

УДК 552.11:552.3: 550.93 (571.52)

ВОЗРАСТ И ПРИРОДА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД ДАХУНУРСКОГО ПЛУТОНА, ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ТУВА

Врублевский Василий Васильевич,

д-р геол.-минерал. наук, проф. кафедры динамической геологии
Томского государственного университета,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: vasvr@yandex.ru

Никифоров Анатолий Викторович,

канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаборатории редкометалльного
магматизма Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 35. E-mail: nikav@igem.ru

Сугоракова Амина Мидхатовна,

канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотр. лаборатории геодинамики,
магматизма и рудообразования Тувинского института комплексного
освоения природных ресурсов СО РАН, Республика Тыва, 667010, г. Кызыл,
ул. Интернациональная, д. 117а. E-mail: amina@tikopr.fromtuva.ru

Лыхин Дмитрий Алексеевич,

канд. геол.-минерал. наук, науч. сотр. лаборатории
редкометалльного магматизма Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 35. E-mail: liha@igem.ru

Козулина Тамара Викторовна,

аспирант кафедры динамической геологии
Томского государственного университета,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36. E-mail: vasvr@yandex.ru

Юдин Денис Сергеевич,

канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. лаборатории изотопно-
аналитических методов Института геологии и минералогии СО РАН,
Россия, 630090, Новосибирск, пр. Академика Каптюга, д. 3.
E-mail: travin@uiggm.nsc.ru

Исследования направлены на обоснование возраста, природы источников родоначальных магм и геодинамических условий внедрения щелочных интрузий Тувино-Монгольского террейна/микроконтинента, что является актуальным при проведении реконструкций развития Палеоазиатского океана и палеозойского магматизма в складчатом обрамлении Сибирского кратона. Изученный Дахунурский интрузивный массив ультраосновных фойдолитов и фойяитов на Сангиленском нагорье представляет собой раннекарбонную производную щелочного магматизма палеозоя Юго-Восточной Тувы. По впервые полученным прецизионным изотопным Ag-Ag данным его становление происходило ~ 328 млн лет назад. Выявленные методом ICP-MS геохимические особенности щелочных пород плутона предполагают интрузию в сложной геодинамической обстановке взаимодействия мантийного плюма с аккреционными комплексами активной континентальной окраины. На этом основании оцениваются длительность и условия тектонического режима формирования одной из крупных изверженных провинций Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Ключевые слова:

Щелочной магматизм, геохронология, геохимия, мантийный плюм, активная континентальная окраина, нагорье Сангилен.

Введение

На Сангиленском нагорье в Юго-Восточной Тuve установлено более 20 сравнительно небольших по размерам дифференцированных щелочных интрузивных массивов, которые по составу петрографической ассоциации объединяются в виде

магматической серии эгирин-геденбергитовых фойяитов, ювитов и ийолит-уртитов [1]. Фойяиты преобладают только в значительно эродированных плутонах (Баянкольский интрузив). В остальных случаях (Харлинский, Чикский, Дахунурский и другие массивы) доминируют обогащенные нефе-

лином породы – фойдолиты. Кроме этого, в Центральном Сангиле известны массивы, которые сложены преимущественно амфиболовыми щелочными и нефелиновыми сиенитами (Коргередабинская, Тоскульская, Уланэргинская интрузии) и относятся к другому формационному типу [1].

Некоторые исследователи все нефелиновые породы вместе с проявленными в регионе субщелочными габброидами, щелочными сиенитами и щелочными гранитами считают производными сангиленского магматического комплекса среднего палеозоя [2]. До последнего времени оценки его радиологического возраста основывались на изотопных K–Ar и U–Th–Pb датировках, полученных в 60–70-е гг. прошлого столетия [3–6]. Разброс значений возраста пород составляет ~200–450 млн лет. Очевидно, это не позволяет объединять все проявления щелочного магматизма в Юго-Восточной Туве в рамках одного комплекса, и тем более считать его, как предложено [2], даже «ориентировочно раннедевонским». Вместе с тем анализ уже имеющихся геохронологических данных показывает, что в пределах Центрального Сангиленского развития фельдшпатоеидного магматизма могло происходить в два временных этапа [4]: силурийско-девонский (венлок–эмс, ~430–402 млн лет) для по-

родной ассоциации с эгирин-геденбергитовыми фойяитами и каменноугольный (~330–304 млн лет) для амфиболовых нефелиновых сиенитов. С последним из них по возрасту сопоставимы редкометалльные щелочные граниты месторождения Улуг-Танзек (301 ± 1 млн лет, циркон, U–Pb; 296 ± 2 млн лет, рибекит, Ar–Ar) [7], иногда рассматриваемые как поздняя фаза сангиленского комплекса [2]. Приведенные нами данные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -изотопного анализа и геохимические особенности Дахунурского массива в Центральном Сангиле позволяют предполагать импульсное проявление регионального щелочного магматизма в карбоне и его развитие в сложной окраинно-континентальной геодинамической обстановке.

Геологическая позиция и вещественный состав интрузивного массива

Дахунурский фойдолит-фойяитовый массив расположен в пределах Сангиленского выступа, который рассматривается как часть Тувино-Монгольского докембрийского террейна (микроконтинента) [8]. При этом предполагается, что в его цоколе присутствуют протерозойские кристаллические комплексы, а чехол сложен карбонатными, терригенными и вулканогенными породами поз-

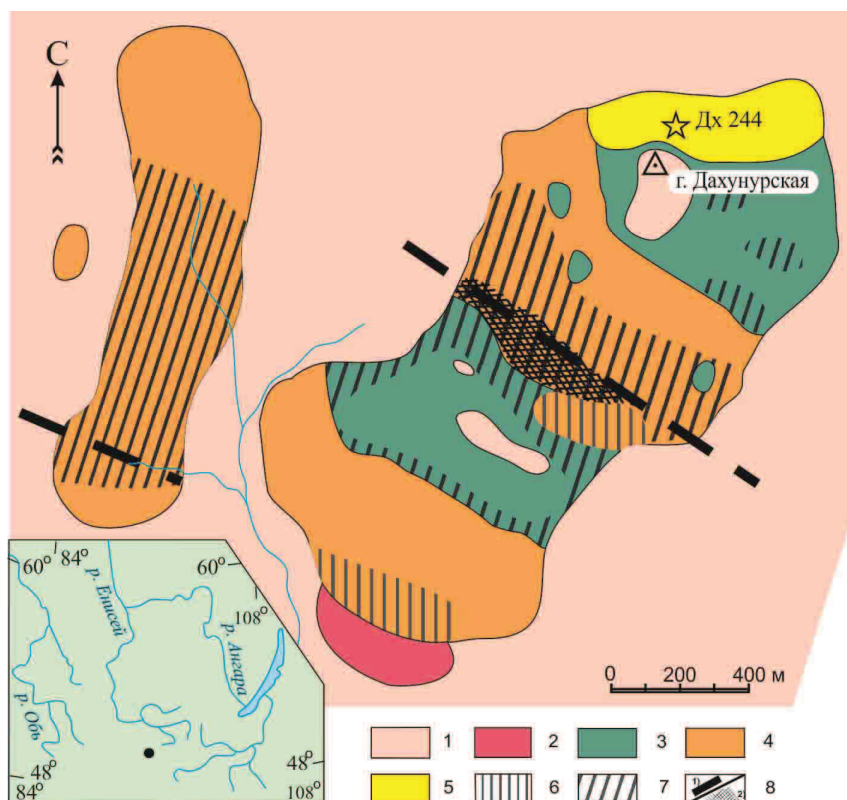


Рис. 1. Геологическая схема Дахунурского плутона (по [9] с изменениями) 1 – графитистые мраморы балыгтыгхемской свиты (PR3), 2 – плагиограниты таннуольского комплекса (PZ1), 3–7 – щелочные породы Дахунурского массива: (3) щелочные клинопироксениты (якупирангиты) и мельтейгиты, (4) ийолиты и ийолит-уртиты, (5) нефелиновые сиениты, (6) нефелин-цеолитовые пегматиты, (7) кальцитизированные и гранатсодержащие фойдолиты, скаполитизированные и нефелинизированные пироксениты, 8 – разрывные нарушения (а) и зона милонитизации (б). Звездочкой с номером отмечено место отбора пробы на Ar–Ar-изотопный анализ. На врезке показано географическое положение Дахунурского интрузива (50°21' с. ш., 96°45' в. д.)

дного рифея–кембрия. Геологическая позиция щелочного интрузива обусловлена приуроченностью к северному плечу Нарынско-Балыктыгхемской субширотной грабен-синклинали в центральной части нагорья Сангилен, где он прорывает мраморы балыктыгхемской свиты верхнего протерозоя и контролируется зоной субмеридионального глубинного разлома [2]. В составе массива выделяется два сближенных крутопадающих тела с общей площадью выхода на поверхность ~1,5 км², сложенных якупирангитами, мельтейгитами, ийолитами, ийолит-уртитам, уртитам и нефелиновыми сиенитами (рис. 1). Среди фойдолитов с первичным нефелин-клинопироксеновым парагенезисом встречаются пегматоидные и метасоматически измененные участки с широко развитым кальцитом, шорломитом, цеолитом, а также карбонатитоподобные жильные образования [9, 10]. Для нефелиновых сиенитов характерно наличие зон с полосчатым строением и повышенным (до ~20...25 %) содержанием амфибола и биотита.

По химическому составу силикатные породы Дахунурского плутона (табл. 1) представляют собой магматическую серию ультраосновных фойдолитов и основных фельдшпатоидных сиенитов (мезократовых фойяитов) с характерной пониженной кремнекислотностью (SiO_2 ~39...46 мас. %), высокой щелочностью ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ~ до 15...17 мас. %; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ~ 3,7...5,9 мас. %) и глиноземистостью (Al_2O_3 ~ до 24...28 мас. %). От фойдолитов к фойяитам на фоне снижения магнезиальности пород и содержаний Ca, Mg, Fe, Cr, Ni, V, Co, Sc происходит накопление большинства LILE (large ion lithophile elements) и HFSE (high field strength elements). Характер их поведения во многом соответствует особенностям редкоэлементного состава комбинированного источника типа CIAB+OIB (рис. 2) с проявлением Nb–Ta и Zr–Hf спектральных минимумов, свойственных производным надсубдукционного магматизма. По-видимому, участием литосферного субстрата обусловлены повышенные концентрации Rb, Ba, Sr, U, особенно заметные в нефелиновых сиенитах массива.

Распределение REE (rare earth elements) в щелочных породах при невысоких суммарных концентрациях элементов (~ 30...112 г/т; La/Yb ~3,1...10,0 г/т) также хорошо сопоставимо со средним составом базальтоидов континентальных островных дуг. Наиболее низкие содержания REE в уртитам и ийолит-уртитам (рис. 2) связаны с уровнем их накопления в доминирующем нефелине. Как и в случае аналогичных пород Кия-Шалтырского плутона в Кузнецком Алатау, можно предположить флотационный механизм сегрегации этого минерала в щелочной магме с переходом большей части REE в остаточный расплав. В целом о мультикомпонентном источнике вещества и сложном геодинамическом режиме Дахунурской интрузии позволяют судить вариации индикаторных соотно-

шений Zr, Nb, Ta, Th, Y, Yb (рис. 3) в изученных щелочных породах, которые свидетельствуют о ее внедрении в обстановке взаимодействия активной континентальной окраины с плюмом, контролирующим внутриплитный магматизм OIB-типа.

Таблица 1. Представительный химический состав щелочных пород Дахунурского плутона

Компонент	Обр. Дх248/1	Обр. Дх247	Обр. Дх243/1	Обр. Дх246	Обр. Дх244
SiO ₂	43,09	41,38	41,76	41,74	46,08
TiO ₂	1,35	1,43	0,77	0,44	1,23
Al ₂ O ₃	10,83	14,84	22,29	27,75	19,87
Fe ₂ O ₃	11,44	12,10	7,76	4,73	7,90
MnO	0,19	0,18	0,14	0,08	0,15
MgO	8,33	5,73	1,97	1,23	0,75
CaO	20,63	18,92	10,88	7,29	7,16
Na ₂ O	2,21	2,91	9,30	12,60	9,60
K ₂ O	0,37	0,71	1,96	2,68	2,17
P ₂ O ₅	0,14	0,79	0,56	0,32	0,31
П.п.п.	1,76	1,14	2,54	1,19	4,92
Сумма	100,34	100,13	99,93	100,05	100,14
Cr	26	8,9	8,9	11	6,5
Ni	94	11	3,9	4,5	2,5
V	193	148	68	38	29
Co	41	28	16	10	11
Sc	28	4,7	1,1	0,6	1,1
Cs	0,9	0,04	0,18	0,11	0,27
Rb	6,9	6,1	23	16	35
Ba	126	90	366	119	952
Sr	398	501	895	821	1611
Nb	1,5	1,1	2,6	0,9	13
Ta	0,17	0,17	0,24	0,23	1,2
Zr	136	152	112	46	128
Hf	3,8	3,4	2	0,89	2,9
Y	21	21	16	5,5	20
Th	0,61	0,84	1,6	0,73	2,6
U	0,59	0,52	0,92	0,64	1,8
Pb	2,8	1,5	5,6	2,8	11
La	7,1	12	18	5	12
Ce	22	33	45	11	30
Pr	3,4	4,4	6,1	1,5	4,2
Nd	17	21	25	6	18
Sm	4,1	4,3	4,9	1,4	4,1
Eu	1,2	1,3	1,4	0,44	1,1
Gd	4,3	4,4	3,9	1,2	3,8
Tb	0,71	0,78	0,59	0,21	0,65
Dy	4,4	3,9	3,1	1,1	3,8
Ho	0,92	0,77	0,58	0,22	0,77
Er	2,2	2,2	1,6	0,66	2,1
Tm	0,37	0,37	0,26	0,09	0,34
Yb	2,3	2,3	1,8	0,78	2,5
Lu	0,38	0,34	0,31	0,11	0,3
ΣREE	70,38	91,06	112,54	29,71	83,66

Примечание. Обр. Дх248/1 – якупирангит, Обр. Дх247 – мельтейгит, Обр. Дх243/1 – ийолит, Обр. Дх246 – ийолит-уртит, Обр. Дх244 – нефелиновый сиенит. Содержание оксидов (мас. %, РФА) и редких элементов (г/т, ICP-MS) в породах определено в Аналитических центрах ИГМ СО РАН (Новосибирск), ТГУ (Томск), ИМГРЭ (Москва).

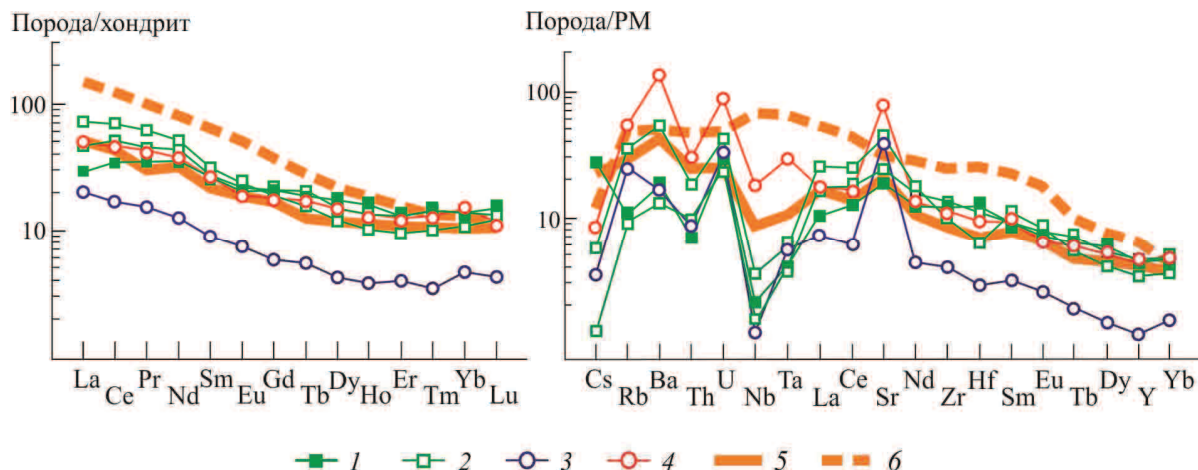


Рис. 2. Распределение редких элементов в щелочных породах Дахунурского плутона: 1 – якупирангит, 2 – мельтейгит и ийолит, 3 – ийолит-уртит, 4 – нефелиновый сиенит, 5, 6 – средние составы базальтов континентальных островных дуг (CIAВ, 5) и океанических островов (OIB, 6) [11, 12]. Концентрации элементов нормированы по составам хондрита CI и примитивной мантии (PM) [12]

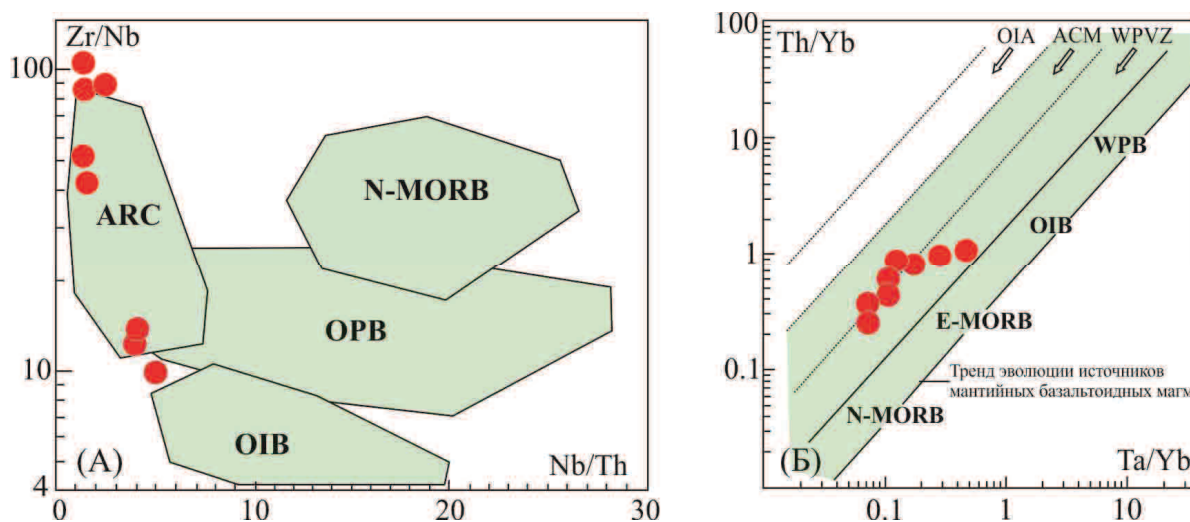


Рис. 3. Соотношения HFS-элементов в щелочных породах Дахунурского плутона (А) Диаграмма Zr/Nb-Nb/Th. Источники и композиционные поля базальтоидов разных тектонических обстановок приведены по [13]: ARC – островодужные базальты; N-MORB – базальты срединно-океанических хребтов, OIB – базальты океанических островов, OPB – базальты океанических плато. (Б) Диаграмма Th/Yb-Ta/Yb. Дискриминация магматических пород проводится по [14]: OIA – океанические островные дуги, ACM – активные континентальные окраины, WPVZ – внутриплитные вулканические зоны, MORB – базальты срединно-океанических хребтов, OIB – базальты океанических островов, WPB – внутриплитные океанические базальты

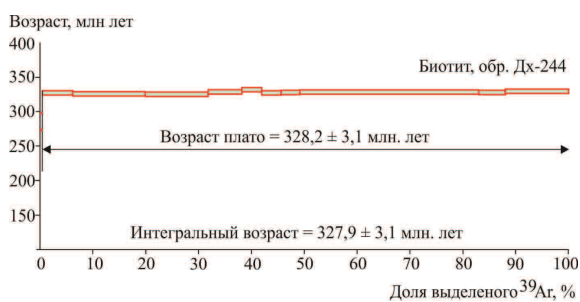
Время и геодинамические условия проявления щелочного магматизма

Известные ранее немногочисленные данные изотопного датирования минералов из фойдолитов Дахунурского массива определяют возраст его становления в очень широком диапазоне от рубежа силур-девон (~402–420 млн лет, K–Ar по нефелину и U–Pb по везувияну) до раннего карбона (~334 млн лет, K–Ar по биотиту) [3, 4, 6]. Для уточнения времени образования интрузива проведен прецизионный изотопный Ar–Ar-анализ фракции (0,25...0,5 мм) слюды, отобранной из нефели-

новых сиенитов в районе горы Дахунурская (рис. 1). По химическому составу минерал представляет собой титанистый ферробиотит (SiO₂ 32,9, TiO₂ 3,3, Al₂O₃ 13,6, FeO 29,6, MnO 0,5, MgO 4,9, Na₂O 0,4, K₂O 9,1 мас. %; обр. Дх-244, ср. 8 ан.). После совместного облучения навесок биотита и эталонного образца в кадмированном канале ядерного реактора (Томский политехнический университет) и очистки выделенного аргона по стандартной методике [15] его изотопный состав измерялся на масс-спектрометре Noble gas 5400 в ИГМ СО РАН (Новосибирск).

Таблица 2. Результаты изотопного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -анализа породообразующего биотита из нефелинового сиенита Дахунурского плутона

T, °C	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\Sigma^{39}\text{Ar}$ (%)	Ca/K	Возраст, млн лет
Обр. Дх-244, биотит, 40,9 мг, $f=0,004023\pm0,000042$, возраст плато $328,2\pm3,1$ млн лет							
500	$76,7\pm0,67$	$0,038\pm0,0073$	$0,610\pm0,339$	$0,115\pm0,0067$	0,4	$2,18\pm1,220$	$285,7\pm12,6$
600	$52,2\pm0,04$	$0,020\pm0,0004$	$0,112\pm0,002$	$0,009\pm0,0002$	6,2	$0,40\pm0,008$	$327,2\pm3,1$
650	$50,4\pm0,01$	$0,020\pm0,0002$	$0,039\pm0,006$	$0,004\pm0,0002$	19,9	$0,14\pm0,023$	$326,6\pm3,1$
700	$50,3\pm0,02$	$0,020\pm0,0004$	$0,021\pm0,007$	$0,004\pm0,0003$	31,9	$0,08\pm0,025$	$325,8\pm3,1$
750	$50,8\pm0,02$	$0,020\pm0,0003$	$0,016\pm0,019$	$0,004\pm0,0001$	38,3	$0,06\pm0,067$	$328,7\pm3,1$
800	$51,2\pm0,04$	$0,020\pm0,0004$	$0,019\pm0,029$	$0,003\pm0,0006$	42,1	$0,07\pm0,106$	$332,1\pm3,4$
850	$51,2\pm0,03$	$0,021\pm0,0009$	$0,048\pm0,036$	$0,006\pm0,0008$	45,7	$0,17\pm0,129$	$327,3\pm3,5$
900	$51,7\pm0,02$	$0,020\pm0,0007$	$0,105\pm0,021$	$0,007\pm0,0006$	49,2	$0,38\pm0,075$	$327,6\pm3,3$
1000	$50,2\pm0,01$	$0,020\pm0,0005$	$0,020\pm0,003$	$0,002\pm0,0005$	83,1	$0,07\pm0,010$	$328,4\pm3,1$
1050	$51,2\pm0,02$	$0,019\pm0,0006$	$0,093\pm0,011$	$0,006\pm0,0003$	88,1	$0,34\pm0,041$	$328,0\pm3,2$
1130	$51,1\pm0,02$	$0,020\pm0,0002$	$0,145\pm0,012$	$0,004\pm0,0002$	100	$0,52\pm0,043$	$330,4\pm3,2$

**Рис. 4.** Изотопное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование биотита из нефелинового сиенита Дахунурского плутона. Стрелками показано возрастное плато

Полученный спектр выделения аргона по биотиту фойяитов Дахунурского массива характеризуется хорошо выраженным плато с возрастом $T=328\pm3$ млн лет и максимальной долей кумулятивного ^{39}Ar (рис. 4, табл. 2). Это значение можно принять за время закрытия $\text{Ar}-\text{Ar}$ -изотопной системы в слюде и завершения кристаллизации нефелиновых сиенитов, что позволяет предполагать их образование в раннем карбоне не древнее визейского века. На Сангиленском нагорье близкий $\text{K}-\text{Ar}$ -изотопный возраст имеют породообразующие биотиты из амфиболовых нефелиновых сиенитов Тоскульского (~330 млн лет), Уланэргинского (~322 млн лет), Коргеретабинского (~304 млн лет) интрузивных массивов, которые не содержат в своем составе разновидности мельтейгит-ийолит-уртитового ряда, обычные для ассоциации с эгирин-геденбергитовыми фойяитами [4]. $\text{K}-\text{Ar}$ -датировки по нефелину фойдолитов и фойяитов Баянкольского и Харлинского плутонов демонстрируют в среднем значительно более древний возраст $\sim 420\pm 10$ млн лет и даже в позднем уртит-пегматите Дахунурского массива он не моложе эмса (~402 млн лет) [6]. Опираясь на полученные нами данные современного $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -изотопного анализа, следует либо поставить под сомнение в целом возможность и достоверность $\text{K}-\text{Ar}$ -датирования нефелина (особенно палеозойского возраста) и считать все проявления фельдшпатоидного маг-

матизма в Центральном Сангилене раннекарбонными, либо надо признать, что щелочной магматизм имел полихронный (с интервалом ~100–150 млн лет) и телескопированный характер. По нашим неопубликованным геохронологическим ($\text{U}-\text{Pb}$, $\text{Sm}-\text{Nd}$) данным в этом случае пульсационное внедрение интрузий выглядит вполне вероятным.

По существующим представлениям, после распада Родинии и образования Палеоазиатского океана Сибирский континент испытал значительный дрейф. Начиная с фанерозоя, при его перемещении и аккреционно-коллизиионном росте предполагается взаимодействие с несколькими разновозрастными горячими точками, которые были производными эволюции долгоживущего суперплюма, аналогичного современному горячему полю мантии [16]. В этом отношении развитие карбонowego магматизма Юго-Восточной Тувы могло определяться влиянием плюма, который по своему возрасту и местоположению соответствовал бы параметрам Исландской горячей точки/Гоби-Тянь-Шаньского магматического ареала. По-видимому, ее воздействие на перекрывающую активную окраину Сибирского палеоконтинента (Забайкалье в современных координатах) обусловило внутриплитную магматическую активность и формирование Баргузино-Витимской изверженной провинции в интервале ~320–280 млн лет назад [7]. Наряду с палеозойскими щелочными интрузиями Витимской зоны, характерной чертой состава провинции является широкое распространение гранитоидов. При этом массивы редкометалльных щелочных гранитов Восточной Тувы объединяются в самостоятельный улуг-танзекский комплекс, сформированный ~300 млн лет назад на хронорубеже карбон-пермь [7]. Нами предполагается, что внедрение пространственно сближенных с ними на Сангилене фойдолит-фойяитовых интрузий раннекарбонowego возраста (~325–330 млн лет) также связано с деятельностью данного плюма и предшествовало его максимальному воздействию на континентальную кору и масштабному анатексису. Основываясь на от-

носителем раннего развития периферического фельдшпатоидного магматизма, проявленного на территории Восточной Тувы, не исключается возможность более длительного формирования Баргузино-Витимской изверженной провинции. Согласно полученным геохимическим данным представляется, что активность щелочного магматизма на первоначальном этапе ее возникновения была об-

условлена процессами плюм-литосферного взаимодействия в условиях активной транзитали.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проекты 14.B37.21.1257, 5.3143.2011), Правительства РФ (грант 14.B25.31.0001 BIO-GEO-CLIM) и РФФИ (гранты 11-05-00144, 12-05-00801, 12-05-00533, 13-05-00181, 13-05-00101, 14-05-00494).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яшина Р.М. Щелочной магматизм складчато-глыбовых областей (на примере южного обрамления Сибирской платформы). – М.: Наука, 1982. – 274 с.
2. Хомичев В.Л., Бухаров Н.С., Минин В.А. Эталон сангиленского габбро-нефелинсиедит-щелочногранитового комплекса (Юго-Восточная Тува). – Новосибирск: СНИИГТИМС, 2009. – 193 с.
3. Зыков С.И., Ступникова Н.И., Павленко А.С. и др. Абсолютный возраст интрузий Восточно-Тувинского региона и Енисейского кряжа // Геохимия. – 1961. – № 7. – С. 547–560.
4. Яшина Р.М., Борисевич И.В. Абсолютный возраст щелочных пород Восточной Тувы // Абсолютное датирование тектономагматических циклов и этапов оруденения. – М.: Наука, 1966. – С. 326–336.
5. Дергачев В.Б. О возрасте и радиологических датировках нефелиновых пород Сангилена (Юго-Восточная Тува) // Геология и геофизика. – 1973. – № 7. – С. 64–71.
6. Кононова В.А. Якупирангит-уртитовая серия щелочных пород. – М.: Наука, 1976. – 215 с.
7. Ярмолук В.В., Никифоров А.В., Сальникова Е.Б. и др. Редкометалльные гранитоиды месторождения Улуг-Танзек (Восточная Тува): возраст и тектоническое положение // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 430. – № 2. – С. 248–253.
8. Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы (под ред. Е.В. Склярова). – М.: ПРОБЕЛ-2000, 2004. – 192 с.
9. Кононова В.А. Уртит-ийолитовые интрузии Тувы и роль метасоматических процессов при их формировании // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1957. – № 5. – С. 37–55.
10. Дергачев В.Б. О карбонатах Сангилена (Юго-Восточная Тува) // Геология и геофизика. – 1973. – № 9. – С. 135–137.
11. Kelemen P. B., Hanghøj K., Greene A. R. One View of the Geochemistry of Subduction-related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust // Treatise on Geochemistry. – 2003. – V. 3. – P. 593–659.
12. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins (Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry). – 1989. – № 42. – P. 313–345.
13. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? // Lithos. – 2005. – V. 79. – P. 491–504.
14. Gorton M.P., Schandl E.S. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks // The Canadian Mineralogist. – 2000. – V. 38. – P. 1065–1073.
15. Врублевский В.В., Гертнер И.Ф., Поляков Г.В. и др. Ар-изотопный возраст лампроитовых даек чуйского комплекса, Горный Алтай // Доклады Академии наук. – 2004. – Т. 399. – № 4. – С. 516–519.
16. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province // Earth-Science Reviews. – 2010. – V. 102. – № 1/2. – P. 29–59.

Поступила 21.09.2013 г.

UDC 552.11:552.3: 550.93 (571.52)

THE AGE AND ORIGIN OF ALKALINE ROCKS OF THE DAKHUNUR PLUTON, SOUTH-EASTERN TUVA

Vassily V. Vrublevskii,

Dr. Sc., Tomsk State University,
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 36. E-mail: vasvr@yandex.ru

Anatoly V. Nikiforov,

Cand. Sc., Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy
and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Russia, 119017, Moscow,
Staromonetny street, 35. E-mail: nikav@igem.ru

Amina M. Sugorakova,

Cand. Sc., Tuva Institute of Complex Development of Natural Resources,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia, 667010, Republic
of Tuva, Kyzyl, Internatsionalnaya street, 117a. E-mail: amina@tikopr.fromtuva.ru

Dmitry A. Lykhin,

Cand. Sc., Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy
and Geochemistry, Russian Academy of Sciences,
Russia, 119017, Moscow, Staromonetny street, 35. E-mail: liha@igem.ru

Tamara V. Kozulina,

Tomsk State University,
Russia, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 36. E-mail: vasvr@yandex.ru

Denis S. Yudin,

Cand. Sc., Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, Russia, 630090, Novosibirsk,
Academka Kaptyuga avenue, 3. E-mail: travin@uiggm.nsc.ru

The research is aimed at proving the age, nature of parental magma sources, and geodynamic conditions, under which alkaline intrusions of the Tuva-Mongolian terrain were introduced. That is relevant when reconstructing development of the Paleozoic Ocean and Paleozoic magmatism in folded frames of the Siberian Craton. The studied Dakhunur intrusion of ultrabasic foidolites and foyaites in the Sangilen Upland is an Early Carboniferous derivative of a Paleozoic alkaline magmatism of the South-Eastern Tuva. According to the precision isotopic Ar–Ar data obtained for the first time, its formation took place ~ 328 Ma. Geochemical features of alkaline rocks of pluton revealed by ICP–MS method indicate the intrusion occurred in a difficult geodynamic environment, where mantle plume interacted with accretionary complexes of active continental margin. Based on this fact, the duration and conditions of a tectonic regime of formation of one of the largest igneous provinces in the Central Asian folded belt are estimated.

Key words:

Alkaline magmatism, geochronology, geochemistry, mantle plume, active continental margin, Sangilen Upland.

REFERENCES

1. Yashina R.M. *Shchelochnoy magmatizm skladchato-glybovykh oblastey (na primere uyzhnogo obramleniya Sibirskoy platformy)* [Alkaline magmatism of the folded areas in the southern framing of the Siberian craton]. Moscow, Nauka, 1982. 274 p.
2. Khomichev V.L., Bukharov N.S., Minin V.A. *Etalon sangilenskogo gabbro-nefelinsyenit-shchelochnogranitnogo kompleksa (Yugo-Vostochnaya Tuva)* [Etalon of the Sangilen gabbro-nepheline syenite-alkaline granite complex (South-Eastern Tuva)]. Novosibirsk, SNIIGGIMS, 2009. 193 p.
3. Zhykov S.I., Stupnikova N.I., Pavlenko A.S. *Absolutnyy vozrast intruziy Vostochno-Tuvinskogo regiona i Eniseyskogo kryazha* [The age of intrusions of the Eastern Tuva and Yenisei Ridge]. *Geokhimiya – Geochemistry*, 1961, no. 7, pp. 547–560.
4. Yashina R.M., Borisevich I.V. *Absolutnyy vozrast shchelochnykh porod Vostochnoy Tuvy* [The age of alkaline rocks in the Eastern Tuva: Absolute Dating of the tectono-magmatic cycles and stages of mineralization]. Moscow, Nauka, 1966. pp. 326–336.
5. Dergachev V.B. *O vozraste i radiologicheskikh datirovках nefelinovykh porod Sangilena (Yugo-Vostochnaya Tuva)* [On the age and radiological dating nepheline rocks of the Sangilen upland (South-Eastern Tuva)]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1973, no. 7, pp. 64–71.
6. Kononova V.A. *Yakupirangit-urtitovaya seriya shchelochnykh porod* [The yakupirangite-urtite series of alkaline rocks]. Moscow, Nauka, 1976. 215 p.
7. Yarmolyuk V.V., Nikiforov A.V., Salnikova E.B. *Redkometallnye granitoidy mestorozhdeniya Ulug-Tanze (Vostochnaya Tyva): vozrast i tektonicheskoe polozhenie* [Rare-metal granitoids of the Ulug-Tanze deposit (Eastern Tyva): age and tectonic setting]. *Doklady Akademii Nauk*, 2010, vol. 430, no. 1. pp. 95–100.

8. Kuzmichev A.B. *Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongolskogo massiva: rannebaykalsky, pozdnebaykalsky i rannekaledonsky etapy* [Tectonic history of the Tuva-Mongolian Massif: Early Baikalian, Late Baikalian and Early Caledonian stages]. Ed. by E. Sklyarov. Moscow, PROBEL-2000, 2004. 192 p.
9. Kononova V.A. Urtit-iyolitovye intruzii Tuvy i rol metasomaticheskikh protsessov pri ikh formirovanii [Urtite-ijolite intrusions of the Tuva and the role of rock-forming metasomatic processes]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya – Bulletin of the AS SSSR*, 1957, no. 5, pp. 37–55.
10. Dergachev V.B. O karbonatitakh Sangilena (Yugo-Vostochnaya Tuva) [On the carbonatites of the Sangilen upland (South-Eastern Tuva)]. *Geologiya i geofizika – Geology and geophysics*, 1973, no. 9, pp. 135–137.
11. Kelemen P. B., Hanghøj K., Greene A.R. One View of the Geochemistry of Subduction-related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust. *Treatise on Geochemistry*, 2003, vol. 3, pp. 593–659.
12. Sun S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean basins (eds. A.D. Saunders, M.J. Norry). *Geol. Soc. Special Publ.*, 1989, no. 42, pp. 313–345.
13. Condie K.C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? *Lithos*, 2005, vol. 79, pp. 491–504.
14. Gorton M.P., Schandl E.S. From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 2000, vol. 38, pp. 1065–1073.
15. Vrublevskii V.V., Gertner I.F., Polyakov G.V. Ar–Ar isotopic age of lamproite dikes of the Chuiskii complex, Gorny Altai. *Doklady Earth Sciences*, 2004, vol. 399, no. 9, pp. 1252–1255.
16. Kuzmin M.I., Yarmolyuk V.V., Kravchinsky V.A. Phanerozoic hot spot traces and paleogeographic reconstructions of the Siberian continent based on interaction with the African large low shear velocity province. *Earth-Science Reviews*, 2010, vol. 102, no. 1/2, pp. 29–59.