

**Th-U-Pb-ВОЗРАСТ ЗОЛОТОНОСНЫХ КАРБОНАТИТОПОДОБНЫХ
ПОРОД КАРАБАШСКОГО ГИПЕРБАЗИТОВОГО МАССИВА
(ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

В. В. Хиллер, Ю. В. Ерохин, К. С. Иванов

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Поступила в редакцию 31 августа 2016 г.

Аннотация: получены данные о возрасте золотоносных карбонатитоподобных пород, расположенных на Золотой горе, в окрестностях г. Карабаш (Южный Урал). В карбонатитоподобных породах установлены акцессорные минералы – монацит и торинит, и выполнено микрозондовое исследование их химического состава. Методом химического Th-U-Pb датирования определен возраст, в том числе с применением двухминеральной изохроны. Значение возраста составляет $317,3 \pm 3,0$ млн лет. Образование карбонатитоподобных пород Карабашского массива происходило в нижнедевонское время, а преобразование – в верхнем карбоне.

Ключевые слова: химическое датирование, торинит, монацит, Карабашский массив, Южный Урал.

Th-U-Pb DATING OF THE GOLD-BEARING ROCKS ARE SIMILAR TO CARBONATITES OF THE KARABASH ULTRABASIC MASSIF (SOUTHERN URALS)

Abstract: the gold-bearing rocks are similar to carbonatites were dated. They located on the Golden Mount, near the town of Karabash, Southern Urals. Monazite and thorianite are found in the gold-bearing rocks are similar to carbonatites and were analyzed on a microprobe. The age was calculated based on chemical Th-U-total Pb data. The two mineral isochrones yield an age of $317,3 \pm 3,0$ Ma. Education the gold-bearing rocks are similar to carbonatites of the Karabash massif occurred in the Lower Devonian and transformation – in the Upper Carboniferous.

Key words: chemical dating, thorianite, monazite, Karabash massif, Southern Urals.

Введение

Золотоносные карбонатные породы достаточно часто отмечаются в пределах Карабашского гипербазитового массива, основная часть которого расположена на восточной окраине одноименного города в Челябинской области. С данным массивом связано самое известное и уже отработанное месторождение медистого золота, приуроченное к дайкообразным телам родинитов [1, 2 и др.]. Карбонатные породы хоть и содержат золотое оруденение, но не отрабатывались в силу незначительных объемов. На настоящий момент эти породы понемногу разбираются любителями камня на коллекции, т.к. содержат видимую вкрапленность самородного золота размером до 1–2 мм.

Несмотря на небольшой объем карбонатных пород, по их генезису и возрасту ведется достаточно оживленная дискуссия. Одними исследователями предполагается чисто карбонатитовая природа этих пород [3, 4]. Другими учеными выражается промежуточная

(между карбонатитами и родингитами) [5] или карбонатитоподобная (преобразование или переплавление известняков (мраморов) с участием матрицы гипербазитов) [6] гипотезы образования карбонатных пород Карабашского массива. Имеющиеся геохронологические данные, полученные разными авторами для Карабашского массива, и в том числе для карбонатных пород, показывают несколько противоречивые результаты [7, 8, 9 и др.]. В настоящей работе мы приводим новые данные об условиях формирования и времени образования карбонатитоподобных пород Карабашского массива.

Объект исследования

Карабашский гипербазитовый массив, слагающий в современном рельефе горный хребет, протягивается в ССВ направлении (рис. 1). Массив сложен апогарцбургитовыми и аподунитовыми серпентинитами, в северной части отмечаются аполерцолитовые

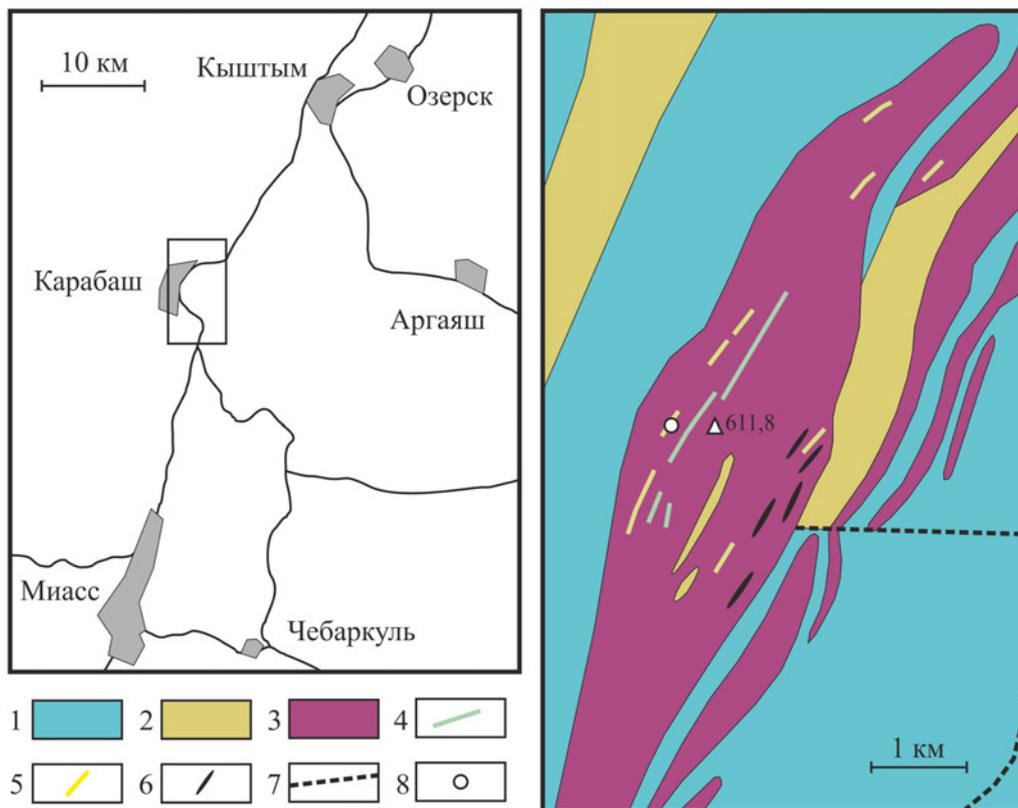


Рис. 1. Схема геологического строения Карабашиского массива (по [9]). Условные обозначения: 1 – кремнистые и кварц-серпичитовые сланцы, метавулканыты, средний ордовик; 2 – андезиты, базальты, сланцы кварц-серпичитовые, средний девон; 3 – серпентинизированные гипербазиты; 4 – рордингитовые жилы; 5 – карбонатитоподобные тела; 6 – кварц-рибекитовые породы; 7 – разломы; 8 – точка опробования на химическое датирование.

серпентиниты. Серпентиниты в основном антигоритовые, изредка встречаются хризотилитовые и лизардитовые разновидности. Массив содержит серию рордингитизированных даек и будинированные тела карбонатных и кварц-рибекитовых пород. Длина массива – 15 км, максимальная ширина – 3 км. С запада к нему примыкают девонские вулканогенно-осадочные породы – преимущественно мраморизованные известняки, метаморфизованные туфы базальтовых порфиритов, туфопесчаники, граувакковые песчаники и др., которые вмещают Карабашискую группу медноколчеданных месторождений. С востока развиты силуро-девонские породы – алевролиты, туфоалевролиты, кремнистые сланцы (часто углеродистые), базальтовые и андезитобазальтовые порфириты и др. [8, 10 и др.].

Наиболее крупное тело золотоносных карбонатитоподобных пород (или магнетит-хлорит-карбонатных метасоматитов, по [5]) расположено в западной гряде в юго-западной части Карабашиского гипербазитового массива, в 250 м западнее наивысшей точки Золотой горы (611,8 м). Привязка объекта, по данным GPS-навигатора, составляет: N – 55°27.702', E – 60°13.958', высота 572 м. В целом, тело имеет линзовидную форму протяженностью около 15–20 м и мощностью до 2 м. Вокруг расланцованных карбонатных пород отмечается хлоритовая оторочка разной мощности (от 40–50 см до 1,5 м), и они залегают среди тектонизированных антигоритовых сер-

пентинитов. Породы сильно расланцованы и сложены мелкозернистым агрегатом доломита с хлоритом в подчиненном количестве и участками реликтового (?) кальцита, а также акцессорными минералами: магнетитом, ильменитом, апатитом, цирконом, ториянитом, монацитом, самородным золотом и другими [5].

Метод исследования

Количественный анализ химического состава минералов выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе CAMECA SX 100 (ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Условия измерения: ускоряющее напряжение 15 кВ, сила тока 250 нА, диаметр пучка электронов 2 мкм. Время измерения интенсивности на пике для Th, U и Pb в торияните по 60 с, в монаците по 240 с, соответственно, для Y и Si по 20 с, для остальных элементов 10 с; на фоне – в два раза меньше. Стандартные образцы: ThO₂, UO₂, Pb₂P₂O₇, диопсид, циркон, синтетические фосфаты РЗЭ. Пределы обнаружения Th, U и Pb в торияните составили около 330, 250 и 160 г/т, в монаците – 290, 110 и 125 г/т, соответственно. Среднее значение содержания по 9 точкам анализа ториянита: Th = 59,75 мас. %, U = 29,34 мас. %, Pb = 2,04 мас. %, по 9 точкам анализа монацита: Th = 1,51 мас. %, U = 0,01 мас. %, Pb = 0,02 мас. %. Теоретическое и практическое обоснование метода химического датирования с помощью рентгеноспектрального микрозондового анализа приведено в мно-

гочисленных публикациях по данной теме [11–13 и мн. др.], в том числе и нами [14, 15 и др.]. Основное условие данного метода: в процессе эволюции минерал не терял радиогенный свинец (т.е. Th-U-Pb система была закрытой), весь свинец в минерале образован за счет распада тория и урана.

Результаты химического датирования

Торианит наблюдается среди карбонатной матрицы в виде мелких зерен, размером до 10–15 мкм (рис. 2). Он образует изометричные, реже слабо удлиненные индивиды квадратного или прямоугольного сечения. Никаких следов зональности или вторичных изменений в торианите не наблюдается. Без анализатора индивиды полупрозрачны и имеют коричневатую окраску. Торианит не контактирует с другими акцессорными минералами и не образует в них включений. Полученные составы минерала приведены в таблице 1. Торианит характеризуется высокими содержаниями урана (UO_2 варьирует от 26,5 до 31,0 мас. %), кальция (CaO до 2,5 мас. %), свинца (PbO до 2,1 мас. %), церия (Ce_2O_3 до 2 мас. %) и неодима (Nd_2O_3 до 2 мас. %). Кроме того, наблюдаются небольшие примеси редкоземельных элементов и крем-

ния. В целом, химический состав торианита практически одинаков в разных зернах и может быть отнесен к урансодержащей разновидности. Рассчитанный химический возраст торианита изохронным методом (по [16]) составляет $317,2 \pm 10,8$ млн лет, СКВО = 0,73.

Монацит также распылен по всей матрице карбонатной породы и слагает более крупные зерна, размером до 1 мм, часто в ассоциации с цирконом (рис. 2). Форма зерен близка к идиоморфной, но со следами коррозии или растворения (?). В отдельных случаях вокруг индивидов монацита отмечается тонкая кайма, сложенная апатитом. По химическому составу монацит (см. табл. 2) относится к цериевой разновидности и характеризуется невысоким содержанием тория (ThO_2 до 3,4 мас. %), а также небольшими примесями кремния и кальция. Каких-либо вторичных изменений в монаците не установлено (сумма анализов близка к 100 мас. %), несмотря на следы коррозии. Рассчитанный химический возраст монацита изохронным методом (по [16]) составляет $307,3 \pm 56,3$ млн лет, СКВО = 0,10, вероятность соответствия = 0,99. Большая погрешность обусловлена низкими содержаниями свинца в монаците, граничащими с аналитической погрешностью определения элемента.

Таблица 1

Химический состав (в мас. %) торианита

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ThO ₂	58,51	59,01	58,33	58,67	58,44	58,94	59,02	63,71	63,16
UO ₂	29,90	28,30	30,97	29,93	30,64	28,54	30,29	26,47	29,02
ZrO ₂	0,19	0,21	0,19	0,18	0,22	0,18	0,23	0,13	0,09
SiO ₂	1,17	1,74	0,80	1,08	1,00	1,64	0,12	0,29	0,31
Ce ₂ O ₃	1,90	1,93	1,98	1,98	2,04	1,99	1,99	1,53	1,67
Y ₂ O ₃	0,28	0,25	0,26	0,26	0,26	0,29	0,34	0,16	0,12
Nd ₂ O ₃	1,53	1,73	1,61	1,63	1,73	1,63	1,59	1,92	2,07
La ₂ O ₃	0,20	0,14	0,23	0,19	0,22	0,28	0,15	0,16	0,14
Pr ₂ O ₃	0,36	0,42	0,26	0,36	0,40	0,28	0,22	0,26	0,27
PbO	2,07	2,04	2,13	2,12	2,09	2,02	1,98	1,89	2,01
FeO	0,70	1,03	0,47	0,68	0,65	0,94	0,27	0,04	0,07
CaO	2,21	2,16	2,04	2,25	2,10	2,22	2,23	2,49	2,06
Сумма	99,02	98,96	99,27	99,33	99,77	98,94	98,42	99,07	100,98

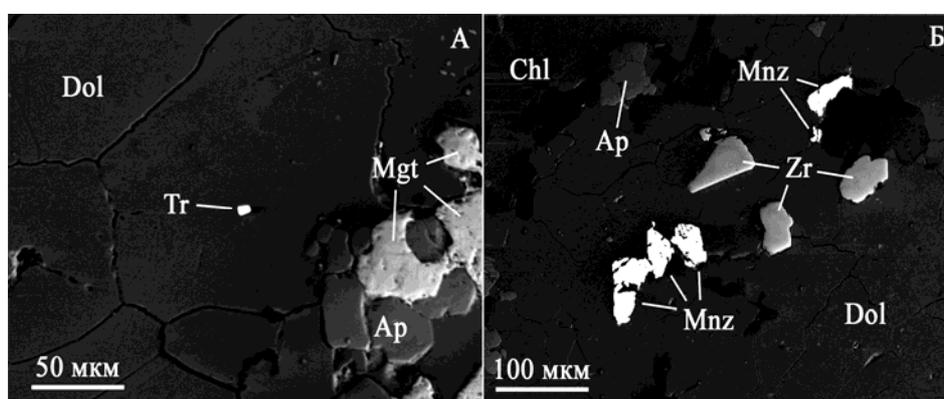


Рис. 2. Акцессорная минерализация в матрице карбонатитоподобных пород Карабашского массива. А – включения торианита (Tr), магнетита (Mgt) и апатита (Ap) в агрегате доломита (Dol); Б – зерна монацита (Mnz), циркона (Zr), апатита (Ap) в агрегате доломита (Dol) с хлоритом (Chl). BSE-изображение, CAMECA SX 100.

Таблица 2

Химический состав (в мас. %) монацита

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₂ O ₅	29,46	29,05	29,69	29,55	28,50	28,96	27,92	29,64	30,36
SiO ₂	0,21	0,19	0,18	0,11	0,46	0,22	0,24	0,06	0,07
ThO ₂	1,70	1,40	1,63	0,95	3,42	1,45	1,49	0,72	0,82
UO ₂	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
La ₂ O ₃	22,62	14,85	15,49	19,71	19,28	13,97	17,77	19,05	17,15
Ce ₂ O ₃	32,58	32,03	31,89	34,27	31,89	31,93	34,21	35,51	33,02
Pr ₂ O ₃	3,30	3,72	3,84	3,25	2,94	3,98	3,50	3,11	3,49
Nd ₂ O ₃	7,67	15,82	15,81	10,88	10,73	16,22	12,55	9,96	13,86
Sm ₂ O ₃	0,05	0,87	0,73	0,00	0,51	0,65	0,05	0,03	0,49
Eu ₂ O ₃	0,67	1,05	1,18	0,90	0,91	1,11	0,91	0,77	1,01
Y ₂ O ₃	0,49	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00
PbO	0,02	0,02	0,02	0,01	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01
CaO	0,98	0,10	0,43	0,21	0,36	0,15	0,29	0,38	0,29
Сумма	99,75	99,11	100,90	99,85	99,19	98,67	98,96	99,24	100,57

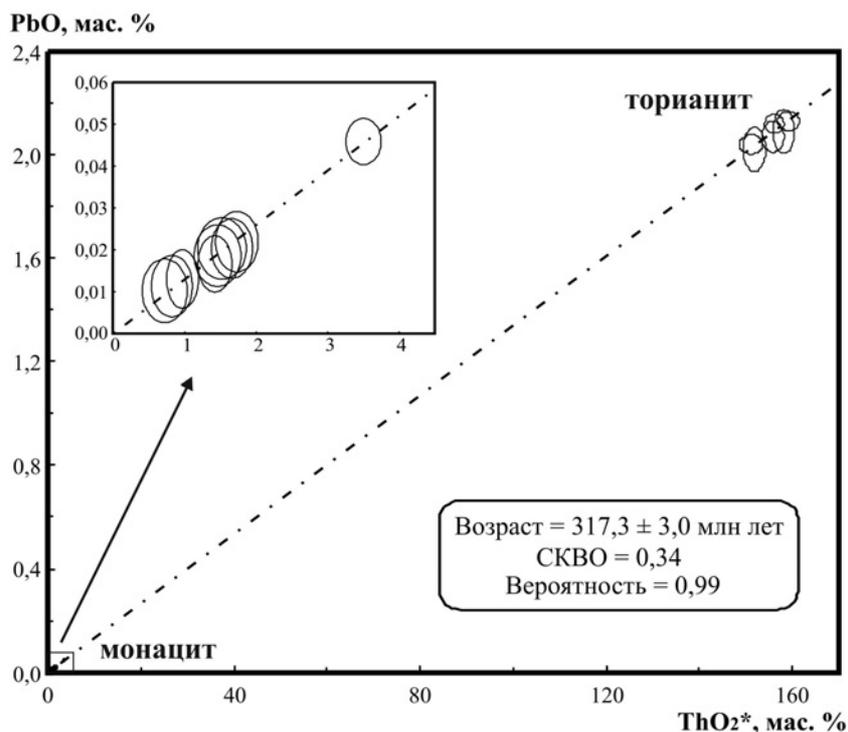


Рис. 3. Изохрона PbO-ThO₂* по результатам анализов ториянита и монацита. ThO₂* = (ThO₂+UO₂^{3KB}), где UO₂^{3KB} – содержание урана, пересчитанное в эквивалентное содержание тория, способное произвести то же количество Pb за время жизни системы при равенстве U-Pb и Th-Pb значений возраста.

При построении общей зависимости PbO-ThO₂* по совокупности точек анализа, ториянит и монацит попадают на одну прямую (или изохрону по [16]), что говорит об их одновременном образовании.

Расчёт возраста даёт датировку 317,3±3,0 млн лет, СКВО = 0,34, вероятность соответствия = 0,99 (рис. 3). При этом изохрона пересекает начало координат, что говорит об отсутствии привноса или выноса свинца в процессе эволюции данных минералов.

Обсуждение результатов

Полученный возраст несколько контрастирует с прежними датировками для карбонатных пород Кара-

башского массива. Так, в 2009 году нами было проведено химическое микрозондовое датирование ториянита и получен возраст 352±11 млн лет [17]. Немного позднее оказалось, что стандарт металлического тория, использованный для микрозондового анализа, был неоднородным и для химического датирования не годился. При этом некорректный возраст ториянита (352,1±11,2 млн лет) успел перекочевать в статью по методологии химического датирования [7]. Интересно, что в монографию от 2011 года этих же авторов вошел уже перемеренный и более "правильный" возраст ториянита – 317,1±8,4 млн лет [18], который мы получили при использовании нового качественного стандарта, а результаты опубликовали в виде тезисов [19].

Одновременно наши коллеги по ИГГ УрО РАН тоже стали заниматься геохронологией пород Золотой горы. Сначала они определили Sm-Nd возраст золотоносных родингитов как 368 ± 12 млн лет [20 и др.], позже датировка была уточнена – $369,4 \pm 8,8$ млн лет [8, 21 и др.]. При этом авторами, в том числе и на основании близости к возрасту торинита (352 млн лет), был сделан вывод об одновременном образовании родингитов и карбонатных пород Карабашского массива. Позднее они получили изотопный возраст монацита из карбонатных пород ($317,3 \pm 3,3$ млн лет) [22], который практически совпал с нашими результатами. На этот раз авторы сделали вывод о временном разрыве между образованием родингитов и карбонатных пород Золотой горы.

Еще более усложнилась геохронологическая история Карабашского массива в результате исследований других коллег из ИГГ УрО РАН. С помощью U-Pb метода (SHRIMP, цирконы) они предположили, что возраст гипербазитов Карабашского массива лежит в пределах 1720-1740 млн лет, а минимальный возраст их субстрата около 1830 млн лет, возраст образования родингитов ($438,5 \pm 15$ млн лет) и хлорит-карбонатных пород ($404,4 \pm 8,8$ млн лет), а также заключительный этап их преобразования в пределах 310-315 млн лет [9]. Причем в родингитах и карбонатных породах установлено обилие докембрийских цирконов, которые авторами объясняются как "влияние" гипербазитового материала. Отметим, что докембрийские датировки гипербазитов вступают в противоречие со всем накопленным объемом данных по геологии и истории развития Урала [23 и др.], который является палеозойским складчатым поясом. Если считать гипербазиты частью офиолитовой триады, то косвенно об их возрасте будет свидетельствовать возраст толеитовых базальтов. Большинство их на Урале имеет среднеордовикский и среднедевонский возраст. Поэтому можно с большой долей уверенности предполагать, что докембрийские датировки цирконов в гипербазитах Урала, либо относятся к возможной мантийной предистории этих пород, либо (что вероятнее) являются ксеногенными.

Таким образом, обобщая приведенные нами в настоящей статье и опубликованные ранее геохронологические данные, можно предположить, что карбонатные тела оказались в гипербазитовой матрице в нижнедевонское время ($404,4 \pm 8,8$ млн лет), вероятнее всего, из вмещающих известняков девонских вулканогенно-осадочных толщ. Преобразование карбонатных пород происходило в позднекарбовое время ($317,3 \pm 3,0$ млн лет) и, возможно, связано с метаморфизмом во время коллизии (360-320 млн лет) всего Сысертско-Ильменогорского блока [24 и др.].

Образование карбонатитоподобных пород Золотой горы обусловлено попаданием известняков (или уже мраморов) в зону серпентинитового меланжа. В результате изотопная система карбонатной (кальцитовой) породы смещается в сторону мантийных меток, так как она подвергается доломитизации под действием водного флюида серпентинитов. Мраморы юго-

западного обрамления Карабашского гипербазитового массива, чередующиеся с серпентинитами, имеют смещенные изотопные метки ($\delta^{13}\text{C} = 1,7-2,3$; $\delta^{18}\text{O} = 18,1-18,5$), хотя содержат органические остатки и должны были бы иметь изотопные соотношения, характерные для осадочных карбонатных пород. При этом состав мраморов существенно кальцитовый, и они не подверглись интенсивным деформациям. Тела карбонатитоподобных пород, наоборот, сильно рассланцованы, доломитизированы, сохраняют реликты кальцита, отделяются от вмещающих пород хлоритовой оторочкой и имеют еще более смещенные изотопные метки ($\delta^{13}\text{C} = -2,3$; $\delta^{18}\text{O} = 11,1$). Именно данные по изотопии углерода и кислорода не позволяют относить эти тела к нормальным карбонатам. При наличии богатой минерализации золота и редких металлов связывается нами с поздними гидротермальными процессами, так как карбонатные тела среди серпентинитов являются геохимическими барьерами.

В результате проведенных исследований можно утверждать, что при смешении карбонатного материала с гипербазитами (при условии флюидной проработки или при переплавлении) изотопные метки осадочных карбонатов сильно смещаются в сторону таковых в карбонатах. Подобное поведение карбонатного вещества было изучено нами на примере образования карбонатитов Урала [25], которые достаточно резко отличаются от классических карбонатитов древних платформ.

Выводы

По результатам химического датирования торий-содержащих минералов из золотоносных карбонатитоподобных пород Карабашского гипербазитового массива установлен их верхнекарбовый ($317,3 \pm 3,0$ млн лет) возраст. Можно утверждать, что полученная оценка возраста отражает их перекристаллизацию и рост при метаморфизме, связанного с коллизией стадией развития Сысертско-Ильменогорского блока, а образование карбонатитоподобных пород происходило в нижнем девоне.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (№ 16-17-10201).

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов, Э. М. Месторождение медистого золота (О "золото-родингитовой" формации) / Э. М. Спиридонов, П. А. Плетнев. – М.: Научный мир, 2002. – 220 с.
2. Спиридонов, Э. М. Родингиты Золотой горы Карабашского массива (Урал) / Э. М. Спиридонов, П. А. Плетнев, Е. В. Перельгина // Уральский геологический журнал, 2002. – № 6 (30). – С. 33–90.
3. Белогуб, Е. В. Карабашский рудный район (Южный Урал) / Е. В. Белогуб, В. Н. Удачин, Г. Г. Кораблев. – Путеводитель геолого-экологической экскурсии. – Миасс: ИМин УрО РАН. – 2003. – 40 с.
4. Попов, В. А. Золото и серебро в карбонатитах Урала / В. А. Попов // Уральская минералогическая школа-2012. Сборник статей XVIII Всероссийской научной конференции. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. – С. 129–133.

5. Мурзин, В. В. Минералого-геохимические особенности золото-редкометалльно-редкоземельной минерализации хлорит-карбонатных пород Карабашского массива гипербазитов (Южный Урал) / В. В. Мурзин, Д. А. Варламов, В. А. Попов, Ю. В. Ерохин, Е. В. Рахов // Уральский минералогический сборник. – Миасс: ИМин УрО РАН. – 2005. – № 13. – С. 123–145.
6. Иванов, К. С. Роль субдукции в образовании карбонатитов линейных складчатых систем (на примере Ильмено-Вишневогорского комплекса Урала) / К. С. Иванов, Ю. В. Ерохин, О. Э. Погромская // Вестник Института геологии КомиНЦ УрО РАН. – 2011. – № 10. – С. 2–6.
7. Вотяков, С. Л. Химическое электронно-зондовое датирование минералов-концентраторов радиоактивных элементов: методические аспекты / С. Л. Вотяков, В. В. Хиллер, Ю. В. Щапова, А. В. Поротников // Литосфера, 2010. – № 4. – С. 94–115.
8. Мурзин, В. В. Происхождение золотоносных родингитов Карабашского массива альпинотипных гипербазитов на Южном Урале / В. В. Мурзин, Д. А. Варламов, Ю. Л. Ронкин, С. Н. Шанина // Геология рудных месторождений, 2013. – Т. 55(4). – С. 320–341.
9. Краснобаев, А. А. Возрастные и генетические взаимоотношения гипербазитов, родингитов и хлорит-карбонатных пород Карабашского массива (Южный Урал) / А. А. Краснобаев, П. М. Вализер // Литосфера, 2016. – № 3. – С. 112–125.
10. Серавкин, И. Б. Главный Уральский разлом на Южном Урале: Структура и основные этапы формирования / И. Б. Серавкин, С. Е. Знаменский, А. М. Косарев // Геотектоника, 2003. – № 3. – С. 42–64.
11. Montel, J.-M. Electron microprobe dating of monazite / J.-M. Montel, S. Foret, M. Veschambre, C. Nicollet, A. Provost // Chem. Geol., 1996. – V. 131. – P. 37–53.
12. Suzuki, K. CHIME dating of monazite, xenotime, zircon and polycrase: Protocol, pitfalls and chemical criterion of possibly discordant age data / K. Suzuki, T. Kato // Gondwana Research. – 2008. – V. 14. – P. 569–586.
13. Naemura, K. Age determination of thorianite in phlogopite-bearing spinel-garnet peridotite in the Gfohl Unit, Moldanubian Zone of the Bohemian Massif / K. Naemura, K. Yokoyama, T. Hirajima, M. Svojtka // Jour. Mineral. Petrol. Sciences. – 2008. – V. 103. – P. 285–290.
14. Хиллер, В. В. Состав, кристаллохимия, эволюция U-Th-Pb-системы ряда минералов-геохронометров по данным экспериментального исследования и компьютерного моделирования: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. / В. В. Хиллер. – Екатеринбург. – 2010. – 23 с.
15. Малич, К. Н. Результаты датирования ториянита и бадделита карбонатитов Гулинского массива (Россия) / К. Н. Малич, В. В. Хиллер, И. Ю. Баданина, Е. А. Белоусова // Доклады АН. – 2015. – Т. 464(4). – С. 464–467.
16. Suzuki, K. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami terrain, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon and xenotime / K. Suzuki, M. Adachi // Geochem. Jour., 1991. – V. 25. – P. 357–376.
17. Ерохин, Ю. В. Торьянит из золотоносных карбонатных пород Карабашского гипербазитового массива / Ю. В. Ерохин, В. В. Хиллер // Уральская минералогическая школа – 2009. Под знаком халькофильных элементов. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. – 2009. – С. 98–100.
18. Вотяков, С. Л. Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в ряде U-Th-содержащих минералов как основа для их химического микрозондового датирования / С. Л. Вотяков, Ю. В. Щапова, В. В. Хиллер. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. – 2011. – 340 с.
19. Ерохин, Ю. В. Карбонатитоподобные породы Карабашского гипербазитового массива (возраст и генезис): материалы международной конференции «Современное состояние наук о Земле» / Ю. В. Ерохин, К. С. Иванов, В. В. Хиллер. – М.: Изд-во Геолфак МГУ. – 2011. – С. 631–633.
20. Мурзин, В. В. Типы золотого оруденения в альпинотипных гипербазитах Урала и проблемы их генезиса / В. В. Мурзин // Металлогения древних и современных океанов. – Миасс: ИМин УрО РАН. – 2009. – С. 119–123.
21. Мурзин, В. В. О возможном генетическом единстве золотоносных родингитов (хлограпитов) и хлорит-карбонатных карбонатитоподобных пород в Карабашском массиве гипербазитов на Южном Урале / В. В. Мурзин // Металлогения древних и современных океанов. – Миасс: ИМин УрО РАН. – 2013. – С. 165–169.
22. Ронкин, Ю. Л. Возрастные рубежи формирования золотоносных хлорит-гранат-пироксеновых (родингитов) и магнетит-хлорит-карбонатных пород в Карабашском массиве гипербазитов на Южном Урале / Ю. Л. Ронкин, В. В. Мурзин, А. Гердес // Изотопное датирование геологических процессов: новые результаты, подходы и перспективы. – Санкт-Петербург: ИГГД РАН. – 2015. – С. 228–230.
23. Иванов, С. Н. Формирование земной коры Урала / С. Н. Иванов, В. Н. Пучков, К. С. Иванов, Г. И. Самаркин, И. В. Семенов, А. И. Пумпянский, А. М. Дымкин, Ю. А. Полтавец, А. И. Русин, А. А. Краснобаев. – М.: Наука. – 1986. – 248 с.
24. Ehtler, H. P. The tectono-metamorphic evolution of gneiss complexes in the Middle Urals, Russia: a reappraisal / H. P. Ehtler, K. S. Ivanov, Yu. L. Ronkin, L. A. Karsten, R. Hetzel, A. G. Noskov // Tectonophysics, 1997. – V. 276. – P. 229–251.
25. Иванов, К. С. О генезисе карбонатитов складчатых поясов (на примере Урала) / К. С. Иванов, П. М. Вализер, Ю. В. Ерохин, О. Э. Погромская // Доклады АН. – 2010. – Т. 435(2). – С. 218–222.

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

*Хиллер Вера Витальевна, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: hilvervit@mail.ru; Tel.: 8 (908) 917-42-31.*

*Ерохин Юрий Викторович, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: erokhin-yu@yandex.ru; Tel.: 8 (950) 194-27-52*

*Иванов Кирилл Святославич, зав. лаб. Региональной геологии и геотектоники, доктор геолого-минералогических наук
E-mail: ivanovks@igg.uran.ru; Tel.: 8 (343) 287-90-53*

Institute of Geology and Geochemistry, RAS Ural Branch, Yekaterinburg

*Khiller V. V., senior research worker, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: hilvervit@mail.ru; Tel.: 8-908-9174231*

*Erokhin Yu.V., leading research worker, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: erokhin-yu@yandex.ru; Tel.: 8 (950) 194-27-52*

*Ivanov K. S., Head of the Laboratory of Regional Geology and, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
E-mail: ivanovks@igg.uran.ru; Tel.: 8 (343) 287-90-53*