——— ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ——

УДК 553.495:550.4:551.2:550.428

АЛЬБИТОВЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ И ТОРИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВУЛКАНОГЕННОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ, ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2022 г. О. В. Андреева^{1,*}, член-корреспондент РАН В. А. Петров^{1,**}, В. В. Полуэктов^{1,***}

Поступило 17.06.2022 г. После доработки 06.09.2022 г. Принято к публикации 07.09.2022 г.

Рассмотрены причины метасоматической альбитизации рудовмещающих пород и формирования сопутствующей ториевой минерализации на урановых месторождениях Стрельцовского рудного поля, локализованных в одноименной кальдере. Анализ полученных и литературных данных позволяет заключить, что процесс гидротермальной альбитизации не требует дополнительного привноса натрия с магматогенными флюидами. Его источником могут быть сами вмещающие породы, подвергшиеся предрудному кислотному выщелачиванию, а источником Th – акцессорные минералы в этих породах. Возрастание величины pH, необходимое для отложения альбита в низкотемпературных условиях, обеспечивается резким изменением физико-химической обстановки за счет сейсмотектонических импульсов, сопровождающихся приоткрыванием разломно-трещинных систем, сбросом давления (декомпрессией) и дегазацией. Щелочной характер флюидов, вызвавших альбитизацию, подчеркивается также поведением редких и редкоземельных элементов. Миграция Th в натровой щелочной среде, вероятно, происходила в виде легкоподвижных соединений тетра- и пентакарбонатов тория с натрием: Na₄[Th(CO₃)₄] или Na₆[Th(CO₃)₅].

Ключевые слова: предрудный метасоматоз, рудосопровождающая альбитизация, кислотное выщелачивание, ураноторит, акцессорные минералы, сейсмотектонические импульсы, дегазация **DOI:** 10.31857/S2686739722601090

Одной из характерных особенностей молибден-урановых месторождений в областях континентального вулканизма является частое проявление в них рудосопровождающего альбитового или гематит-альбитового метасоматоза (в англоязычной литературе он обозначается как syn-ore metasomatism). Этот тип преобразований имеет метасоматически-прожилковый характер при отсутствии сколько-нибудь выраженной метасоматической зональности. Альбитовый метасоматоз описан на многих месторождениях и рудопроявлениях урана в Средней Азии, в Северном Казахстане, в Забайкалье и в Приамурье [1, 2, 5], а также в Юго-Восточном Китае [12, 17]. Реже синрудный альбитовый метасоматоз отмечается на

полиметаллических и золоторудных месторождениях [10].

Рудосопровождающий прожилково-метасоматический альбит контрастно проявлен на многих месторождениях Стрельцовского рудного поля (СРП) в Восточном Забайкалье. В пределах одноименной кальдеры сосредоточены 20 гидротермальных молибден-урановых месторождений с общими запасами около 300 тыс. т U, что выводит рудное поле в разряд уникальных объектов. По классификации МАГАТЭ [14, 16] 18 месторождений в вулканогенно-осадочных породах чехла кальдеры относятся к вулканогенному типу, а 2 месторождения в фундаменте – к гранитному типу. При этом на Антей-Стрельцовском месторождении (запасы более 90 тыс. т) наличествует факт пространственно-временного совмешения руд в гранитном фундаменте (минеральная система, связанная с гранитоидами) и вулканогенноосадочном чехле (минеральная система, связанная с вулканизмом) кальдеры [9] Это приводит к многолетним дискуссиям о генезисе месторождений с высказыванием альтернативных точек зрения, в том числе по отношению к таким ураново-

¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, Россия

^{*}E-mail: akimolan@igem.ru

^{**}E-mail: vlad243@igem.ru

^{***}*E-mail:* vapol@igem.ru



Рис. 1. а – развитие зоны интенсивной альбитизации и гематитизации с последующим дроблением и проявлением настурановой минерализации (в центре снимка) и окварцевания (месторождение Антей, 11 горизонт); б – единичная зона альбитизации (розовое) и поздний гребенчатый кварц. Видно пересечение альбитом скоплений более раннего метасоматического иллита (светло-зеленый).

рудным объектам вулканогенного типа, как Сианшань (Xiangshan) в Южном Китае и МакДермитт (McDermitt) на западе США.

В короткой статье мы предприняли попытку рассмотрения условий развития рудосопровождающего (синрудного) альбитового метасоматоза и ураноторитовой минерализации на месторождениях СРП с целью использовать эти данные в качестве дополнительных к предложенным ранее параметрам [20], которые необходимы для понимания процессов формирования минеральных систем урановых месторождений.

На месторождениях СРП альбитовые метасоматиты пространственно тесно связаны с рудными телами и наиболее распространены в гранитах фундамента, трахидацитах и менее в базальтах в нижней части чехла и практически исчезают в вышележащих осадочно-туфогенных породах. На уровнях ниже 2000 м от современной поверхности альбитовые метасоматиты уже не встречаются. Развитие зон альбитизации следует направлениям основных рудовмещающих разрывных структур, и это свойство сохраняется на всех известных месторождениях урана жильного типа. Наибольшие по мощности участки альбитизированных пород наблюдаются в гранитах фундамента кальдеры на месторождении Антей, где они могут достигать нескольких метров. Вслед за альбитизацией после импульса тектонических подвижек и интенсивного дробления развивается основная урановорудная стадия и далее многочисленные послерудные жильные образования (рис. 1 а и б).

Альбит проявлен позже стадии предрудного кислотного вышелачивания и во времени совпадает с началом отложения урансодержащих минералов, хотя основные урановорудные процессы происходят позже и отделены от процесса альбитизации отчетливо выраженными тектоническими подвижками и дроблением. В этой связи следует упомянуть, что процессы сопряженного (по Д.С. Коржинскому) отложения при развитии метасоматоза кислотного типа всегда приводят к отложению тех минералов, в состав которых входят выщелоченные компоненты (Ca, Na, Mg, Fe, K). Поэтому во внутренних частях ореолов гидротермальных изменений кроме альбита всегда проявлены прожилковые и метасоматические выделения карбонатов, бертьерина и других минералов. Альбит в виде тонкозернистых агрегатов, состоящих из слабо сдвойникованных зерен, развивается метасоматически, замещая К-шпат и, менее отчетливо, иллит, серицит, кварц. Кроме того, он образует прожилкообразные агрегаты, выполняющие зоны дробления. Содержания Na₂O в измененных породах могут достигать 10 мас. %, что может сопровождаться уменьшением содержаний SiO₂ (табл. 1). Совместно с синрудным альбитом в месторождениях СРП развиты рассеянные выделения браннерита, реже уранинит и настуран, а также ураноторит, циркон, монацит, ксенотим, урансодержащий апатит, паризит.

Чаще всего размеры зерен альбита не превышают сотых долей миллиметра, состав его соответствует практически бескальциевому альбиту с небольшим содержанием калия (до 0.2 мас. %). Степень упорядоченности структуры близка низ-

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	71.98	61.41	70.79	70.60	62.15	71.58	67.50	66.52
TiO ₂	0.25	0.28	0.45	0.16	0.19	0.21	0.52	0.50
Al_2O_3	15.68	19.63	12.44	16.29	17.17	13.06	16.37	16.10
Fe ₂ O ₃	0.61	0.22	1.28	0.44	2.41	2.11	0.38	0.47
FeO	1.28	1.93	0.79	1.09	н.0	н.0	2.29	2.52
MnO	0.05	0.14	0.08	0.06	0.44	0.26	_	0.01
MgO	0.15	0.55	0.87	0.25	0.60	0.46	0.34	0.19
CaO	0.30	1.71	1.32	1.10	2.66	1.81	1.00	1.15
Na ₂ O	3.74	7.78	5.29	7.87	9.39	7.15	5.72	7.16
K ₂ O	4.71	3.05	2.86	0.83	0.25	0.37	4.55	3.43
H ₂ O	1.13	0.54	1.38	0.54	н.о	н.о	н.о	н.0
CO ₂	0.25	2.30	1.89	н.о	н.о	н.о	н.о	0.26
P_2O_5	0.05	н.о.	0.14	н.о.	0.11	0.09	0.13	0.12
BaO	_	_	0.42	_	_	_	_	_
ппп	—	0.41	—	1.06	4.05	3.14	1.16	1.46
сумма	100.13	99.95	99.79	100.29	99.42	100.24	99.96	99.88

Таблица 1. Химические составы альбитизированных гранитов и трахидацитов месторождений Антей и Стрельцовское

Примечание: Химические анализы (1 – исходный слабо иллитизированный гранит, 2–6 в разной степени альбитизированные граниты) выполнены в ЦКП "ИГЕМ-Аналитика" методами "мокрой" химии и рентгено-флюоресцентного анализа, образцы 7 и 8 (альбитизированные трахидациты) – в лаборатории Сосновской экспедиции. Образцы 2 и 5 соответствуют интенсивно альбитизированным гранитам с явлениями выщелачивания кварца. Прочерк – элемент не обнаружен, н.о. – не определялся.

кому альбиту и составляет $2\theta_{131-1\overline{3}1}$ около 1.30 (это значение может, видимо, отражать некоторую примесь исходного плагиоклаза гранитов).

При нарастании интенсивности альбитизации происходит растворение породного кварца и образование пустот, иногда заполненных поздними минералами (диккитом, смектитом, кальцитом и др.). В зарубежных литературных источниках этот процесс иногда обозначается как "эписиенитизация". Но, поскольку он отвечает условиям низких температур, мы полагаем использование этого термина неудачным. Температурные условия формирования альбитовых метасоматитов для месторождений Стрельцовского рудного поля по данным флюидометрии отвечают интервалу 200– 220°C [6].

Реакции: альбит + $K^+ \leftrightarrow$ кпш + Na^+ (1)

1.5 альбит +
$$0.5$$
 K⁺ + H⁺ ↔
↔ 0.5 серицит + 3 кварц + 1.5 Na⁺ (2)

подробно изучены экспериментально, подтверждены расчетными и природными наблюдениями [1, 8, 10, 11, 13, 18]. Константы равновесия этих реакций в системе K₂O–Na₂O–SiO₂–Al₂O₃–H₂O с избытком кварца резко возрастают с падением температуры особенно в случае замещения иллита альбитом. Так, если для 300° С величина р*K* первой реакции близка 1, то для 200° С она уже достигает 1.8, а для 150° С уже 2.5 и образование альбита в низкотемпературной (< 300° С) области весьма затруднено. Предполагается, что при более низких температурах альбит замещается анальцимом или другими натровыми цеолитами.

В свое время реакция "анальцим↔альбит" использовалась для маркировки граничных условий цеолитовой фации метаморфизма [15]. В дальнейшем было установлено, что альбит может оставаться стабильным даже и при более низких температурах, но только в условиях резкого пересыщения SiO₂ [11]. Для реакции (2) возрастание константы равновесия рK выражено еще резче, к тому же ее сдвиг влево в значительной степени зависит от рН среды. Следовательно, для замещения альбитом более ранних иллитовых метасоматитов требуются одновременно значительное, до двух порядков, превышение в воздействующем флюиде натрия над калием и повышение щелочности до рH не менее 8-9 (замещению породного кварца альбитом также способствует щелочная среда). Возможность резкого (до 2 единиц) скачка величин рН может быть обусловлена интенсивной дегазацией растворов и удалением СО₂ и других газов при резком сбросе давления [6, 13]. Последнее



Рис. 2. Распределение нормированных на хондрит РЗЭ в разной степени альбитизированных гранитах (*1*) и в слабоизмененных исходных гранитах (*2*).

вполне возможно в результате сейсмотектонических подвижек, приоткрывания трещин и общей дилатансии пород (разуплотнение и прироста объема горной породы при деформации). Действительно, зоны альбитизации в месторождениях Стрельцовской кальдеры отчетливо тяготеют к участкам повышенной нарушенности, катаклаза и брекчирования пород, что, в свою очередь, предполагает существование условий упругохрупкого разрушения [7]. В Стрельцовской кальдере на больших (более 2.5 км) глубинах, вскрытых скважинами, крупные зоны дробления и рудосопровождающая альбитизация, как и кондиционные урановые руды, не обнаружены.

Однако процесс альбитизации развит на месторождениях Стрельцовской кальдеры далеко не всегда и не является непременным спутником урановой минерализации. На некоторых месторождениях СРП альбитовые метасоматиты или отсутствуют (в Западном блоке), или развиты очень слабо (в Восточном блоке). В других регионах с урановым металлогеническим профилем, например, в Северном Казахстане, рудные тела на многих месторождениях залегают среди околорудных иллитовых (серицитовых) метасоматитов без каких-либо проявлений альбитового метасоматоза. Это обстоятельство указывает на то, что высоконатровый состав рудоносных флюидов не является единственной причиной переноса урана и критическим свойством уранового рудоотложения. Появление околорудных альбититов в значительной степени определяется сугубо местной обстановкой. Она в свою очередь может быть обусловлена, например, составом вмещающих пород, температурой, интенсивностью тектонических подвижек, скоростью раскрывания раствороподводящих трещин и другими факторами. Резкое возрастание содержаний натрия, скорее всего, связано с массовым высвобождением его при процессах предшествующей интенсивной иллитизации, которой в первую очередь подвержены плагиоклазы. Следовательно, процесс гидротермальной альбитизации может быть спровоцирован резким скачком значений рН и не требует дополнительного привноса натрия с магматогенными флюидами. Конечно, при этом необходимо отметить, что урановые проявления жильного типа никогда не бывают связаны с околорудным метасоматозом высококислотного типа, при котором формирование полевошпатовых метасоматитов маловероятно.

Свойства среды минералообразования в процессе формирования альбититов отчасти подчеркивается и распределением во вмещающих породах РЗЭ (рис. 2).

Конфигурация спектра этих элементов в альбититах указывает на существенный привнос легкой части РЗЭ в слабоизмененные исходные граниты, что подтверждается также развитием в этих метасоматитах минералов с преобладанием в их составе цериевой части ряда (монацита, паризита, браннерита).

В последнее время при изучении образцов альбититов с помощью электронной микроскопии (JSM-56101V "Jeol", детектор ЭДС, "Oxford Instruments") нами был обнаружен ураноторит, который ранее в числе рудных минералов не упоминался. Этот U–Th-силикат образует очень мелкие (1–3 мкм) зерна часто в срастании с браннеритом и монацитом. Микронные размеры и частые срастания с другими минералами затрудняют точное определение элементного состава этого силиката.

Ураноторит образует цепочки очень мелких включений (рис. 3) вдоль микротрещин или трещин спайности в измененных вкрапленниках полевых шпатов и всегда встречается совместно с монацитом, ксенотимом, апатитом и новообразованным цирконом. Во вмещающих породах более ранний магматический торит не отмечался, но присутствуют выделения торийсодержащего монацита.

Гораздо более ярко проявлена ториевая минерализация в альбитовых метасоматитах урановых месторождений Сианшаньского (Xiangshan) рудного поля (Южный Китай). По данным [12], урановые руды Сианшаня (особенно ранняя браннеритовая стадия) характеризуются ярким проявлением Th-U-P-REE-Y-Ti-Zr-минерализации, что привело к широкому распространению совместно с браннеритом торийсодержащих минералов – ураноторита, торианита, торийсодержащего браннерита, а также урансодержащего апатита, монацита, REE-Ca-фторокарбоната паризита, циркона, ксенотима. При этом содержание тория в





(B)

(г)

Спектр 75						Спектр 56						
Элемент	Bec. %	Сигма	Атом. %	Оксиды	Оксид %	Элемент	Bec. %	Сигма	Атом. %	Оксиды	Оксид %	
		вес. %						вес. %				
0	27.82		65.82			0	30.17		63.88			
Mg	0.48	0.20	0.75	MgO	0.80	Na	1.77	0.29	2.61	Na ₂ O	2.39	
Al	2 79	0.21	3.91	AlaOa	5 27	Mg	0.59	0.22	0.82	MgO	0.97	
Si	8.53	0.21	11.50	SiO	18 25	Al	4.29	0.25	5.39	Al ₂ O ₃	8.11	
D	0.33	0.14	0.52	P ₂ O ₂	0.08	Si	13.31	0.36	16.05	SiO ₂	28.47	
1 Co	0.45	0.14	0.32	1205	1.02	Р	0.54	0.21	0.60	P_2O_5	1.25	
Ca	0.74	0.15	0.70	CaU	1.03	Ca	1.04	0.15	0.88	CaO	1.45	
11	9.14	0.30	1.23	T1O ₂	15.25	Fe	4.73	0.26	2.87	Fe ₂ O ₃	6.76	
Fe	2.82	0.23	1.91	Fe ₂ O ₃	4.03	Zr	2.56	0.57	0.95	ZrO_2	3.45	
Th	37.15	0.86	6.12	ThO ₂	42.68	Th	33.40	0.90	4.88	ThO ₂	38.00	
U	9.75	0.77	1.55	UO ₃	11.72	U	7.63	0.78	1.08	UO ₃	9.15	
Сумма	100		100		100	Сумма	100		100		100	
(л)						(e)						
			(~)					(.	-)			



Рис. 3. Ураноторит и монацит внутри псевдоморфоз по зернам измененного плагиоклаза в альбитизированных гранитах месторождения Антей: а, 6 – BSE-изображения, в, г – анализы состава, д, е – соответствующие ЭДС-спектры.

руде может достигать почти 1900 ppm, сравниваясь с промышленными содержаниями урана [12]. Авторы этой работы полагают, что уран-ториевая минерализация в альбититах представляет собой первую стадию рудообразующего процесса, взаимосвязанную с флюидами, отщепляющимися от гипотетического невскрытого глубинного интрузивного тела. Вторая основная рудная стадия представлена преимущественно настураном и сопровождается иллитовыми околорудными метасоматитами. Тем не менее убедительные доказательства более раннего, относительно иллитового метасоматоза, развития альбита не приводятся.

Несмотря на то что долгое время торий считался подвижным (в отличие от урана) только в высокотемпературной среде, исследования низкотемпературных рудных месторождений и поверхностных водных систем показали вероятность не только его переноса и перераспределения, но и накопления. Так, например, повышенные концентрации тория обнаружены во многих щелочных соленых озерах западных штатов США [19], где рН среды составляет 9.6–10 единиц, а общая кон-



Рис. 4. Спайдер-диаграмма распределения элементов в альбитизированных и слабоизмененных гранитоидах месторождения Антей (Стрельцовское рудное поле). Условные обозначения аналогичны рис. 2.

центрация карбонатов варьирует от 0.3 до 0.96 М. Повышенные содержания тория в рудах месторождений Сианшаньского рудного поля представляют один из примеров накопления этого элемента при низкотемпературном гидротермальном минералообразовании, в том числе за счет возможного смешения восходящих растворов и метеорных вод, проходящих сквозь толщу красноцветов [17].

В отношении способов переноса тория в низкотемпературных условиях известно, что его соединения (оксиды, силикаты и фосфаты тория) могут растворяться при обработке их солями щелочных металлов, например, Na₂CO₃ [3, 4, 19]. При этом в натровой щелочной среде образуются легкоподвижные комплексные соединения тетра- и пентакарбонатов тория с натрием: $Na_4[Th(CO_3)_4]$ или $Na_6[Th(CO_3)_5]$. Комплексные соединения тория с хлором, фтором, сульфатами гораздо менее устойчивы и образуются лишь в сильнокислых растворах. При полной диссоциации карбонатных комплексов тория, высвободившиеся карбонатные лиганды в дальнейшем могут взаимодействовать с двухвалентными катионами Ca, Fe, а также и с SiO₄, образуя торит или ураноторит, а также карбонаты (анкерит, сидерит), которые часто присутствуют совместно с альбитом в месторождениях Стрельцовского рудного поля. Источником тория в гидротермальных месторождениях урана, по-видимому, являлись сами вмещающие породы, содержащие акцессорные торийсодержащие минералы, из которых он вышелачивается при метасоматозе. Ввиду того. что вмещающие рудные тела гранитоиды месторождения Антей и вулканические породы месторождения Стрельцовское не принадлежат к категории высокоториеносных, то существенного накопления тория, аналогичного Сианшаньскому рудному полю, не происходит. Согласно нашим и литературным данным содержания тория в поро-

дах Стрельцовского рудного поля весьма изменчивы, зависят от их состава и варьируют примерно от 6 до 27 ррт (исключение составляют только ультракислые стекла и стекловатые риолиты верхней части разреза вулканической толщи, в которых тория может быть больше). Кислые вулканические породы, образующие Сианшаньское вулкано-купольное сооружение, более обогащены торием и его содержания в основном укладываются в интервал 25-28 ppm [5]. Обогащенность торием вулканических и экструзивных пород Сианшаня относительно средних содержаний в земной коре подчеркивается данными, приведенными в [12]. Возможно именно это обстоятельство и явилось причиной отчетливого проявления ториевой минерализации, в результате чего содержания тория местами приближаются к содержаниям урана. В пределах Стрельцовской кальдеры отсутствуют породы с высокими содержаниями Th, что, возможно, и послужило причиной слабого развития ториевой минерализации. На спайдер-диаграмме (рис. 4) привнос тория в альбититы выражен слабо в то время, как отчетливо заметны увеличения содержаний легких редких земель (La, Ce, Nd, Sm) и циркония.

Натровые высокощелочные растворы, появление которых может быть обусловлено как интенсивными предшествующими процессами кислотного выщелачивания, так и тектоническими причинами, вероятно, могут быть активными переносчиками не только легких РЗ, но также циркония и тория. Происхождение этих элементов скорее всего (в отличие от урана) более тесно связано с наличием их в акцессорных минералах вмещающих пород, т.е. с участками ближней миграции по аналогии с источниками ближней мобилизации урана [9].

Развитие ториевой минерализации, связанной с щелочной альбититовой стадией в гидротермальных урановых месторождениях, является своеобразным индикатором эволюции всего рудообразующего процесса на этих геологических объектах. Не исключено, что ториевая минерализация может быть обнаружена и на других урановых месторождениях в областях континентального вулканизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружение ураноторитовой минерализации в рудосопровождающих (синрудных) метасоматитах Стрельцовского рудного поля может указывать на определенную типоморфность этого процесса для урановых месторождений в областях континентального вулканизма. Наиболее контрастные проявления ториевой минерализации известны на урановых месторождениях Южного Китая (Сианшань) и, возможно, она может быть обнаружена и в других месторождениях урана жильного типа разных регионов и возрастов. Появлению альбитовых метасоматитов низкотемпературного (около 200°С) типа и миграции тория благоприятствуют условия повышенной щелочности и активности Na во флюиде. Этому способствуют явления сейсмотектоники, включая приоткрывание разломно-трещинных систем, резкий сброс давления (декомпрессия) и дегазация, которым предшествует и сопровождает интенсивное выщелачивание Na из вмещающих пород.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны О.А. Дойниковой за помощь в работе и полезную критику.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГЕМ РАН "Тектонодинамические обстановки и физико-химические условия формирования минеральных систем основных промышленно-генетических типов урановых месторождений".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Андреева О.В., Головин В.А. Метасоматические процессы на урановых месторождениях Тулукуевской кальдеры в Восточном Забайкалье (Россия) // Геология рудных месторождений. 1998. № 3. С. 205–220.
- 2. Барсуков Викт.Л., Погудина М.А., Рыжов О.Б. Наложение поздних альбититов на ореолы околорудной аргиллизации одного из уран-молибденовых месторождений // Доклады АН СССР. 1981. Т. 261. № 4. С. 953–956.
- 3. *Ермолаев Н.П., Гаранин А.В.* О низкотемпературной миграции тория в водных растворах // Геология рудных месторождений. 1978. № 3. С. 49–57.
- Каляцкая Г.В., Страшко А.Н. Химия и аналитическая химия урана и тория. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2011. 80 с.

- Лаверов Н.П., Величкин В.И., Власов Б.П., Алешин А.П., Петров В.А. Урановые и молибден-урановые месторождения в областях развития континентального внутрикорового магматизма. М.: ИФЗ РАН, ИГЕМ РАН, 2012. 320 с.
- 6. *Наумов Г.Б.* Миграция урана в гидротермальных растворах // Геология рудных месторождений. 1998. Т. 40. № 4. С. 307–325.
- 7. Петров В.А., Андреева О.В., Полуэктов В.В. Влияние петрофизических свойств и деформаций пород на вертикальную зональность метасоматитов в ураноносных вулканических структурах (на примере Стрельцовской кальдеры, Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2014. Т. 56. № 2. С. 95–117.
- 8. Покровский В.А. Экспериментальное исследование равновесия 1.5Аб + 0.5КСl + HCl = 0.5Мс + 3Кв + + 1.5NaCl при 300-500°С и давлении 1 кбар // До-клады АН СССР. 1982. Т. 262. № 2. С. 438-441.
- 9. *Пэк А.А., Мальковский В.И., Петров В.А.* Минеральная система урановых месторождений Стрельцовской кальдеры (Восточное Забайкалье) // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 1. С. 36–54.
- 10. Русинов В.Л., Русинова О.В., Кременецкий А.А. Природа натрового и борного метасоматоза в золоторудных месторождениях // ДАН. 1996. Т. 346. № 6. С. 804–807.
- 11. Сендеров Э.Э. Процессы упорядочения каркасных силикатов. М.: Наука. 1990. 208 с.
- Bonnetti C., Xiaodong L., Cuney M., Mercadier J., Riegler T., Chida Y. Evolution of the uranium mineralisation in the Zoujiashan deposit, Xiangshan ore field: Implications for the genesis of volcanic-related hydrothermal U deposits in South China // Ore Geology Reviews. 2020. V. 122. 103514.
- Browne P.R.L., Ellis A.J. The Ohaki-Broadlands hydrothermal Area, New Zealand: Mineralogy and related geochemistry // Amer. J. Sci. 1970. V. 269. P. 97–131.
- 14. Descriptive Uranium Deposit and Mineral System Models, Vienna: IAEA, 2020. 328 p.
- Fyfe W.S. Low-grade metamorphism: some thoughts on the present situation // Canad. Miner. 1974. V. 12. Iss. 7. P. 439–444.
- Geological Classification of Uranium Deposits and Description of Selected Examples. IAEA TECDOC-1842. IAEA, Vienna. 2018. 417 p.
- 17. *Guo Z., Li T., Deng M., Qu W.* Key factors controlling volcanic-related uranium mineralization in the Xiangshan Basin, Jiangxi Province, South China: A review // Ore Geology Reviews. 2020. V. 122. 103517.
- Hemley J.J., Jones W.R. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism // Econ. Geol. 1964. V. 64. P. 538–569.
- Östhols E., Bruno J., Grenthe I. On the influence of carbonate on mineral dissolution: III. The solubility of microcristalline ThO₂ in CO₂ H₂O media // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1994. V. 58. № 2. P. 613–623.
- Skirrow R.G., Jaireth S., Huston D.L., Bastrakov E.N., Schofield A., van der Wielen S.E., Barnicoat A.C. Uranium mineral systems: Processes, exploration criteria and a new deposit framework // Geoscience Australia Record. 2009/20, 2009. 44 p.

ALBITE METASOMATITES AND THORIUM MINERALIZATION IN URANIUM DEPOSITS OF VOLCANICD TYPE (ON THE EXAMPLE OF STRELTSOVSKA ORE FIELD, EAST TRANSBAIKALIA)

O. V. Andreeva^{*a*,#}, Corresponding Member of the RAS V. A. Petrov^{*a*,##}, and V. V. Poluektov^{*a*,###}

^aInstitute of Geology of Ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

#E-mail: akimolan@igem.ru
##E-mail: vlad243@igem.ru
###E-mail: vapol@igem.ru

The causes of metasomatic albitization of host rocks and the formation of accompanying Th mineralization in uranium deposits of the Streltsovska ore field are considered. Analysis of the obtained and literary data allows us to conclude that the process of hydrothermal albitization does not require additional Na gain with magmatogenic fluids. Its source may be the host rocks themselves, which are subjected to pre-ore acid leaching, and the source of Th was accessor minerals in the same rocks. The increase in the pH value required for the deposition of albite in low-temperature conditions is ensured by a sharp change in the physico-chemical situation due to seismic-tectonic impulses, accompanied opening the fracture-fault systems, the discharge of pressure (decompression) and degassing. The alkaline nature of the fluids that caused albitization is also emphasized by the behavior of rare and REE elements. The migration of Th in an alkaline environment probably occurred in the form of easily mobile tetra- or pentacarbonates of Th with Na: $Na_4[Th(CO_3)_4]$ or $Na_6[Th(CO_3)_5]$.

Keywords: pre-ore metasomatism, sin-ore albitization, acid leaching, uranothorite, accessor minerals, seismic-tectonic impulses, degassing