

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ УРАН-ТИТАН-МЕТАГЕЛЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЗОЛОТОУРАНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ЭЛЬКОН

М.М. КОМАРОВА, ВЛ.Б. КОМАРОВ, А.П. АЛЕШИН, Т.Л. КРЫЛОВА

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии ИГЕМ РАН
119017, Россия, Москва, Старомонетный пер., 35; e-mail: ivanchenko.marija@gmail.com*

В результате микротермометрических исследований флюидных включений в минералах дорудной и пострудной стадий, проявленных на месторождении Элькон, выявлен широкий диапазон вариации температурного режима — от 430 до 103 °С. Как средние температуры, так и интервал их изменений для дорудной и пострудной стадии близки. Это позволяет достаточно надёжно оценить температурный режим формирования урановой минерализации в 400—120 °С. Растворы имели Na-хлоридный, реже Na-хлоридно-карбонатный состав и умеренную соленость (6—16 мас. % экв. NaCl). Широкий диапазон температур формирования урановой минерализации подтверждает сделанное ранее предположение о том, что причиной отложения урана как преимущественно в аморфной (уран-титановый метгель), так и реже кристаллической (браннерит) формах является различный температурный режим. По-видимому, основным фактором рудоотложения явилось резкое падение температуры ураноносных флюидов.

Ключевые слова: Эльконский рудный район; уран-титановый метгель; флюидные включения; микротермометрия.

PHYSICAL-CHEMICAL FORMATION CONDITIONS OF URANIUM-TITANIUM-METAGEL MINERALIZATION AT THE GOLD-URANIUM ELKON DEPOSIT

М.М. KOMAROVA, VL.B. KOMAROV, A.P. ALESHIN, T.L. KRYLOVA

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS (IGEM RAS)
119017, Russia, Moscow, Staromonetny lane, 35; e-mail: ivanchenko.marija@gmail.com*

A wide range of the temperatures of hydrothermal fluid regime (430—103 °C) has been revealed in the result of microthermometric study of the fluid inclusions in the minerals of pre-ore and post-ore stages developed at the Elkon deposit. Average temperatures, as well as the temperature variation are similar for both pre-ore and post-ore stages. It allows sure determination of temperatures of uranium ore formation as 400—120 °C. Fluids possessed Na-chloride, rarely Na-chloride-carbonate composition and moderate salinity (6—16 wt. % NaCl equiv.). The wide range of temperatures confirms an assumption made before that various temperatures were the reason of formation of uranium mineralization both in the form of predominantly amorphous phase (U-Ti-metagel), as well as the rarely crystalline form (brannerite). Abrupt temperature decrease was apparently the main factor of the ore precipitation.

Key words: Elkon ore district; uranium-titanium-metagel; fluid inclusions; microthermometric study.

Золотоурановые месторождения Эльконского рудного района обладают уникальными разведанными запасами урана, составляющими вместе с прогнозными ресурсами категории P_1 около 650 тыс. т [8, 9]. Это выводит данный район в ряд крупнейших мировых урановорудных объектов и делает его важнейшим резервным источником природного урана России. Эльконский район расположен на северном склоне Алдано-Тимптонского мегаантиклинария [2, 5]. Эльконский горст, вмещающий все урановые месторождения рудного района, вы-

тянут в северо-восточном направлении на 60 км при ширине 30 км [6, 11]. Наиболее продуктивной на уран является Южная зона северо-западного простирания, имеющая протерозойский возраст заложения, омоложенная при мезозойской тектоно-магматической активизации (ТМА) и контролирующая положение пяти крупных месторождений (с северо-запада на юго-восток: Элькон, Эльконское плато, Курунг, Непроходимое, Дружное). Рудные залежи этих месторождений прослеживаются по Южной зоне непрерывно на протя-

жении 25 км и разведаны до глубины 2 км, нижняя граница оруденения при этом не оконтурена. Руды месторождений комплексные, попутными элементами являются золото и в некоторых случаях — молибден [2, 3, 11].

За более чем 50-летнюю историю изучения детально исследованы вопросы геологического строения района, этапности магматизма и связанных с ним гидротермальных процессов, динамики формирования пликативных и разрывных структур докембрийского и мезозойского этапов, их влияния на локализацию рудных залежей. Однако вопросы стадийности минералообразования, минеральных парагенезисов, типоморфизма минералов и физико-химических условий их формирования оказались изучены не столь глубоко.

Первая парагенетическая схема была составлена Я.Д. Готманом с соавторами в 1967 г. через несколько лет после начала разведки месторождений. Позднее упрощенная схема стадийности была опубликована А.К. Мигутой [10, 11], однако без описания парагенезисов и обоснования последовательности их формирования. Физико-химические условия образования урановой минерализации изучались в основном на месторождении Дружное [12–14] методами гомогенизации газовой-жидких включений, а также декрепитации и водных вытяжек в дорудных и пострудных минералах. Опубликованные данные по температурному режиму минералообразования не дают возможности оценить статистическую представительность материала, а использованные методы декрепитации и водных

вытяжек в настоящее время считаются устаревшими. Кроме того, проводились микротермометрические исследования золотосеребряного оруденения в зоне Федоровская [7], которые однако не могут характеризовать физико-химические условия урановорудного процесса.

Изучение урановой минерализации на месторождениях Южной зоны, проведённое в последнее время с помощью сканирующей и высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии, показало [1], что подавляющая часть рудных залежей Южной зоны сложена не браннеритом (UTi_2O_6), как это считалось ранее, а неизвестным минералоидом — полифазным уран-титановым метателом (УТМ). Первичные структуры последовательного отложения фаз с различным отношением U:Ti свидетельствуют о первичной природе этого минералоида, а не о его образовании за счёт распада браннерита. Браннерит в незначительном количестве был образован близодновременно с УТМ. Было сделано предположение, что причиной отложения урановой минерализации как в аморфной, так и в кристаллической формах является широкий диапазон температур гидротермального процесса, установленный методами микротермометрии. Учитывая важность изучения условий образования неизвестной ранее в мире аморфной U-Ti фазы, а также огромные запасы находящегося в ней урана (более 500 тыс. т), было продолжено изучение флюидных включений (ФВ) в дорудных и пострудных минералах месторождений Южной зоны.

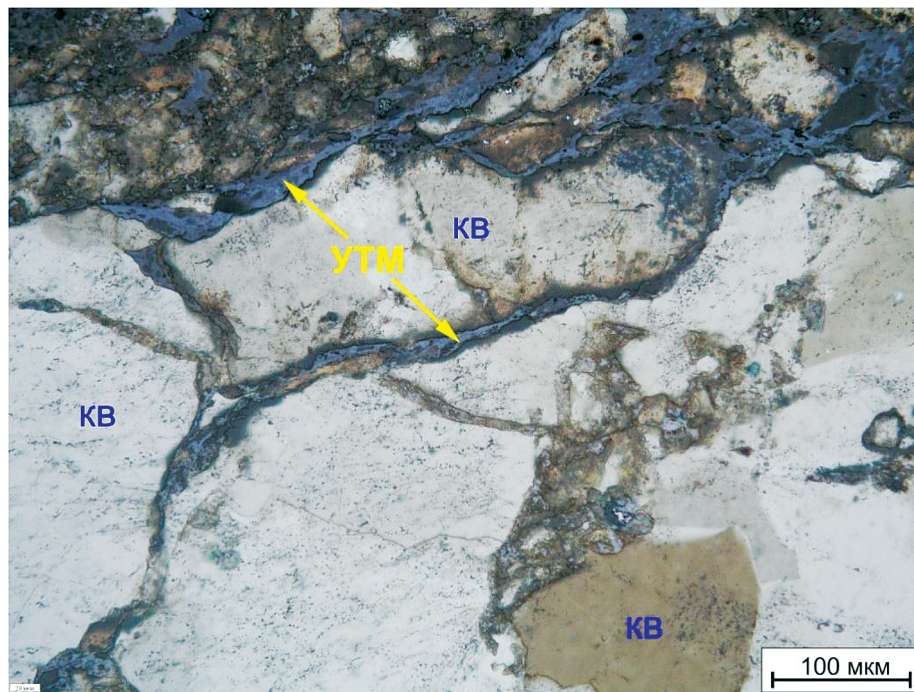


Рис. 1. Агрегат гипидiomорфных зёрен кварца дорудной стадии (кв) пересечён тонкими прожилками уран-титанового метатела (УТМ); микрофотография прозрачно-полированного шлифа 2047-п15/2 в проходящем и отраженном свете, николи полускрещены

Основным материалом для изучения явились образцы керна скважин месторождения Элькон, пробуренных в 2009—2010 гг. в ходе доразведки месторождений Южной зоны ЗАО «Русбурмаш», ФГУП «Урангео» и ОАО «ВНИИХТ». Коллекция составила 336 образцов, отобранных из восьми скважин, расположенных на протяжении более 2 км вдоль месторождения Элькон, на глубинах от 120 до 780 м. Большая часть из них была изучена методами оптической и электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом. Из пяти образцов с наиболее представительными прожилками кварца, карбоната и флюорита, характеризующими как дорудную, так и пострудную минерализацию, были изготовлены двусторонне-полированные пластинки для изучения ФВ.

Микротермометрические исследования проводились с использованием измерительного комплекса, состоящего из микротермокриокамеры «Linkam-THMSG-600», установленной на микроскопе BX53 фирмы Olympus с длиннофокусным 50-кратным объективом, видеокамеры и управляющего компьютера. Комплекс позволяет производить измерения в температурном интервале от -196 до 600 °С. Точность измерения температур составляла $\pm 0,2$ °С для температурного интервала от -60 до +60 °С и $\pm 1,5$ °С — за его пределами.

Кварц дорудной генерации выявлен в образце 2047-п15/2. Он представлен гипидиоморфнозернистым агрегатом зёрен размером 0,2—0,5 мм, с ровным или слабо волнистым угасанием. Агрегат зёрен кварца раздроблен и сцементирован тонкозернистым пиритом и пересечён тонкими прожилками УТМ (рис. 1), что доказывает его образование в дорудную стадию.

Кварц пострудной генерации по габитусу, размеру и степени идиоморфизма зёрен неотличим от кварца дорудной генерации. Надёжное различие дорудной и пострудной генераций кварца возможно только по их соотношению с урановорудной минерализацией. Однако пострудный кварц часто ассоциирует в прожилках с карбонатом и флюоритом. Зональные прожилки выполнены у зальбандов кварцем, на который нарастает карбонат, а центральная часть прожилков выполнена фиолетовым флюоритом. В некоторых случаях отмечается поздняя генерация карбоната, образованная после флюорита, а на кристаллы флюорита нарастают каёмки пирита и марказита. На месторождении Дружное отмечались пострудные прожилки «рисовидного» кварца [10, 14], которые на месторождении Элькон авторами не наблюдались.

Для получения достоверных микротермометрических данных исследования проводились на группах из двух и более флюидных включений с одинаковыми фазовыми соотношениями и близкими температурами фазовых переходов, чтобы убедиться

ся в исходной гомогенности захваченного во включения флюида.

Солевой состав и концентрация растворов во включениях определялись по точкам фазовых переходов — температура плавления эвтектики ($T_{эвт}$) и температура плавления льда ($T_{льда}$), соответственно. Температуру гомогенизации ($T_{гом}$) устанавливали по точке перехода газа в раствор. Результаты интерпретировались по стандартным методикам [15—17].

Микротермометрическим исследованиям предшествовал тщательный анализ ФВ, в ходе которого определялись наличие пригодных по размеру флюидных включений, их форма, размеры, генетический тип, фазовый состав и соотношения фаз при комнатной температуре. Было установлено, что в минералах месторождения присутствуют разнообразные ФВ, среди которых по фазовому составу выделены несколько типов: 1) наиболее распространенные двухфазные ФВ типа ГЖ, содержащие газ + раствор, 2) реже встречающиеся трехфазные ФВ типа ГЖЖу — содержащие газ, раствор и жидкую углекислоту, 3) обнаруженные в одном образце четырехфазные ФВ типа ГЖЖуТ (Т — захваченный минерал), 4) единичные ФВ типа ГЖ, содержащие углекислоту.

Детальные результаты микротермометрии приведены в таблице, а в более обобщённом виде — на рис. 2. Кварцевые прожилки дорудной стадии формировались в широком интервале температур от 380 до 150 °С из флюидов преимущественно Na-хлоридного состава средней солёности 10—11 мас. % экв. NaCl. Можно отметить постоянство состава и солёности флюидов для всего температурного интервала. Методами микротермометрии присутствие CO_2 и других газов в составе ФВ не обнаружены.

Для одного ФВ из флюорита в прожилке дорудной стадии установлена $T_{гом} = 240$ °С, соответствующая температурному интервалу ФВ в кварце. В то же время $T_{эвт}$ раствора, законсервированного в этом ФВ, заметно отличается от $T_{эвт}$ ФВ в кварце и еще более заметно отличается концентрация раствора, не превышающая 1 мас. % экв. NaCl. Очевидно, что в процессе формирования прожилков дорудной стадии химический состав флюидов менялся, возможно неоднократно.

Флюидные включения в минералах пострудной стадии более разнообразны. Общий температурный интервал формирования пострудной минерализации составляет 430—103 °С. Для кварца установлены температуры 430—103 °С, для флюорита — 424—140 °С. Кальцит, по-видимому, представлен двумя генерациями: высокотемпературный, содержащий ФВ с $T_{гом} = 380—107$ °С, и поздний, для которого характерны ФВ с $T_{гом}$ не выше 180 °С.

Результаты микротермометрии флюидных включений в кварце дорудной и пострудной стадий на месторождении Элькон

Образец	Минерал	Тип ФВ	N	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{энт}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{тавл. льда}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{тавл. хр.-газ. гидр.}}, ^\circ\text{C}$	C, мас. % экв. NaCl	$T_{\text{гом CO}_2}, ^\circ\text{C}$ (ж.ф.)	$T_{\text{пл CO}_2}, ^\circ\text{C}$
Дорудная стадия										
2047-п15/2	Кварц	ГЖ	12	245 (380...149)	-29 (-30...-19)	-7 (-7,3...-0,5)		10,7 (10,9...0,9)		
Пострудная стадия										
2027-п332,2	Кварц	ГЖЖ,Т	4	272 (350...233)	-25	н/о	7,3 (8,8...5,6)	5,2 (2,4...8,1)	31,05 (31,05...31,03)	-57 (-57,1...-56,9)
		ГЖЖ,у	9	257 (430...120)	-27 (-30...-25)	-8,5	6,5 (7,5...5,6)	6,6 (4,9...8,1)	30,01 (31,05...30)	-58,3 (-58,4...-56,9)
		ГЖ	4	228 (244...178)	-23 (-25...-22)	-5		7,9		
2027-п326/2	Кварц	ГЖ	5	233 (240...170)		-6 (-6,3...-6)		9,2 (9,6...9,2)		
		Кальцит	6	291 (380...197)		-6 (-6,3...-6)		9,2 (9,6...9,2)		
		Флюорит	9	180 (424...140)	-27 (-29...-26)	-8,1 (-11,8...-5)		11,8 (15,8...7,9)		
2027-п362,1/2	Кварц	ГЖ	2	н/о	-23	-5	7 (7...6,9)	5,8 (5,8...5,9)	30,5 (31...30)	-59,05 (-59,1...-59)
		ГЖЖу	2	340 (360...320)	-23,5 (-24...-23)	-5	6 (6,9...5)	7,5 (5,9...9,0)	28,3 (28,5...28)	-58,9 (-59...-58,8)
		ГЖ	1	159	-32	-4		6,5		
2019-п56/3	Кальцит	ГЖ	3	150 (179...124)	-31 (-34...-30)	-8 (-9...-7)		11,7 (12,9...10,5)		
		ГЖ	15	172,5 (428...103)	-23 (-32...-20)	-5,2 (-9,8...-3,3)		8,1 (13,7...5,4)		

Примечание: Тип ФВ: Г – газовая фаза, Ж – жидкая фаза, Ж_у – жидкая углекислота, т – твердая фаза; N – число измеренных включений в образце; $T_{\text{гом}}$ – температура гомогенизации включений; $T_{\text{энт}}$ – температура плавления эвтектики; $T_{\text{тавл. льда}}$ – температура плавления льда; $T_{\text{тавл. хр.-газ. гидр.}}$ – температура плавления твердой фазы; C, мас. % экв. NaCl – концентрация солей; $T_{\text{гом CO}_2}$ – температура гомогенизации углекислоты; $T_{\text{пл CO}_2}$ – температура плавления углекислоты; значения температур и концентрации солености даны в виде среднего (медианного) значения и интервала значений (снизу в скобках); н/о – значения не определены.

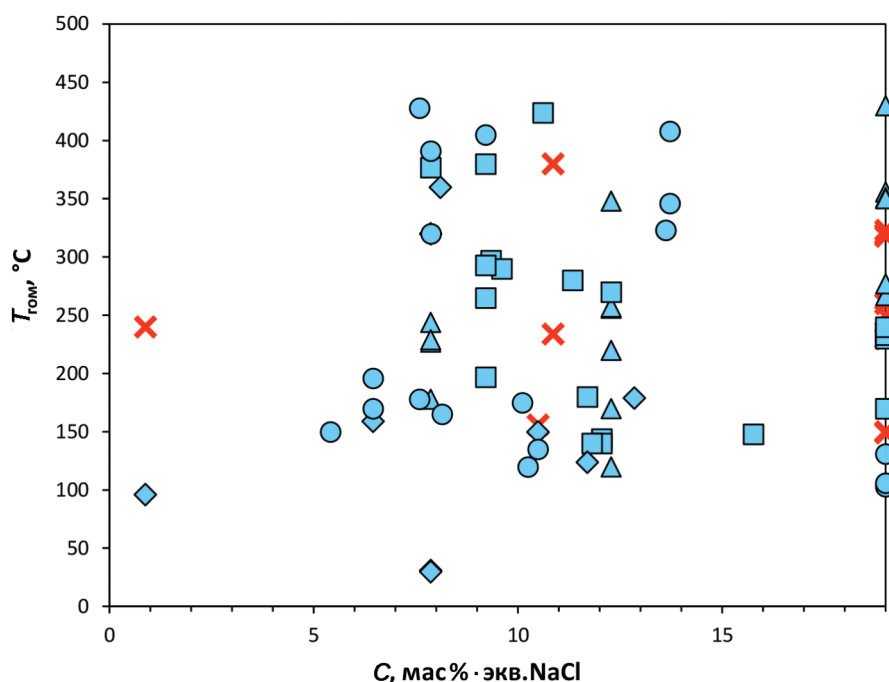


Рис. 2. Соотношение температуры гомогенизации ($T_{\text{гом}}$) и концентрации солей (C) для флюидных включений дорудного (красное) и пострудного (синее) кварца; точки на правой оси соответствуют значениям, для которых концентрация солей не определена

Микротермометрия включений в зональном кварц-карбонат-флюоритовом прожилке образца 2027-п326/2 позволила выявить как прогрессивный, так и регрессивный температурный режим в течение пострудной стадии. Средняя температура гомогенизации ФВ в кварце, отложенном в зальбане прожилка, составляет 233°C при диапазоне $240\text{—}170^{\circ}\text{C}$. Наросший на него кальцит образовался при более высокой температуре (средняя 291°C , при разбросе $380\text{—}197^{\circ}\text{C}$), тогда как флюорит, завершающий формирование прожилка в центральной части, отложился при более низких температурных условиях (228°C , при интервале $424\text{—}140^{\circ}\text{C}$). Во всех случаях отмечается широкий диапазон вариаций $T_{\text{гом}}$, при отложении позднего флюорита достигающий почти 300°C .

Трехфазные ФВ типа ГЖЖу, содержащие CO_2 , с $T_{\text{гом}}$ в интервале от 430 до 351°C , захватили флюиды с $T_{\text{эвт}} = 22\text{...}24^{\circ}\text{C}$. После появления первой жидкости, при дальнейшем нагревании плавление содержимого вакуоли медленно и непрерывно продолжалось до температур $7,5\text{—}5,6^{\circ}\text{C}$. Аналогичный тип плавления наблюдался в четырехфазных ФВ типа ГЖЖуТ с более низкими $T_{\text{гом}} = 350\text{—}233^{\circ}\text{C}$ и $T_{\text{эвт}} = 27\text{...}25^{\circ}\text{C}$. Твёрдая фаза при нагревании ФВ до температуры гомогенизации газ-жидкость не растворялась, состав её не определён. Углекислота в ФВ типов ГЖЖу и ГЖЖуТ плавилась в узком температурном интервале от $57,2$ до $56,9^{\circ}\text{C}$, гомогенизация происходила при темпе-

ратуре $31,0\text{—}30,5^{\circ}\text{C}$ с образованием жидкой фазы. Температуру плавления льда установить не удалось, последнее плавление (растворение) твердых фаз происходило при температуре $8,8\text{—}5,6^{\circ}\text{C}$.

Интерпретация такого процесса плавления содержимого ФВ при криометрии неопределенная. Согласно экспериментальным данным [4], подобные значения эвтектики могут отвечать системам $\text{NaCl}\text{--}\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--}\text{H}_2\text{O}$ ($T_{\text{эвт}} = 21,4^{\circ}\text{C}$), $\text{NaCl}\text{--}\text{NaHCO}_3\text{--}\text{H}_2\text{O}$ ($T_{\text{эвт}} = 21,8^{\circ}\text{C}$), $\text{NaCl}\text{--}\text{Na}_2\text{SO}_4\text{--}\text{H}_2\text{O}$ ($T_{\text{эвт}} = 21,5^{\circ}\text{C}$) или $\text{NaCl}\text{--}\text{H}_2\text{O}$ ($T_{\text{эвт}} = 21,5^{\circ}\text{C}$ по [4] и $T_{\text{эвт}} = 20,8^{\circ}\text{C}$ по [15]).

Очевидно, что флюиды ФВ в кварце имеют сложный анионный состав, так как только в системах $\text{NaCl}\text{--}\text{Na}_2\text{CO}_3\text{--}\text{H}_2\text{O}$ и $\text{NaCl}\text{--}\text{Na}_2\text{SO}_4\text{--}\text{H}_2\text{O}$ при замерзании образуются кристаллогидраты, существование которых возможно до температур $32\text{—}33^{\circ}\text{C}$. Учитывая присутствие углекислоты в обоих типах ФВ и нерастворимой твердой фазы в ФВ типа ГЖЖуТ, можно предполагать Na-хлоридно-карбонатный состав захваченных флюидов. Установить момент плавления льда в таких системах практически невозможно, поэтому о концентрации флюидов сказать что-либо трудно. Возможно, она соответствовала рассолам.

Таким образом, флюиды имели Na-хлоридный или Na-хлоридно-карбонатный состав. Об этом свидетельствуют $T_{\text{эвт}}$, варьирующие в интервале от -32 до 23°C , и ФВ типа ГЖЖу, в которых плавление завершалось исчезновением кристаллогидратов, по-видимому $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. В газовой фазе

ФВ присутствует CO_2 , в которой согласно данным микротермометрии содержится небольшое количество других газов, возможно метана, количество которого не превышает 1–2 мол. %.

Сопоставление полученных данных с результатами предыдущих исследований показывает, что температурный интервал для урановорудных флюидов ранее имел заметно более низкие оценки — 220–200 °С [14], и 300–250 °С [12, 13], тогда как проведенные авторами исследования выявили существенно более широкий диапазон, с максимальными температурами, достигающими 430 °С. Новые данные обосновывают формирование аморфного УТМ при температурах до 300 °С, и кристаллического браннерита — при более высоких температурах [1].

Данные о составе растворов, полученные методом водных вытяжек, приведены в [14]. Они несопоставимы с результатами микротермометрии индивидуальных включений как по катионно-анионному составу, так и по концентрациям. Это закономерно, так как использованные методы принципиально различны. Кроме того, изученные предыдущими исследователями сульфидно-кварц-баритовые жилы месторождения Дружное не распространены на месторождении Элькон.

Проведённые комплексные минералогические и термобарогеохимические исследования позволили сделать следующие выводы.

1. Минералы дорудного и пострудного минеральных комплексов на месторождении Элькон формировались в широком температурном диапазоне 430–103 °С, при этом заметных различий в температурах гомогенизации ФВ в дорудных и пострудных минералах не выявлено. Данные результаты позволяют оценить температуру образования урановой минерализации примерно в 400–120 °С. Полученные оценки максимальных температур существенно выше опубликованных ранее.

2. Состав растворов был преимущественно Na-хлоридным, реже Na-хлоридно-карбонатным. Солёность флюидов умеренная, в основном диапазоне от 6,5 до 16 мас. % экв. NaCl.

3. Широкий диапазон температур формирования урановой минерализации подтверждает сделанное ранее предположение о том, что причиной отложения урана, как преимущественно в аморфной (уран-титановый метателлурит), так и реже кристаллической (браннерит) формах, является различный температурный режим.

4. Фактор падения температур гидротермально-го флюида от 430–400 до 100 °С является, по-видимому, наиболее вероятным фактором отложения урановой минерализации из рудоносных растворов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00549 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

- Алешин А.П., Козырьков В.Д., Смирнов К.М., Комаров В.Б., Иванченко М.М., Комаров В.Б., Грибоедова И.Г. Уран-титан-метателлуритовая минерализация золотоурановых месторождений Эльконского рудного района (Алдан) и особенности её технологического передела // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 50–57.
- Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н. Золото и уран в мезозойских гидротермальных месторождениях Центрального Алдана (Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. №4. С. 345–369.
- Бойцов В.Е., Пилипенко Г.Н., Дорожкина Л.А. Золоторудные и золото-урановые месторождения Центрального Алдана // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т. 2. Стратегические виды рудного сырья. М.: ИГЕМ РАН, 2006. С. 215–240.
- Борисенко А.С. О возможном определении карбонатов и бикарбонатов натрия в растворах // Доклады АН СССР. 1974. Т. 214. № 4. С. 917–920.
- Казанский В.И., Максимов Е.П. Геологическая позиция и история формирования Эльконского урановорудного района (Алданский щит, Россия) // Геология рудных месторождений. 2000. № 3. С. 212–230.
- Крупенников В.А. Урановые (браннеритовые) месторождения в разломах фундамента эпиархейских кратонов // Гидротермальные месторождения урана. М.: Наука, 1978. С. 128–138.
- Крылова Т.Л., Дорожкина Л.А. Флюидный режим формирования браннерит-серебро-золотого оруденения в зоне Федоровская (Эльконский рудный район) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2002. № 4. С. 73–80.
- Машковцев Г.А., Мигута А.К., Наумов С.С. Перспективы освоения Эльконского урановорудного района // Разведка и охрана недр. 2007. № 6. С. 11–20.
- Машковцев Г.А., Константинов А.К., Мигута А.К., Шумилин М.В., Щеточкин В.Н. Уран российских недр. М.: ВИМС, 2010. 850 с.
- Мигута А.К. Состав и парагенетические минеральные ассоциации урановых руд Эльконского района (Алданский щит, Россия) // Геология рудных месторождений. 1997. № 4. С. 323–343.
- Мигута А.К. Урановые месторождения Эльконского рудного района на Алданском щите // Геология рудных месторождений. 2001. № 2. С. 129–151.
- Наумов Г.Б. Миграция урана в гидротермальных растворах // Геология рудных месторождений. 1998. Т.40. № 4. С. 307–325.
- Тугаринов А.И., Наумов В.Б. Термобарические условия формирования гидротермальных урановых месторождений // Геохимия, 1969. № 2. С. 131–146.
- Хитаров Д.Н., Мигута А.К. Характер рудообразующих растворов месторождения Дружное (Эльконский урановорудный район на Алданском щите), по данным изучения флюидных включений в кварцах // Геология рудных месторождений, 2003. Т. 45. № 5. С. 414–480.
- Collins P.L.P. Gas hydrates in CO_2 bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity // Econ. Geol. 1979. Vol. 74 P. 1435–1444.
- Goldstein R.H., Reynolds T.J. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals // Society for Sedimentary Geology Short Course 31. Tulsa (Okla). 1994. 199 p.
- Roedder E. Fluid inclusions. Min. Soc. of America. Review in Mineralogy. 1984. 12. 644 p.