

УДК 551.2 551.22 551.26 550.4.02

## ЭКТАЗИЙСКИЙ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -ВОЗРАСТ ФЛОГОПИТА ИЗ АПОПИКРИТОВЫХ МЕТАСОМАТИТОВ В СТРУКТУРЕ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

© 2024 г. А. В. Рязанцев<sup>1</sup>, Б. Д. Левкова<sup>1</sup>, А. В. Травин<sup>2</sup>

Представлено академиком РАН К.Е. Дегтяревым 17.05.2024 г.

Поступило 17.05.2024 г.

После доработки 29.07.2024 г.

Принято к публикации 31.07.24 г.

В центральной части Башкирского мегантиклинория распространены тела интрузивных пород основного состава низкотитанистого (LTi) типа ( $< 1$  вес. %  $\text{TiO}_2$ ), которые представлены пикритами, пикродолеритами и метасоматическими апопикритовыми породами. По пикритам образованы карбонат-тальковые и хлорит-кварцевые с флогопитом, кальцитом и доломитом породы. Из метасоматитов выделен флогопит. По результатам  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований флогопита получено плато с возрастом  $1356 \pm 16$  млн лет. Пикриты предположительно претерпели метасоматоз, связанный с ранними послемагматическими процессами и метасоматоз не оторван по времени от внедрения пикритов. Близкие значения возраста известны для ряда интрузивных тел на севере Башкирского мегантиклинория, относящихся к HTi-типу. Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что интрузии с породами LTi- и HTi-типа формировались синхронно, по крайней мере, на поздней стадии мезопротерозойской магматической активности.

**Ключевые слова:** Южный Урал, метасоматизм, магматический протолит, рифей, эктазий, мезопротерозой, пикриты, плюмы,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст флогопита

**DOI:** 10.31857/S2686739724120018

### ВВЕДЕНИЕ

В структуре Башкирского мегантиклинория (БМА) (рис. 1) проявления внутриплитного рифейского магматизма приурочены к основанию ниже- и среднерифейских толщ, а также находятся внутри разреза верхнего рифея [3, 4, 7, 10, 15].

Наиболее полно изучены среднерифейские комплексы, к которым относятся вулканиты кислого и основного состава, базитовые дайки, гранитоидные массивы. Проявления этого магматизма рассматриваются, как “машакское магматическое событие”, связанное с внутриконтинентальной плюмовой активностью [9, 10, 11, 13–15, 17, 18].

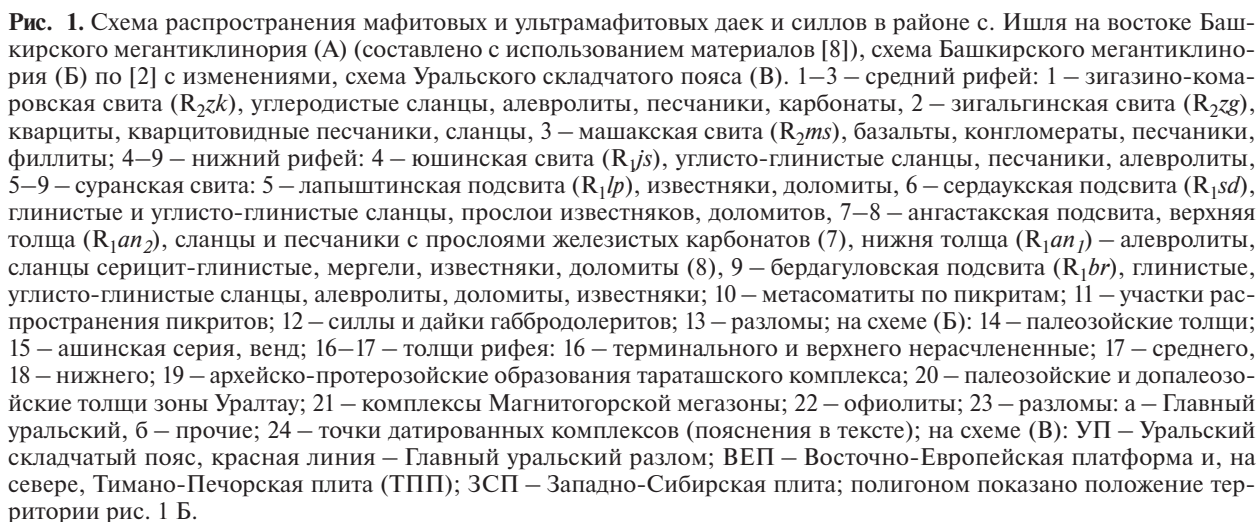
Базиты, относящиеся к “машакскому событию”, которые, в основном, слагают силлы и дайки, представлены двумя петрохимическими

типами — высокотитанистыми (HTi-тип) и низкотитанистыми (LTi-тип), формирование которых связывается с различными мантийными источниками [9]. Многочисленные изотопные датировки получены для HTi-базитовых интрузий в интервале  $1385 \pm 1.4$ – $1349 \pm 11$  млн лет [9–11, 13, 15, 18]. Единственная Sm–Nd-датировка со значением возраста  $1291 \pm 67$  млн лет получена для LTi-ишлинских пикритов [9, 12]. В связи со значительным отличием этих датировок была обозначена необходимость проведения дополнительных изотопно-геохронологических исследований LTi-базитов для достоверной оценки существования временного разрыва между внедрением LTi- и HTi-пород [9].

На востоке БМА, в районе села Ишля, на площади распространения нижнерифейской (калимийской) суранской свиты устанавливаются тела пикритов, пикродолеритов и габбродолеритов (см. рис. 1 А). Все породы относятся к LTi-типу. В обрыве на р. Сюрюзяк обнаружено межпластовое тело метасоматически измененных LTi-метабазитовых пород, обогащенных тальком и флогопитом. Задачами проведенных исследований является установление состава

<sup>1</sup>Геологический институт Российской Академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия



метасоматических пород, сравнение его с составом ассоциирующих пикритов и габбродолеритов, для получения данных о протолите метасоматитов, установление возраста метасоматитов и их связи с мезопротерозойским магматизмом.

Исследование минерального состава базитов и метабазитов проводилось с помощью СЭМ TESCAN VEGA3 LMN в Геологическом институте (ГИН РАН) и TESCAN MIRA LMS в Институте физики Земли РАН. Определения содержаний главных элементов в породах выполнены рентгено-флуоресцентным методом в ГИН РАН. Содержания редких элементов в породах определены методом ICP-MS в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Абсолютный возраст по слюдам определен  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -методом датирования в ИГМ СО РАН путём ступенчатого нагрева образца и поэтапным анализом изотопного состава выделенного аргона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

*Структурное положение тел интрузивных пород.* Суранская свита нижнего рифея сложена углеродисто-карбонатными, карбонатно-углеродистыми филлитами и карбонатными породами. Верхняя часть разреза свиты в районе с. Ишля (см. рис. 1) слагает относительно ненарушенное крыло синклинали (азимут падения СЗ 295,  $\angle 30^\circ$ ). Интрузивные базиты, распространённые в этом районе, относятся к юшинскому, лапыштинскому, или ишлинскому комплексам [2, 4, 8, 9]. Мы называем комплекс ишлинским. Интрузивные породы слагают силлы, или тела неясного структурного положения на плохообнаженных залесенных участках. В обрывах на правом берегу р. Сюрюнзяк обнажается межпластовое тело метасоматических пород мощностью 0.8–0.9 м. Оно залегает среди углеродистых филлитовых сланцев и известковых углеродистых алевролитов сердаукской подсвиты суранской свиты и протягивается в обнажении на 400 м. В 30 м структурно выше тела метасоматитов среди углеродистых пород залегает силл габбродолеритов. Южнее, на окраине с. Ишля, в лесу распространены выходы нескольких линейных тел габброидов. Здесь же распространены пикриты, которые описаны в работе [9, 12]. Нами установлено, что пикриты слагают автолиты шаровидной и караваеобразной формы размером от первых сантиметров до 1.5 м. Автолиты пикритов

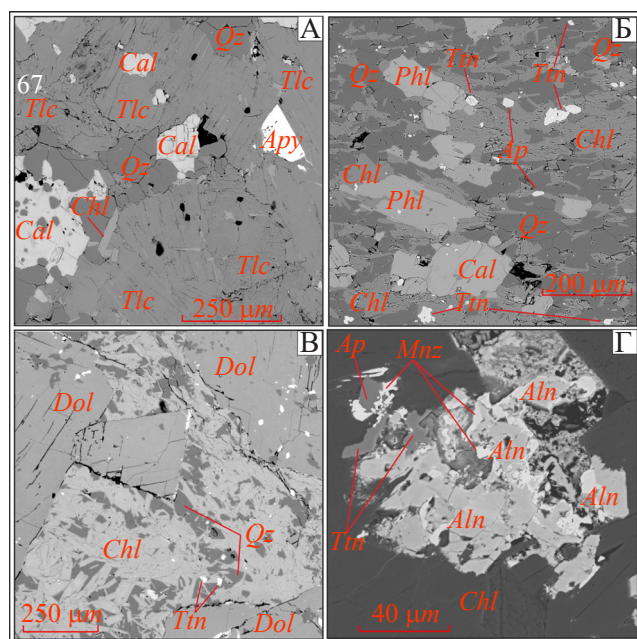
располагаются в коре выветривания по габбродолеритам, а ниже по склону образуют коллювиальные развалы, залегающие на кварцито-сланцах суранской свиты.

*Петрографическое описание.* Дополняя описание базитов низкотитанистого типа [9], распространённых в районе с. Ишля, можно отметить, что пикриты, слагающие автолиты в габбродолеритах, имеют порфировидные структуры, неравномерно-зернистые, с идиоморфными и субидиоморфными кристаллами оливина (20–40 об. %) и клинопироксенов (40–60 об. %). Содержание ксеноморфных зерен плагиоклаза (лабрадора) – до 10–15 об. %. Второстепенные минералы – флогопит, Mg-биотит и роговая обманка. Акцессорные минералы – апатит, ильменит, титаномagnetит, magnetит, хромшпинелиды. Кроме того, присутствуют пирит, халькопирит, никелин. В крупных нодулях пирита наблюдаются включения кристаллических сростков чвилеаита ( $\text{Na}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})_2\text{S}_4$ ), хенглейнита ( $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})\text{S}_2$ ). Отмечаются торит, Sc-содержащие ториевые минералы [4].

Долериты и габбродолериты имеют офитовую, пойкилитовую и габбро-офитовую структуры. Главные минералы – авгит и плагиоклаз, среди второстепенных минералов – биотит, амфибол. Кварц и калиевый полевой шпат образуют мелкие (2–3 мм) скопления гранофирового агрегата. Среди акцессорных минералов присутствуют титанит, апатит, magnetит, титаномagnetит, ильменит [9]. В силле габбродолеритов на р. Сюрюнзяк локально, вблизи эндоконтактов проявлены вторичные изменения. В измененных разностях, в которых сохранился первичный клинопироксен ( $\text{Enst}_{53-57}\text{Fs}_{17-20}\text{Wo}_{27}$ ), основной объем занимает хлорит, в меньшей степени – альбит, эпидот, кварц. Полностью преобразованные габбродолериты имеют порфиробластовую структуру. Пофиробласты представлены аннитом ( $\text{Phl}_{29-49}$ ,  $\text{Ann}_{17-21}$ ,  $\text{Sid}_{34-20}$ ,  $\text{Eas}_{20-9}$ ), Fe- и Fe-Mg-роговой обманкой, гастингситом, кальцитом. В основной массе преобладают хлорит, альбит ( $\text{Alb}_{95-97}$ ,  $\text{An}_{5-3}$ ), эпидот, алланит, актинолит, мусковит ( $\text{Sid}_{29-32}$ ,  $\text{Eas}_{68-71}$ ), редко – кварц. Акцессорные – титанит, magnetит, титаномagnetит.

Занимающее нижнее структурное положение тело метасоматитов на р. Сюрюнзяк имеет непостоянный состав по мощности и по простиранию. В средней части тела метасоматитов (0.5 м) преобладает тальковый агрегат, с включениями кварца, в котором размещаются порфиробласты кальцита (рис. 2 А). В кровле и в подошве около 0.2 м залегают породы с порфиробластами





**Рис. 2.** BSE СЭМ-изображения участков шлифов апопикритовых метасоматитов. А – проба 2283/2, Б – проба 2283/1, В – проба 2298; Г – проба B2338. Аббревиатуры минералов по [19]: Qz – кварц, Bt – биотит, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Ttn – титанит, Ap – апатит, Tlc – тальк, Apy – арсенопирит, Dol – доломит, Aln – алланит, Mnz – монацит.

флогопита ( $Phl_{18-21}$ ,  $Ann_{50-54}$ ,  $Sid_{7-9}$ ,  $Eas_{18-24}$ ), погруженными в кварц-хлоритовый агрегат (рис. 2 Б). Содержание порфиробластов флогопита в породе до 8 об. %. По простиранию в породе в отдельных линзах в кварц-хлоритовом матриксе преобладают порфиробласты доломита (рис. 2 В). Акцессорные минералы во всех разностях представлены титанитом, апатитом, рутилом, хром-шпинелью. Кроме того, присутствуют арсенопирит, пирит, халькопирит, никелин. В отдельных образцах установлены порфиробласты алланита с каймами монацита (рис. 2 Г).

Вмещающие породы на экзоконтакте с телом метасоматитов локально несут признаки метасоматических преобразований на мощности первые сантиметры. При этом в алевролитах с карбонатным цементом наблюдаются крупные – до 0,5 см порфиробласты хлорита.

**Петролого-геохимические особенности.** Содержания петрогенных окислов, редких и рассеянных элементов в породах ишлинского комплекса приведены в табл. 1.

Пикриты и пикродолериты относятся к толеитовой серии. На диаграмме TAS фигуративные точки пикритов и пикродолеритов, габбродолеритов располагаются в поле базальтов,

**Таблица 1.** Содержания петрогенных окислов (вес. %), редких и рассеянных элементов (г/т) в породах ишлинского комплекса

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	39.58	40.87	34.05	42.73	42.92	45.06	45.75	46.51	45.93	46.94	41.92	49.30
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.57	0.36	0.53	0.42	0.40	0.45	0.48	0.44	0.45	0.38	0.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.46	11.72	7.83	11.71	12.94	7.47	10.01	10.23	9.78	10.82	10.24	12.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	1.71	4.16	2.54	2.57	6.55	3.29	3.45	4.78	3.48	4.43	2.06
FeO	5.96	6.53	5.12	6.58	6.13	7.35	9.54	8.49	7.63	7.76	8.97	8.56
MnO	0.07	0.07	0.09	0.06	0.07	0.18	0.18	0.19	0.21	0.14	0.17	0.14
MgO	15.52	15.06	17.48	15.94	14.02	23.66	22.78	22.28	22.81	12.17	19.83	14.89
CaO	10.91	9.61	15.08	8.03	8.16	5.94	4.82	5.30	5.31	9.24	7.55	7.17
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.03	0.06	0.62	1.44	0.89	0.95	1.00	0.73	2.45	0.24	0.81
K <sub>2</sub> O	0.34	0.36	0.02	0.13	0.02	0.43	0.46	0.51	0.39	0.17	0.07	0.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	0.06	0.06	0.07	0.14	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.08	0.07
п.п.п.	13.07	13.22	15.63	11.04	11.08	1.77	1.66	1.44	1.78	6.22	5.77	3.21
Сумма	99.85	99.80	99.94	99.98	99.92	99.77	99.95	99.95	99.85	99.90	99.65	99.85
Li	32.6	40.1	23.6	39.4	52.2	12.5	6.5	6.6	11.8	29.5	49.1	22.1
Be	0.77	0.92	0.48	0.69	0.80	0.28	0.35	0.39	0.28	0.48	0.37	0.35
Sc	28.5	30.6	26.5	31.7	25.9	24.4	20.5	22.3	22.9	46.5	23.7	32.0
V	178	185	159	232	162	143	117	127	127	287	168	171

Таблица 1. Окончание

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cr	868	922	1124	1036	109	1786	1129	1132	2190	1233	1359	1267
Co	33.8	42.7	63.6	35.7	9.7	89.0	120	99.2	113	51.8	74.5	55.2
Ni	343	386	605	396	188	934	1723	1477	1332	270	757	414
Cu	< ПО	5.9	97.5	< ПО	5.2	64.1	364	154	52.2	75.6	108	64.4
Zn	135	145	149	156	153	62.3	60.6	60.0	69.0	79.3	112	55.4
Ga	11.5	12.5	9.7	12.9	12.4	8.1	7.6	8.1	7.1	11.4	11.3	10.5
Rb	42.7	71.1	1.9	13.6	1.3	15.3	13.8	15.1	12.5	13.6	7.5	19.8
Sr	116	125	141	92.8	89.1	66.8	76.8	86.1	84.3	59.5	25.1	50.0
Y	11.9	11.5	11.1	13.2	20.8	9.4	9.4	10.1	7.9	11.6	12.1	11.0
Zr	31.4	30.9	31.0	43.3	66.2	49.3	45.5	46.8	40.4	26.2	35.2	35.2
Nb	2.2	2.4	1.7	2.7	2.9	2.9	3.3	3.4	2.2	2.0	2.6	2.5
Mo	5.1	8.1	0.31	1.8	0.31	0.47	0.22	0.22	0.30	1.2	0.78	0.70
Cs	25.6	39.7	3.9	9.4	3.2	102	127	133	92.5	18.2	6.3	120
Ba	3.6	4.6	5.2	5.1	17.2	6.3	7.5	7.7	5.3	4.2	4.8	6.8
La	8.7	9.6	11.4	11.2	33.6	13.9	16.4	17.1	11.2	9.9	11.3	14.2
Ce	1.1	1.2	1.4	1.5	4.1	1.6	1.9	2.0	1.3	1.3	1.5	1.7
Pr	5.6	5.9	6.2	7.0	17.0	6.9	8.0	8.3	5.6	6.0	7.3	7.1
Nd	1.7	1.7	1.7	2.2	4.1	1.7	1.8	2.0	1.4	1.7	2.1	1.8
Sm	0.65	0.65	0.76	0.89	0.97	0.45	0.50	0.51	0.40	0.57	0.84	0.48
Eu	2.0	2.0	2.0	2.5	4.2	1.8	1.9	2.0	1.5	2.1	2.4	1.9
Gd	0.38	0.37	0.36	0.44	0.73	0.32	0.32	0.34	0.26	0.38	0.42	0.35
Tb	2.3	2.2	2.2	2.6	4.2	1.9	1.9	1.9	1.6	2.4	2.5	2.1
Dy	0.49	0.47	0.46	0.53	0.83	0.40	0.40	0.42	0.33	0.50	0.52	0.46
Ho	1.5	1.5	1.4	1.6	2.4	1.2	1.2	1.3	1.0	1.5	1.6	1.4
Er	0.20	0.20	0.20	0.20	0.30	0.17	0.17	0.17	0.14	0.19	0.21	0.19
Tm	1.4	1.4	1.4	1.3	2.0	1.2	1.2	1.3	1.0	1.3	1.5	1.4
Yb	0.20	0.20	0.21	0.17	0.24	0.18	0.18	0.19	0.16	0.19	0.22	0.20
Lu	0.89	0.81	0.85	1.1	1.8	1.4	1.2	1.3	1.1	0.76	1.0	1.1
Hf	0.20	0.15	0.15	0.23	0.27	0.24	0.25	0.25	0.18	0.30	0.25	0.21
Ta	0.44	0.72	0.050	0.15	0.018	0.12	0.13	0.12	0.086	0.15	0.14	0.12
Pb	7.1	6.1	7.3	9.8	9.1	3.2	7.3	4.8	3.4	1.5	8.5	2.0
Th	0.087	0.083	0.22	0.099	0.10	0.023	0.23	0.085	0.018	0.089	0.15	0.031
U	0.92	1.0	0.90	1.2	2.3	1.6	1.7	1.9	1.4	1.0	1.2	2.1

Примечание. Номера проб и места их отбора, породы: 1–5 – апопикровые метасоматиты межпластового тела, правый берег р. Сюрюнзак: 2283/1 (1), 21120 (2) – с порфиробластами флогопита, верхняя часть межпластового тела, 2282/2 (3) – с порфиробластами кальцита и с тальком, средняя часть межпластового тела, 2283/3 (4) – с порфиробластами флогопита, нижняя часть межпластового тела, 2283/4 (5) – монацит- и алланит-содержащие метасоматиты; 6–9 – пикриты автолитов в габбродолеритах, южная окраина с. Ишля: 2284 (6), 21119А (7), 21119Б (8) – без порфиробластов рудных минералов, 22119АА (9) – с обильными хрошпинелидами и сульфидами; 10–12 – габбродолериты: 2280 (10), 2280/1 (11) – правый бер. р. Сюрюнзак, 21116 (12) – южная окраина с. Ишля. ПО – порог определения.

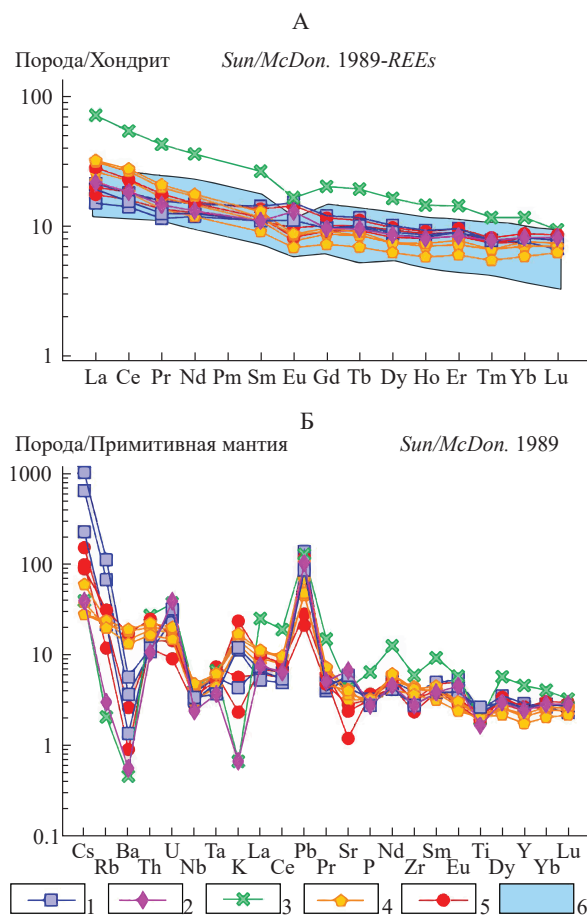
а метасоматитов — в полях базальтов и пикритов. Во всех породах  $\text{TiO}_2$  менее 0,7% (LTi-тип).  $\text{Mg\#} = (\text{MgO}/(\text{MgO} + \text{FeO}^*))$  в пикритах 0.8–0.81, в габбродолеритах и в пикродолеритах 0.64–0.77, в метасоматитах 0.77–0.83. В пикритах содержание  $\text{MgO}$ , при пересчете общего состава на 100%, превышает 18%, и они, согласно классификации [16], соответствуют коматиитам.

Проба тальк-содержащих метасоматитов с порфиробластами кальцита отличается недостаточностью  $\text{SiO}_2$  (34.1%) по сравнению с другими пробами и наибольшими содержаниями  $\text{CaO}$  (15.08%).

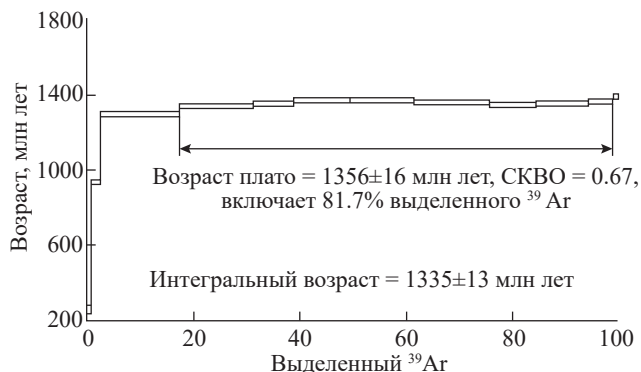
На спайдер-диаграммах распределение элементов в пробах метасоматитов, пикродолеритов и габбродолеритов и пикритов сходно (рис. 3). Сравнение ишлинского комплекса с другими долерит-пикритовыми комплексами БМА показывает сходство в распределении РЗЭ с породами шатакского комплекса в основании среднего рифея [2]. Для шатакского комплекса, как и для ишлинского, характерны низкие содержания РЗЭ (см. рис. 3). Единственная проба метасоматитов на р. Сюрюнзяк отличается обогащением РЗЭ, что связано с присутствием в породе алланита и монацита. Эта проба отличается повышенными, по сравнению с другими пробами, содержаниями  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , пониженными  $\text{Sr}$  и  $\text{Ni}$ , повышенными  $\text{Zr}$ . Низкие значения  $(\text{Gd}/\text{Yb})_n = 1.1\text{--}1.7$ ,  $(\text{Dy}/\text{Yb})_n = 0.99\text{--}1.29$  (нормировано к хондриту),  $(\text{Nb}/\text{La})_n = 0.19\text{--}0.66$  (нормировано к примитивной мантии),  $\text{Ti}/\text{Y} = 166\text{--}337$ , во всех магматических и метасоматических породах соответствуют LTi разностям базитов других объектов в БМА [9]. Во всех пробах отмечается Ta–Nb-отрицательная аномалия, которая может быть объяснена коровой контаминацией.

**Возраст метасоматитов.** Из метасоматитов в точке 21120 с координатами  $53^\circ 54' 11.9''$  с. ш.,  $57^\circ 48' 33.5''$  в. д. в верхней части межпластового тела отобрана проба, из которой выделена железо-магнезиальная слюда аннит-флогопитовой серии, состав которой отвечает флогопиту (табл. 2).

По результатам  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований флогопита получено плато с возрастом  $1356 \pm 16$  млн лет,  $\text{СКВО} = 0.67$ . Плато включает 81.7% выделенного  $^{39}\text{Ar}$  (рис. 4). Это значение относится к эктазийскому периоду мезопротерозоя. Согласно уточнённому возрасту подразделений рифея и их границ в структуре БМА [17; 18], возраст флогопита соответствует среднему рифею.



**Рис. 3.** Спайдер-диаграммы распределения хондрит-нормализованных содержаний редкоземельных элементов (А) и содержаний редких элементов, нормированных к примитивной мантии (Б). 1–3 — метасоматиты по пикритах и пикродолеритам на р. Сюрюнзяк: 1 — с порфиробластами флогопита и доломита, 2 — тальк-содержащие с порфиробластами кальцита, 3 — с порфиробластами флогопита, монацита и алланита-содержащие; 4 — пикриты из автолитов; 5 — габбродолериты, пикродолериты; 6 — долерит-пикритовое тело в основании шатакского комплекса по [2].



**Рис. 4.** Результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований флогопита из метапикритовых метасоматитов в пробе 21120.

**Таблица 2.** Состав слюды из апопикритовых метасоматитов в пробе 21120 (мас. %)

NN точек	60	73	74	135	136	137	141	142	143	164	165	166
MgO	18.43	17.72	17.96	18.33	17.85	17.76	17.98	18.25	18.38	18.37	18.37	18.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.06	15.46	16.18	15.07	15.44	15.41	15.21	15.36	15.49	15.11	15.54	15.27
SiO <sub>2</sub>	40.03	40.01	40.28	40.23	39.47	38.35	39.16	39.37	39.3	39.99	39.76	39.66
TiO <sub>2</sub>	0.84	0.89	0.88	0.9	0.81	0.87	0.98	0.84	0.79	0.9	0.84	0.88
K <sub>2</sub> O	8.9	8.33	8.59	8.45	8.71	8.25	8.01	8.31	8.25	8.49	8.42	8.55
FeO	11.53	10.62	10.42	10.67	10.84	11.35	11.29	11.04	11.26	10.9	10.95	11.14
Сумма	95.79	93.02	94.31	93.64	93.11	91.99	92.65	93.17	93.47	93.76	93.88	93.62
Fe#	0.26	0.25	0.24	0.24	0.25	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Mg#	2.9	3.0	3.1	3.1	3.0	2.8	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.0

Примечание.  $\text{Fe\#} = \text{FeO} \cdot 0.55 / (\text{FeO} \cdot 0.55 + \text{MgO})$ ;  $\text{Mg\#} = \text{MgO} / (0.55 \cdot \text{FeO})$ . Анализ выполнен на установке TESCAN MIRA LMS в Институте физики Земли РАН.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Основной объем метасоматических пород межпластового тела занимают кальцит-тальковые породы. Такие породы образуются по ультрабазитам и связаны с кислотным метасоматозом, при взаимодействии с ( $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ )-флюидом [1]. Можно предположить, что состав флюида в значительной степени обеспечен содержащими карбонаты вмещающими породами. Этот тип метасоматоза характеризуется перемещением MgO, в связи с чем можно объяснить присутствие хлорита на экзоконтакте с межпластовым телом метасоматитов. Сравнивая составы метасоматических и неизмененных магматических пород данного района, в первую очередь содержания в них малоподвижных Sr и Ti, распределение фигуративных точек на диаграммах Харкера, можно предположить, что метасоматиты образованы по пикритам. Неоднородность состава пород межпластового тела метасоматических пород, проявленная по мощности и по простиранию, вероятно, связана с частичным перераспределением вещества внутри тела в процессе метасоматоза. Отчасти, по-видимому, неоднородность, является первичной, так как для рифейских мафит-ультрамафитовых силлов и даек региона характерна дифференциация (расслоенность), выраженная в вариациях составов и содержаний основных породообразующих минералов: оливина, ортопироксена,

клинопироксена и плагиоклаза в пределах одного интрузивного тела [2]. Обогащенный РЗЭ состав метасоматитов в отдельной пробе можно объяснить коровой контаминацией. В то же время можно отметить, что близкие обогащенные составы отмечаются для базитов других долерит-пикритовых комплексов региона [2]. В расположенном структурно выше тела метасоматитов силле габбродолеритов и пикродолеритов образование тальковых пород не зафиксировано.

Метасоматоз практически не затрагивает вмещающие породы, которые слабо метаморфизованы с образованием филлитов. Ареал метаморфических пород белорецкого комплекса, характеризующего тиманский тектогенез, и в котором присутствуют эклогиты, находится в 10–20 км восточнее исследованного участка. Возраст эклогитов и слюдяных сланцев в белорецком комплексе, определенный на основе Rb–Sr- и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -систем, охватывает интервал от ~530 до ~609 млн лет ([20] и ссылки там). Метасоматоз, проявленный в апопикритовых породах, никак не связан с тиманским метаморфизмом.

Можно предположить, что образование метасоматитов, протолитом которых являются пикриты, возможно, и пикродолериты, связано с ранними послемагматическими процессами, которые не оторваны по времени от внедрения пикритов.



Полученные данные о составе, структурном положении позволяют предполагать, что пикриты, которые являлись протолитом метасоматитов, пикриты из автолитов в габбродолеритах и габбродолериты генетически связаны и произошли из единого магматического источника.

Полученное значение возраста флогопита из метасоматитов  $1356 \pm 16$  млн лет, в пределах ошибки перекрывается с ранее полученным значением возраста ишлинских пикритов из автолитов среди габбродолеритов —  $1291 \pm 67$  млн лет [9].

В связи с отмечавшейся ранее проблемой значительной разницы в возрасте ишлинских пикритов, представляющих LTi-тип и возрастов пород HTi-типа [9], следует отметить, что для интрузивных HTi-базитов на севере БМА получены значения возраста, близкие к возрасту ишлинских метапикритовых метасоматитов.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст биотита из долеритов в районе города Куса  $1360 \pm 9$  млн лет [14], а из долеритов в районе города Бердяуш  $1349 \pm 11$  млн лет [14].

Ближний возраст на севере БМА имеют породы небазитового состава. U/Pb-возраст цирконов из дайки андезитов в Тараташском блоке (точка 1 на рис. 1 Б)  $1366 \pm 7$  млн лет [15]. Некоторые значения U/Pb-возраста цирконов из сиенитов Бердяушского массива  $1368 \pm 6$ ,  $1372 \pm 12$  млн лет ([10, 17] и ссылки там). U/Pb-возраст цирконов из гранит-порфиров Медведёвского массива (точка 2 на рис. 1 Б)  $1353 \pm 16$  млн лет ([11, 13, 14] и ссылки там).

Другая группа значений возрастов магматизма эктазийского времени около 1380 млн лет фиксирует этап проявления плюмового события, которое наиболее полно представлено рифтогенным машакским вулканическим комплексом (точка 4 на рис. 1 Б) с U/Pb (CA-ID-TIMS)-возрастом цирконов  $1380.6 \pm 1.1$  млн лет [17, 18]. Этот комплекс распространен на хребте Шатак в основании толщ среднего рифея в 20–30 км на юг-юго-запад от села Ишля и представлен базальтами и риолитами. К этому этапу магматизма относятся так же массивы внутриплитных гранитоидов: Бердяушский, Медведёвский, Губенский, Кусинский, Рябиновский, Ахмеровский (точка 3 на рис. 1 Б) ([10, 11] и ссылки там). Ближний возраст по бадделлеиту имеют долериты Главной Бакальской дайки  $1385.3 \pm 1.4$  млн лет [13].

В итоге можно сделать следующие выводы. Протолитом ишлинских метасоматитов являются пикриты, возможно, отчасти, пикродолериты. Интрузивные породы данного района принадлежат LTi-типу.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -возраст флогопита

из метасоматитов ( $1356 \pm 16$  млн лет) предположительно характеризует постмагматический метасоматизм, который не оторван по времени от внедрения мафит-ультрамафитовой интрузии. Интрузии LTi-типа — одно из проявлений внутриплитного магматизма среднерифейского, эктазийского возраста. Считается, что LTi- и HTi-типы базитов происходят из различных мантийных источников [9]. Вместе они характеризуют среднерифейское, связанное с мезопротерозойской плюмовой активностью, машакское магматическое событие [9–11, 13–15, 17, 18]. Полученные данные свидетельствуют в пользу того, что эти два типа формировались синхронно, по крайней мере, на поздней стадии мезопротерозойской магматической активности. Считается, что в результате машакского магматического события сформирована LIP-провинция и был инициирован распад гипотетического суперконтинента Нуна (Колумбия) [14].

#### ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках госзадания FMMG-2023-0009 ГИН РАН, ИГМ СО РАН (проект № 122041400171-5).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граменицкий Е. Н. Петрология метасоматических пород. М.: ИНФРА-М, 2022. 221 с.
2. Ковалев С. Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. 2011. № 2. С. 68–83.
3. Ковалев С. Г., Высоцкий С. И., Ковалев С. С. К вопросу о петрогенезисе пикритовых комплексов Башкирского мегантиклинория // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 98–108.  
<http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-7>
4. Ковалев С. Г., Пучков В. Н., Ковалев С. С., Высоцкий С. И. Редкие Th–Sc-минералы в пикритах Южного Урала и их генетическое значение // ДАН. 2019. Т. 484. № 6. С. 721–724.
5. Краснобаев А. А., Козлов В. И., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Бушарина С. В. Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. 2012. № 4. С. 127–140.
6. Краснобаев А. А., Козлов В. И., Пучков В. Н. и др. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и возраст рубежа нижний — средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2013. Т. 21. № 5. С. 1–18.



7. Краснобаев А. А., Пучков В. Н., Сергеева Н. Д., Бушарина С. В. Полихронные цирконы вулканитов Навышского комплекса айской свиты нижнего рифея (Южный Урал) // Георесурсы. 2020. 22(4). 101–112.  
<http://doi.org/10.18599/grs.2020.4.101-112>
8. Ларионов Н. Н., Бергазов И. Р. Грановская Н. В., Нигматуллина А. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXП – Тукан. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 247 с.
9. Носова А. А., Сазонова Л. В., Каргин А. В., Ларионова Ю. О., Горожанин В. М., Ковалев С. Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. 2012. Т. 20. № 4. С. 392–428.
10. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с. ISBN: 978-5-94423-209-0.
11. Ронкин Ю. Л., Тихомирова М., Маслов А. В. 1380 млн лет LIP Южного Урала: прецизионные U–Pb-ID-TIMS-ограничения // ДАН. 2016. Т. 468. № 6. С. 674–769.
12. Сазонова Л. В., Носова А. А., Ларионова Ю. О. и др. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. 2011. № 3. С. 64–83.
13. Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. Ernst R. E., Pease V., Puchkov V. N., Kozlov V. I., Sergeeva N. D., Hamilton M. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern Margin of the East European craton, Southern Urals, Russia / Геологический сборник. 2006. Ред. В. Н. Пучков, Р. Ф. Абдрахманов, И. Б. Серавкин. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. № 5. С. 1–45.
14. Ernst R. E., Wingate M. T. D., Buchan K. L., Zheng-Xiang Li. Global record of 1600–700 Ma Large Igneous Provinces (LIPs): Implications for the reconstruction of the proposed Nuna (Columbia) and Rodinia supercontinents // Precambrian Research. 2008. V. 160. Issues 1–2. P. 159–178.  
<http://doi.org/10.1016/j.precamres.2007.04.019>
15. Khotylev A. O., Tevelev A. V., Bychkova Ya. V., Latyshev A. V., Anosova M. B. Mezoproterozoic basite magmatism of the Bashkirian meganticlinorium (Southern Urals): age constraints, petrological and geochemical features // Geodynamics & Tectonophysics. 2020. 11 (2). 219–243.  
<http://doi.org/10.5800/GT-2020-11-2-0471>
16. Le Bas M. J. IUGS reclassification of the high-Mg and picritic volcanic rocks // Journal of Petrology. 2000. 41. 1467–1470.
17. Puchkov V. N. Structural Stages and Evolution of the Urals // Mineralogy and Petrology. 2013. 107(1): 3–37.  
<https://doi.org/10.1007/s00710-012-0263-1>
18. Puchkov V. N., Bogdanova S. V., Ernst R. et al. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. 2013.  
<http://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.02>
19. Warr L. N. IMA–CNMNC approved mineral symbols // Mineralogical Magazine. 2021. 85. 291–320.  
<http://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>
20. Willner A. P., Gopon M., Glodny J. et al. Timanide (Ediacaran–Early Cambrian) Metamorphism at the Transition from Eclogite to Amphibolite Facies in the Beloretsk Complex, SW-Urals, Russia // Journal of Earth Science. 2019. 30(6): 1144–1165.  
<http://doi.org/10.1007/s12583-019-1249-2>  
<http://en.earth-science.net>

# ECTASIAN $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ AGE OF PHLOGOPITE FROM APOPICRITIC METASOMATITES IN THE STRUCTURE OF THE BASHKIR MEGANTICLINORIUM IN THE SOUTH URALS

A. V. Ryazantsev<sup>a</sup>, B. D. Levkova<sup>a</sup>, A. V. Travin<sup>b</sup>

*Presented by Academician of the RAS K.E. Degtyarev on May 17, 2024.*

<sup>a</sup>*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

<sup>b</sup>*Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation*

In the central part of the Bashkir meganticlinorium, mafic intrusive rocks of the Low-Titanium (LTi) type (< 1 wt. %  $\text{TiO}_2$ ) represented by picrites, picrodolerites and metasomatic metapicrite rocks. Carbonate-talc, chlorite-quartz rocks with phlogopite, calcite and dolomite are formed after picrites. Phlogopite has been separates from the metasomatites. According to  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  step-heating dating of phlogopite, a plateau age of  $1356 \pm 16$  Ma was obtained. Picrites presumably have undergone metasomatism associated with early post-magmatic processes. Metasomatic processes are not divorced in time from the intrusion of picrites. Similar age values are known for a number of mafic HTi-type intrusive in the north of the Bashkir meganticlinorium. The obtained data suggest that these two types formed synchronously, at least at the late stage of Mesoproterozoic magmatic activity.

**Keywords:** Southern Urals, metasomatism, magmatic protolith, Riphean, Ectasian Mesoproterozoic, picrites, plumes,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age of phlogopite