только глины и суглинки. В пределах исследуемого участка выделяется зона выветрелых пород небольшой мощности, представленная на рис. 1.

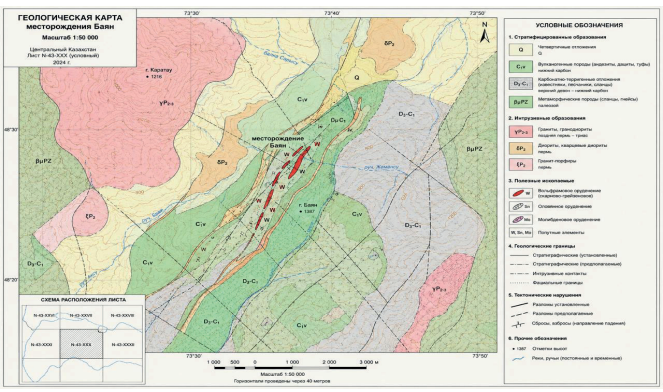


Рис. 1. Геологическая карта месторождения Баян, М:1: 50 000.
Сурет 1. Баян кен орнының геологиялық картасы, масштабы 1:50 000.
Figure 1. Geological map of the Bayan deposit, scale 1:50 000.

Рудное поле месторождения Баян подразделяется на несколько перспективных зон, в пределах которых развиты рудные тела (рис. 2).

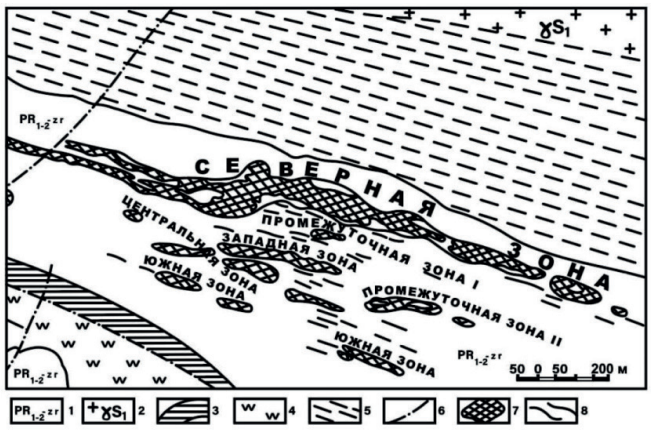
Основная стадия рудоотложения связывается с метасоматическим изменением скарноидов, проявившимся главным образом, в развитии в них парагенезисов кварц-эпидот-актинолитовой и кварц-эпидот-флогопитовой стадий, как результат действия на вмещающие породы флюидов, приведшего к образованию сложного комплекса.

На месторождении скарноиды группируются в 13 зон и являются основной ***рудоконтролирующей структурой***.

Помимо скарновых зон, на месторождении Баян развиты многочисленные штокверковые зоны кварца, сульфидов и шеелита. Эти зоны представляют собой сеть мелких трещин и разломов, заполненных указанными минералами. Штокверковые зоны часто сопровождают скарновые образования, формируя комплексные рудные тела.

На месторождении выделяются два естественных типа руд в зависимости от петрографического состава исходных пород: скарноидный и кварцполевошпатовый. Первый тип включает руды, обнаруженные в скарноидах, амфиболитах, амфиболевых сланцах и гнейсах, в то время как второй тип связан с рудами, найденными в гранодиоритах-гнейсах, гранито-гнейсах, гранитах и других кварц-полевошпатовых породах гнейсово-сланцевого комплекса.

По структурным и текстурным особенностям выделяются два типа руд: вкрапленные и прожилково-вкрапленные. Рудная вкрапленность обусловлена наличием зерен молибдошеелита и шеелита размером от долей миллиметра до нескольких миллиметров, редко достигающих 1 сантиметра.



1 – Зерендинская серия: гнейсы, гранито-гнейсы, амфиболиты; 2 – граниты зерендинского комплекса; 3 – гранатовые и пироксеновые скарны; 4 – кварциты; 5 – зоны интенсивной трещиноватости, брекчирования и милонитизации пород; 6 – тектонические нарушения; 7 – рудоносные зоны; 8 – рудные тела.

Рис. 2. Месторождение Баян по Х. Адамьяну.
Сурет 2. Х. Адамьян бойынша Баян кен орны.
Figure 2. Bayan deposit according to H. Adamyan.

Прожилковые и вкрапленно-прожилковые руды характерны для кварц-полевошпатового типа руд. В прожилках и гнездовидных скоплениях размеры выделений шеелита могут достигать 2–3 сантиметра.

Таким образом, основным рудным минералом является шеелит, представленный четырьмя генерациями, среди которых наибольшее значение имеют I и II генерации, первый распространен актинолит-эпидотовых рудах, содержит до 23 г/т редкие земли (цериевая подгруппа), второй отмечен в рудных прожилках и кварц-эпидот-флогопитовых метасоматитах, где содержание редких земель достигает до 600 г/т (преимущественно иттриевая подгруппа) [3].

Методы исследованиия

Основным научным методом исследования является анализ и синтез материалов по геологии, минералогии и петрофизике на теоретическом уровне; использование ИИ для построения схематических картографических материалов. В рамках исследования проведено сопоставление геологического положения основных типов руд, минералогических особенностей рудовмещающих и рудолокализующих образований и их плотностных характеристик. Петроплотностная дифференциация оценивалась путем сопоставления значений плотности рудовмещающих пород и связанных с ними рудолокализующих метасоматических образований. Комплексное рассмотрение геологических, минералогических и петрофизических данных позволило оценить плотностные различия в различных средах локализации шеелитового оруденения. Такой подход позволяет рассматривать петрофизические характеристики в системе взаимосвязанных геологических признаков рудолокализации и соответствует традициям комплексного изучения месторождений, развиваемым казахстанской геологической научной школой.

Результаты и обсуждение

По геологическим данным отмечено, что около 52% объема рудной массы на месторождении Баян относятся к скарноидным типам, в то время как кварц-полевошпатовые типы руд составляют около 48%. Обычно вкрапленные и прожилково-вкрапленные разновидности руд, занимающие примерно одинаковые объемы в рудных телах, соседствуют пространственно, и руды в общем, имеют прожилково-вкрапленную структуру [4, 5, 6].

В этой связи нас интересует **среда** *отложения шеелита и петроплотностная аномалия* на данном месторождении. Для решения поставленного вопроса была построена с помощью ИИ схематическая геологическая карта месторождения Баян с отражением зон промышленных руд в скарноидах.

По геологическим данным скарноиды имеют зональное строение и являются основным рудоконтролирующим фактором на данном месторождении. Зональность от периферий к центру по преобладанию тех или иных минералов имеет следующий вид: амфиболосодержащие породы (сланец, гнейс, амфиболит), эпидот-карбонаты, пироксен-эпидот-кальцит, гранат-пироксен-кальцит [7].

Поздние гидротермальные изменения на месторождении Баян наложены на эти скарноиды с образованием в них выше отмеченных апоскарноидных метасоматитов (эпидот-актинолит-кварцевые и эпидот-флогопит-кварцевые). Именно здесь наблюдаются кристаллизация вкрапленного шеелита (скарноидные руды) и образования кварц-пирит-шеелитовых прожилков (полевошпатовые руды) с редкоземельными элементами. Рудные залежи, имеющие промышленное значение, в виде пластов и линз локализованы внутри этих скарноидов.

Следовательно, на данном месторождении апоскарноидные метасоматиты являются благоприятной средой для локализации шеелита с примесями редкоземельных элементов.

Далее на картографический материал были добавлены петроплотностные характеристики пород, развитых в районе месторождения. В результате картогафический материал позволил сделать некоторые выводы по оценке петрофизической аномалии в среде отложения шеелита, как концентратора РЗЭ (рис. 3).

1) В ***скарноидах*** *развита рудная вкрапленность, формирующая скарновые руды. Размеры зерен шеелита I и II генераций варьируют от нескольких миллиметров до 1 см, реже достигая этой величины. Размерность зерен связана с термодинамическими условиями кристаллизации шеелита [8].*

Поэтому рассматриваем петрофизические особенности среды отложения шеелита этих двух генераций, где рудовмещающей породой являются скарноиды с плотностью 2,96 г/см³, а гидротермально измененные породы, апоскарноидные метасоматиты, являются рудолокализующими телами (развитыми среди скарноидов) с плотностью 3,01 г/см³ [9].

В таком случае между ними появляется относительно незначительная дифференциация по петроплотностной их характеристике в пределах 0.05 г/см³, а причиной является близкий их минералогический состав. Например, кварц-

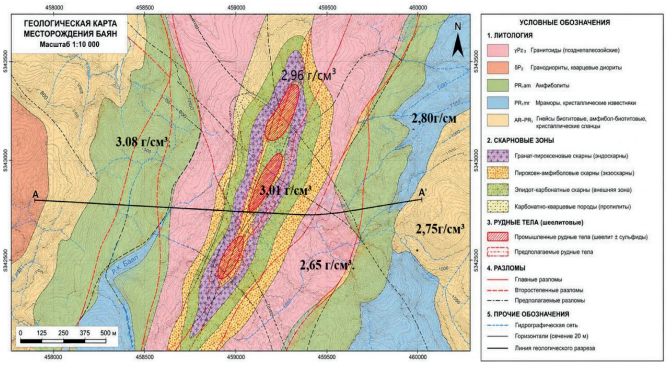


Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Баян с рудными телами и скарновыми зонами, М: 1: 10000.
Сурет 3. Баян кен орнының кен денелері мен скарнды аймақтары көрсетілген сызбалық геологиялық картасы, М: 1: 10000.
Figure 3. Schematic geological map of the Bayan deposit showing ore bodies and skarn zones, scale 1:10000.

эпидот-флогопитовые метасоматиты с шеелитом содержат все минералы, встречающиеся в скарноидах, а также кварц-эпидот-актинолитовых метасоматитах. Кроме того, они могут содержать такие реликтовые минералы исходных пород, как сульфиды, флюорит, кальцит, сфен, апатит. С другой стороны, это является диагностическими признаками апоскарноидных метасоматических образований.

2) Рудный ***штокверк*** *образуется за счет крупных тектонических разломов, которые ограничивают месторождение и играют большую роль в его формировании. В штокверках основная масса шеелита сконцентрирована в пирит, пирит-кварцевых жилах и прожилках, развитых среди гранито-гнейсов и гнейсов, слагающих кварц-полевошпатовые руды. В прожилках и гнездовидных скоплениях размеры выделений шеелита могут достигать 2–3 сантиметра, и в виде единичных зерен распределен ближе к зальбандам прожилков. Особенность шеелита из прожилков — широкое развитие тонкой вкрапленности халькопиритом [9].*

Штокверковая минерализация для месторождения Баян является одной из форм локализации шеелитового оруденения, и она тесно связана с постмагматическими гидротермальными процессами, которые перерабатывали ранее сформированные скарны и концентрировали шеелит в системе многочисленных пересекающих прожилков.

К ведущим минералам данной разновидности руд относятся полевые шпаты, суммарное содержание которых достигает 92%. При этом роль других минералов, таких, как эпидот, актинолит, гранат, пироксен, флогопит, шеелит, пирит резко подчинена. Средняя петроплотностная характеристика редкометалльных рудных штокверков многими исследователями обозначена в пределах 2,72 г/см³ [10, 11].

Гранито-гнейсы, где локализован рудный штокверк, состоит из кварца и полевых шпатов, где совокупное количество их в породе достигает до 92–96%. Петроплотностные характеристики таких пород для данного рудного района определены в пределах 2,65 г/см³.

Тогда при отложении шеелита в штокверках между рудовмещающей породой (гранито-гнейсами) и рудолокализующей структурой (штокверками) появляется незначительная петроплостностная дифференциация в пределах 0.07 г/см^3, причиной является близкое содержание полевых шпатов в их минералогическом составе (таблица 1).

Цифровые инструменты использованы для технической визуализации схематических картографических материалов.

Таблица 1

Петрофизическая модель района месторождения Баян

Кесте 1

Баян кен орны ауданының петрофизикалық моделі

Table 1

Petrophysical model of the Bayan deposit area

Группа	Система	Отдел	Индекс		Мощность, м	Характеристика пород	Плотность, г/см^3	магнитная восприимчивость, \ (10^{-6}) ед. СГС	Поляризуемость, %	Радиоактивность, мкр/час
	НЕОГЕНОВАЯ ЧЕТВЕРТИЧНАЯ		O_{III}		3-15	суглинки глины	**2.53**	**5**		**12**
КАЙНОЗОЙСКАЯ		МОЦЕН — ПЛИОЦЕН	N_2^3-Q_{II}		63	глины				
			N_{1-2}pv		25	глины				
			N_1trm		28	глины				
			N_1trs		20	глины пески				
ПРОТЕРОЗОЙ			PR_3^3sh		1300	сланцы разные известняки мраморизир.	**2.47–2.65** **2.68**	**6–31** **3**		
			PR_{1-2}zr		1500	**сланцы:** амфибол. биотитовые **амфиболит.** **гнейсы:** амфиболов. биотитовые **кварциты** гранито-гнейсы амфиболовые **граниты** лейкокр.	 **3.08** **2.81** **3.02** **2.87** **2.65** **2.68** **2.57** **2.54**	 **19** **27** **41** **29** **58** **10** **82** **40**	 **0.77** **0.36** **1.01** **3.06** **0.47**	**18–34** **10–30** **16–22**

Заключение

В целом, незначительная петроплотностная дифференциация (0,05–0,07 г/см³) между рудовмещающими породами и рудолокализующими средами, обусловленная сходством их минералогического состава, является одним из петрофизических факторов, характеризующих условия включения редкоземельных элементов в структуру шеелита на месторождении Баян. Вследствие этого, при формировании скарновых и полевошпатовых руд в среде отложения шеелита наблюдается незначительная петроплотностная аномалия, но относительно других пород, развитых в районе месторождения, данная закономерность не сохраняется.

Наибольшая аномалия по плотности наблюдается между рудолокализующей средой (метасоматитами) и гранитоидами, а также карбонатными породами, наименьшая петроплотностная аномалия наблюдается между метасоматитами и амфиболами, так как скарноиды были образованы за счет амфиболосодержащих пород.

Сама по себе петроплотностная аномалия указывает лишь на геологическую благоприятную структуру для концентрирования рудных элементов. Для подтверждения наличия руды ее интерпретируют совместно с другими геофизическими и геохимическими методами.

Таким образом, результаты исследования показывают эффективность комплексного использования геологических, минералогических, геохимических и петрофизических признаков при изучении среды локализации редкометаллного оруденения. Такой подход продолжает развитие методологических принципов комплексного исследования месторождений, характерных для казахстанской геологической научной школы, и может быть использован при совершенствовании подходов к прогнозированию редкометаллного оруденения.

Благодарность

Исследование выполнено в рамках программно-целевого финансирования BR24992920 «Исследование научно-культурного наследия академика К. И. Сатпаева – путь к развитию научных школ Казахстана».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Выявление и использование петрофизических аномалий для прогноза оруденения на урановом месторождении Антей (Юго-Восточное Забайкалье) / В. А. Минаев [и др.] // Вестник московского университета. – 2016. – № 2. – С. 24–33 (на русском языке)*
2. *Петрофизическая модель Сырымбетского рудного поля / М. Ш. Омирсериков [и др.] // Вестник КБТУ. – 2018. – № 4 (47). – С. 101–109 (на русском языке)*
3. *Справочник. Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана. – Алматы, 1998. – 136 с. (на русском языке)*
4. *Щерба Г. Н., Кудряшов А. В., Сенчило Н. П. Редкометалльное оруденение Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1988. – 221 с. (на русском языке)*
5. *Гуляев А. П. Рудовмещающие скарноиды Баянского месторождения (Казахстан). Петрология рудоносных метасоматитов. – Фрунзе: Илим – 1980. – С. 56–58 (на русском языке)*
6. *Щерба Г. Н., Губайдуллин Ф. Г. К происхождению шеелитового месторождения Баян // Геология рудных месторождений. – 1984. – № 5. – С. 20–27 (на русском языке)*
7. *Исследование редкометалльного месторождения Баян на основе ГИС-технологий и прогнозная оценка его дополнительных ресурсов для промышленных руд / M. Sh. Omirserikov [и др.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2017. – № 6 (426). – С. 56–64 (на английском языке)*
8. *Адамьян Н. Х. Баянское месторождение вольфрама в Кокчетавской области КазССР: отчет № 41342. – 1989 (на русском языке)*
9. *Специфика включения редкоземельных элементов в рудные минералы редкометалльных месторождений Казахстан / Zh. Dossymbekova [и др.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2024. – № 6 (467). – С. 99–113 (на английском языке)*
10. *Открытие щелочного комплекса с редкометалльной и редкоземельной минерализацией в районе Дагеле, Восточный Куньлунь / W. Li [и др.] // Geotectonica et Metallogenia. – 2021. – Т. 45. – №. 6 (на английском языке)*
11. *Омирсериков М. Ш., Рамадан Х. С. Геолого-геофизические и петрофизические признаки редкометалльных месторождений центрального Казахстана и их поисковые значение // Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. – 2014. – № 1 (403). – С. 54–59 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Антей уран кен орнында (Оңтүстік-Шығыс Забайкалье) кенденуді болжау үшін петрофизикалық аномалияларды анықтау және пайдалану / В. А. Минаев [және т. б.] // Мәскеу университетінің хабаршысы. – 2016. – № 2. – Б. 24–33 (орыс тілінде)*
2. *Сырымбет кен өрісінің петрофизикалық моделі / М. Ш. Омирсериков [және т. б.] // ҚБТУ хабаршысы. – 2018. – № 4 (47). – Б. 101–109 (орыс тілінде)*
3. *Анықтамалық. Қазақстанның сирек металдар және сирек жер элементтері кен орындары. – Алматы, 1998. – 136 б. (орыс тілінде)*
4. *Щерба Г. Н., Кудряшов А. В., Сенчило Н. П. Қазақстанның сирек металды үйінділенуі (оруденениенің қалыптасуы). – Алма-Ата: Наука, 1988. – 221 б. (орыс тілінде)*
5. *Гуляев А. П. Баян кен орнының руда сыйыстырушы скарноидтары (Қазақстан) Рудалы метасоматиттер петрологиясы. – Фрунзе: Илим, 1980. – Б. 56–58 (орыс тілінде)*
6. *Щерба Г. Н., Губайдуллин Ф. Г. Баян шеелит кенорнының шығу тегі туралы // Кенді кенорындарының геологиясы. – 1984. – № 5. – Б. 20–27 (орыс тілінде)*
7. *Баян сирек металдар кен орнын ГАЖ технологиясы негізінде зерттеу және оның өнеркәсіптік кендерге арналған қосымша ресурстарын болжамды бағалау / M. Sh. Omirserikov [және т. б.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2017. – № 6 (426). – Б. 56–64 (ағылшын тілінде)*

8. *Адамьян Н. Х. ҚазКСР Көкшетау облысындағы Баян вольфрам кен орны. – № 41342 есеп, 1989 (орыс тілінде)*
9. *Қазақстанның сирек металды кен орындарындағы кен минералдарына сирек жер элементтерінің ену ерекшеліктері / Zh. Dossymbekova [және т. б.] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2024. – № 6 (467). – Б. 99–113 (ағылшын тілінде)*
10. *Шығыс Куньлундағы Дагеле ауданында сирек металдар мен сирек жер элементтері минералданған сілтілі кешеннің ашылуы / W. Li [және т. б.] // Geotectonica et Metallogenia. – 2021. – Т. 45. – № 6 (ағылшын тілінде)*
11. *Омирсериков М. Ш., Рамадан Х. С. Орталық Қазақстандағы сирек металды кен орындарының геологиялық-геофизикалық және петрофизикалық белгілері және олардың іздеудегі маңызы // ҚР ҰҒА Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы. –2014. – № 1 (403). – Б. 54–59 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. *Vyjavlenie i ispol'zovanie petrofizicheskih anomalij dlja prognoza orudenenija na uranovom mestorozhdenii Antej (Jugo-Vostochnoe Zabajkal'e) [Identification and Application of Petrophysical Anomalies for Mineralization Prediction at the Antey Uranium Deposit (Southeastern Transbaikalia)] V. A. Minaev et al. Vestnik moskovskogo universiteta [Bulletin of Moscow University]. – 2016. – No. 2. – P. 24–33 (in Russian)*
2. *Petrofizicheskaja model' Syrymbetskogo rudnogo polja [Petrophysical Model of the Syrymbet Ore Field] M. Sh Omirserikov et al. Vestnik KBTU [KBTU Bulletin]. – 2018. – No. 4 (47). – P. 101–109 (in Russian)*
3. *Spravochnik. Mestorozhdenija redkih metallov i redkih zemel' Kazahstana [Reference Book. Deposits of Rare Metals and Rare Earth Elements of Kazakhstan]. – Almaty, 1998. – 136 p. (in Russian)*
4. *Shcherba G. N., Kudryashov A. V., Senchilo N. P. edkometall'noe orudenenie Kazahstana [Rare-Metal Ore Formation (Ore Genesis) of Kazakhstan]. – Alma-Ata: Nauka. – 1988. – 221 p. (in Russian)*
5. *Gulyaev A. P. Rudovmeshhajushhie skarnoidy Bajanskogo mestorozhdenija (Kazahstan). Petrologija rudonosnyh metasomatitov [Ore-Bearing Skarnoids of the Bayan Deposit (Kazakhstan). Petrology of Ore Metasomatites]. – Frunze: Ilim, – 1980. – P. 56–58 (in Russian)*
6. *Shcherba G. N., Gubaidullin F. G. K proishozhdeniju sheelitovogo mestorozhdenija Bajan [On the Origin of the Bayan Scheelite Deposit]. Geologija rudnyh mestorozhdenij [Geology of Ore Deposits]. – 1984. – No. 5. – P. 20–27 (in Russian)*
7. *Investigation of rare metal deposit called bayan on the basis of gis technology and forecast assessment of its additional resources for industrial ores / M. Sh. Omirserikov et al. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – 2017. – No. 6 (426). – P. 56–64 (in English)*
8. *Adamyan N. Kh. Bajanskoe mestorozhdenie vol'frama v Kokchetavskoj oblasti KazSSR: otchet № 41342 [The Bayan Tungsten Deposit in the Kokshetau Region of the Kazakh SSR. – Report No. 41342], 1989 (in Russian)*
9. *Specific Features of the Incorporation of Rare Earth Elements into Ore Minerals of Rare-Metal Deposits of Kazakhstan / Zh. Dosymbekova et al. // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. – Almaty. – 2024. – No. 6 (467). – P. 99–113 (in English)*
10. *Discovery of Rare and REE-Mineralized Alkaline Complex in the Dagele Area, East Kunlun / W. Li et al. // Geotectonica et Metallogenia. – 2021. – Vol. 45. – No. 6 (in English)*
11. *Omirserikov M. Sh., Ramadan Kh. S. Geologo-geofizicheskie i petrofizicheskie priznaki redkometall'nyh mestorozhdenij central'nogo Kazahstana i ih poiskovye znachenie [Geological, Geophysical, and Petrophysical Indicators of Rare-Metal Deposits in Central Kazakhstan and Their Exploration Significance]. Izvestija NAN RK. Serija geologii i tehnicheskih nauk [News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences]. – 2014. – No. 1 (403). – P. 54–59 (in Russian)*

Сведения об авторах:
Исаева Л. Д., доктор геолого-минералогических наук, ассоц. профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), *l.issayeva@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0001-7184-6351
Амралинова Б. Б., Ph.D, ассоц. профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), *b.amralinova@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0003-0716-5265
Тогизов К. С., Ph.D, ассоц. профессор, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), *k.togizov@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0002-4830-405X
Досымбекова Ж. Б., ст. преподаватель Satbayev University (г. Алматы, Казахстан); руководитель отдела, ТОО «Национальный научный центр сейсмологического наблюдения и исследования» (г. Алматы, Казахстан), *d_zhansaya@mail.ru;* https://orcid.org/0009-0000-6683-4604

Авторлар туралы мәліметтер:
Исаева Л. Д., Сәтбаев университетінің геология-минералогия ғылымдарының докторы, қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)
Амралинова Б. Б., Сәтбаев университетінің Ph.D докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)
Тогизов К. С., Сәтбаев университетінің Ph.D докторы, қауымдастық профессоры (Алматы қ., Қазақстан)
Досымбекова Ж. Б., Сәтбаев университетінің аға оқытушысы (Алматы қ., Қазақстан); бөлім басшысы, «Сейсмологиялық байқаулар және зерттеу ұлттық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Issayeva L. D., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Amralinova B. B., Ph.D, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Togizov K. S., Ph.D, associate professor, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)
Dossymbekova Zh. B., Senior Lecturer at Satbayev University (Almaty, Kazakhstan); Head of Department, LLP «National Scientific Center for Seismological Observation and Research» (Almaty, Kazakhstan)