

ЩЕЛОЧНОЙ ИНТРУЗИВНЫЙ КОМПЛЕКС ЭДЕЛЬВЕЙС (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) – ПЛЮМОВАЯ ПРОИЗВОДНАЯ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКОГО МАГМАТИЗМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00526) и Министерства образования и науки России (проект 2.1.1/208 АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы 2009–2010 гг.»).

Определен ^{40}Ar - ^{39}Ar -изотопный возраст ($506,8 \pm 3,5$ млн лет) щелочного карбонатитсодержащего комплекса эдельвейс в Горном Алтае. На этом основании его становление связывается с формированием крупной магматической провинции на каледонском этапе развития Центрально-Азиатского складчатого пояса и рассматривается как результат активности мантийного суперплюма, инициировавшего разноформационный магматизм Центральной Азии в раннем и среднем палеозое.

Ключевые слова: щелочной магматизм; геохронология; мантийный плюм; крупная магматическая провинция.

В геодинамическом развитии Горного Алтая магматизм повышенной щелочности проявился в ограниченном масштабе. Наиболее характерные его продукты имеют раннемезозойский возраст и представлены скоплениями даек слюдяных лампрофиров и лампроитов чуйского базальтоидного комплекса (~240–246 млн лет), синхронных с траппами Западной Сибири [1], а также малыми интрузиями редкометалльных щелочных гранитоидов в Калгутинской вулканотектонической депрессии (~201–216 млн лет) на юго-востоке региона [2].

До последнего времени по данным К-Аг-изотопного датирования предполагался также юрский возраст (~160–200 млн лет) комплекса эдельвейс щелочных пироксенитов, габбро-пироксенитов, щелочных сиенитов и карбонатитов, распространение которых в виде небольших штоко- и дайкообразных интрузий ограничено южным склоном Северо-Чуйского хребта [3].

Однако Sm-Nd-изохрона ($T = 474 \pm 37$ млн лет), рассчитанная по валовым составам пород данного комплекса, свидетельствует о его формировании еще в раннем ордовике [4]. Полученная изотопная дата практически совпадает с одним из пиков проявления (470 ± 5 млн лет) ордовикского магматизма в центральной и восточной частях Алтае-Саянской складчатой области [5]. По времени это событие сопоставимо с главной фазой активности мантийного плюма, определявшего развитие ранне-среднепалеозойского базитового магматизма в Центрально-Азиатском складчатом поясе (ЦАСП) [6].

Приведенные нами результаты Аг-Аг-изотопного датирования подтверждают вероятность становления комплекса эдельвейс на хронологическом рубеже кембрий – ордовик.

Геологическое строение района Северо-Чуйского хребта в Горном Алтае, где преимущественно проявлен комплекс эдельвейс, характеризуется наличием древнего складчато-надвигового основания, сложенного известняками и вулканитами венда и раннего кембрия, и перекрывающего их покрова девонских терригенно-карбонатных и вулканогенных отложений. Интрузивные тела комплекса прорывают отложения нижнего яруса и вскрыты на поверхности в пределах эрозионных окон аллохтона.

Все магматические производные в последовательности: щелочной клинопироксенит-габбро-пироксенит-щелочной сиенит-кальциокарбонатит представлены только в одном из массивов (~1,2 км²) в бассейне

р. Чаган-Узун [4]. При этом более поздние лейкократовые щелочные сиениты и апатит-флогопитовые пироклорсодержащие карбонатиты образуют небольшие дайковые и жильные тела среди доминирующих в его составе мафических пород. Силикатным производным свойствен химизм повышенной калиевоности (табл. 1) и по уровню щелочности и кремнекислотности ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} \sim 1\text{--}14$; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \sim$ до 14 мас. %; $\text{SiO}_2 \sim 34\text{--}58$ мас. %) они соответствуют образованиям формации калиевых щелочных и субщелочных основных пород.

Карбонатиты по своему химическому составу сходны с кальцитовыми разновидностями – дифференциатами ранних стадий карбонатитогенеза.

Вариации содержаний и отношений ряда LIL- и HFS-элементов, наблюдаемые в мафитах, позволяют предполагать становление комплекса в условиях сложной окраинно-континентальной геодинамической обстановки и смешения вещества источников базальтоидных магм типа OIB и SZB. Его Nd-Sr-изотопная систематика ($\epsilon_{\text{Nd}}(T) \sim +6,2 \dots +6,4$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_T \sim 0,7033\text{--}0,7039$) свидетельствует о возможном мантийном PREMA-источнике родоначального расплава. Некоторое обогащение пород радиогенным ^{87}Sr и тяжелым изотопом кислорода ($\delta^{18}\text{O} \sim +7 \dots +15\text{‰}$, SMOW) вызвано, скорее всего, процессом коровой контаминации магмы в верхних горизонтах литосферы [4, 7].

Для уточнения времени становления комплекса эдельвейс проведен Аг-Аг-изотопный анализ фракции (0,25–0,5 мм) магматогенного флогопита (обр. В-17: SiO_2 42,3; TiO_2 0,7; Al_2O_3 12,3; FeO 10,2; MgO 20,4; Na_2O 0,1; K_2O 10,0 мас. %), отобранного из слюдяного клинопироксенита в верховьях р. Кускуннур, левого притока р. Чаган-Узун. Измерения выполнены в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) на масс-спектрометре Noble gas 5400 с использованием стандартного биотита МСА-11. Предварительно минеральные навески упаковывались в Al-фольгу и после запаивания в кварцевой ампуле облучались в кадмированном канале исследовательского ВВР-К-реактора Томского политехнического университета. Полученный возрастной спектр флогопита характеризуется хорошо выраженным плато в диапазоне температур нагрева 950–1150°C с рассчитанным значением $T = 506,8 \pm 3,5$ млн лет (рис. 1, табл. 2) и интегральным возрастом $495,3 \pm 3,5$ млн лет. Это позволяет предполагать, что начальная фаза становления комплекса происходила не раньше среднего кембрия и явно не позднее его хронограницы с ордовиком.

Ag-Ar-изотопная дата ~ 507 млн лет хорошо согласуется со временем формирования (509±10 Ma, Sm-Nd-изохрона,

$\varepsilon_{Nd}(T) = +5,1$) верхнепетропавловского комплекса щелочных основных пород и карбонатитов Кузнецкого Алатау [8].

Т а б л и ц а 1

Представительные химические составы пород комплекса эдельвейс

Компонент	B-17	B-1/7	B-16	B-26	Компонент	B-17	B-1/7	B-16	B-26
	1	2	3	4		1	2	3	4
SiO ₂	34,71	55,37	3,41	0,70	Y	36	25	3,5	90
TiO ₂	1,53	0,17	<0,03	<0,03	Th	4,8	3	2,8	6,2
Al ₂ O ₃	5,61	18,23	0,54	—	U	2,7	24	3,4	0,4
Fe ₂ O _{3T}	16,62	7,87	0,79	0,81	La	63	27	144	525
MnO	0,25	0,11	0,14	0,36	Ce	189	54	276	991
MgO	10,31	2,05	1,26	1,17	Pr	22	3,4	20,4	109
CaO	20,54	2,03	52,12	54,34	Nd	108	8,8	54	293
Na ₂ O	<0,3	4,30	<0,3	<0,3	Sm	23	0,9	8	38,3
K ₂ O	1,65	7,15	0,03	0,05	Eu	10	0,4	3,1	10
P ₂ O ₅	4,70	<0,3	1,81	3,56	Gd	16	0,7	3,4	32
CO ₂			38,56	37,59	Tb	7,8	0,1	3,5	3,7
П.п.п.	2,35	1,82	1,06	1,03	Dy	8,1	0,4	0,9	17
Сумма	98,27	99,10	99,71	99,60	Ho	1,3	0,07	0,1	2,8
Cs	5,1	0,8	0,1	0,2	Er	3	0,2	0,2	7,5
Rb	63	59	0,4	0,9	Tm	0,3	0,03	0,03	0,9
Ba	521	1423	870	473	Yb	2,1	0,5	3	5
Sr	721	1676	5117	5472	Lu	0,8	0,03	0,7	0,5
Nb	6	257	38	2,4	Sc	81	4	0,6	1,2
Ta	0,3	5,7	0,4	0,1	V	435	256	35	27
Zr	71	221	68	82	Ni	64	10	21	17
Hf	4,2	3,5	0,02	0,2	Co	122	10	5,5	2,1

Примечание. 1 – клинопироксенит; 2 – щелочной сиенит; 3–4 – карбонатиты. Содержание оксидов (РФА, мас. %), за исключением CO₂, и редких элементов (ICP-MS, г/т) в породах определено в Аналитическом центре ИГМ СО РАН и в ИМГРЭ.

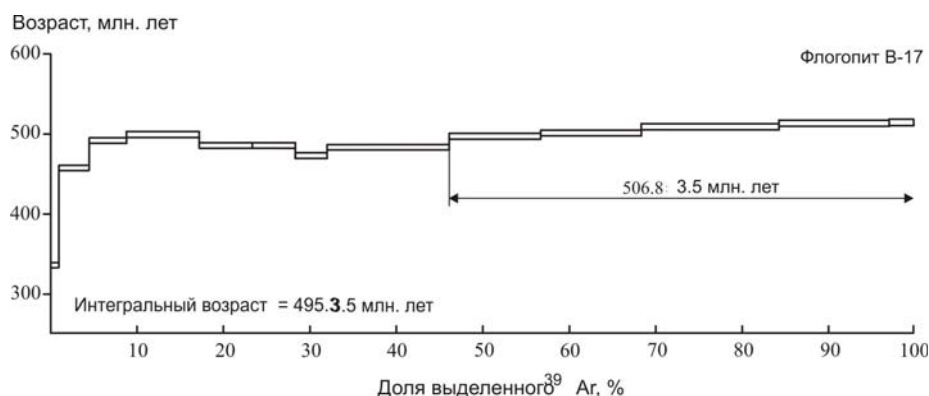


Рис. 1. Возрастной $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -спектр флогопита из слюдяного клинопироксенита комплекса эдельвейс

Т а б л и ц а 2

Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -изотопного анализа флогопита комплекса эдельвейс

T°C	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	$\pm 1\sigma$	$\Sigma^{39}\text{Ar}(\%)$	Возраст ($t \pm 1\sigma$), млн лет
B-17 флогопит, 43,09 мг, $J = 0,003097 \pm 0,000025$								
600	113,1453	0,1045	0,0725	0,0018	0,0674	0,0006	4,5	457,6 $\pm$ 3,4
650	116,5670	0,1414	0,0963	0,0007	0,0519	0,0006	8,8	492,0 $\pm$ 3,6
700	109,9126	0,0833	0,0799	0,0004	0,0234	0,0002	17,2	499,5 $\pm$ 3,5
750	104,4483	0,1013	0,0708	0,0006	0,0158	0,0005	23,3	458,8 $\pm$ 3,5
800	102,8478	0,1114	0,0661	0,0009	0,0105	0,0005	28,3	485,7 $\pm$ 3,5
850	101,1319	0,1641	0,0667	0,0012	0,0146	0,0010	32,0	473,1 $\pm$ 3,7
900	101,8994	0,0933	0,0686	0,0003	0,0090	0,0003	46,1	483,5 $\pm$ 3,5
950	104,2995	0,0670	0,0658	0,0005	0,0062	0,0004	56,7	497,3 $\pm$ 3,5
1000	105,5031	0,0597	0,0622	0,0003	0,0069	0,0002	68,3	501,5 $\pm$ 3,6
1050	107,1064	0,0539	0,0620	0,0002	0,0061	0,0002	84,3	509,2 $\pm$ 3,6
1100	108,2303	0,0697	0,0628	0,0003	0,0065	0,0003	97,0	513,4 $\pm$ 3,6
1150	110,6723	0,1558	0,0693	0,0012	0,0138	0,0012	100,0	514,6 $\pm$ 4,0
Возраст плато (950–1150°C) = 506,8 $\pm$ 3,5 млн лет, интегральный возраст = 495,3 $\pm$ 3,5 млн лет								

Примечание. Выделение аргона проводилось в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева и последующей его очисткой с использованием Ti- и ZrAl SAES-геттеров. Холостой опыт по ^{40}Ar при 1200°C в течение 10 мин не превышал 5×10^{-10} нсм³. J – параметр, характеризующий величину нейтронного потока. Интервал $\pm 1\sigma$ – ошибка измерений. Отношение Ca/K в опытах составляет 0,01–0,001.

Сходство ϵNd -параметров изотопного состава пород обоих комплексов предполагает родство их мантийных магматических источников, несмотря на различную степень заражения поднимающихся расплавов коровыми компонентами. В соответствии с геодинамической моделью каледонид ЦАСП [9] его аккреция началась на рубеже ~ 500 млн лет назад с присоединением к Сибирскому кратону фрагментов палеоконтинента Родинии, венд-кембрийских островных дуг, задуговых бассейнов и океанических островов.

По-видимому, в это время Кузнецко-Алтайским сегментом супертеррейна была перекрыта одна из горячих точек, дренирующая PREMA-резервуар, и ее воздействие на литосферу привело к внутриплитной магматической активности и становлению в раннем

палеозое комплексов щелочных пород и карбонатитов западной части ЦАСП [4].

Наряду с ними для каледонского этапа развития ЦАСП характерны проявления пикритовых и щелочных базальтов, различного рода ультрабазит-базитовые интрузии, габбро-диорит-гранитные породные ассоциации (рис. 2), широко распространенные гранитоидные батолиты [10].

Сравнительно узкий временной диапазон (~ 510–470 млн лет), значительные масштабы и особенности геодинамического режима развития такого разноформационного магматизма предполагают возможность выделения в пределах ЦАСП раннепалеозойской крупной «изверженной» провинции (Large Igneous Province = LIP) [11].

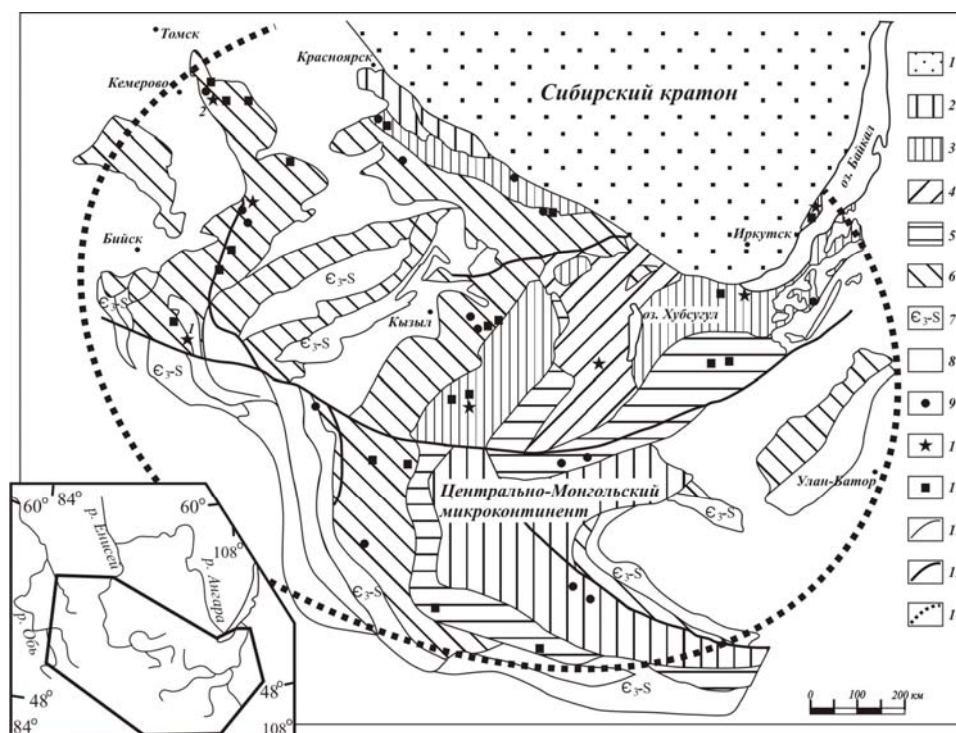


Рис. 2. Геотектоническая позиция кембрийско-раннеордовикских (~ 510–470 млн лет) магматических комплексов ультрабазит-базитового, щелочного и габбро-диорит-гранитного состава в Центрально-Азиатском складчатом поясе:

- 1 – Сибирский кратон; 2–6 – террейны ЦАСП: 2 – протерозоя; 3 – рифея; 4 – позднего рифея – венда; 5 – неопротерозоя – кембрия; 6 – кембрия; 7–8 – структурно-вещественные комплексы отложений позднекембрийско-силурийского (7) и позднепалеозойского (8) возраста; 9–11 – магматические комплексы (интрузивы): 9 – ультрабазит-базитового состава; 10 – щелочные, в том числе карбонатитосодержащие (1 – комплекс эдельвейс в Горном Алтае, 2 – верхнепетропавловский комплекс в Кузнецком Алатау); 11 – габбро-диорит-гранитной ассоциации; 12 – геологические границы; 13 – разломы; 14 – предполагаемая граница крупной изверженной провинции (LIP) раннепалеозойского возраста в пределах ЦАСП (на схеме не показаны синхронные гранитоидные батолиты Центральной Азии [10]) и зоны вероятного воздействия мантийного плюма. На врезке показано географическое положение провинции

Установленный нами кембрийский возраст и Nd-Sr-изотопная систематика щелочного карбонатитосодержащего комплекса эдельвейс Горного Алтая позволяют рассматривать его как производную плюмового магматизма в составе данной LIP Центральной Азии.

Принимая во внимание предположительно девонский возраст калиевых вулканитов, локализованных

на границе с Монгольским Алтаем [12], в геодинамическом развитии собственно Горно-Алтайского террейна следует выделять три этапа проявления магматизма повышенной щелочности: раннепалеозойский (кембрий, ~ 507 млн лет), среднепалеозойский (девон, ~ 400–370 млн лет), раннемезозойский (триас, ~ 245–200 млн лет).

ЛИТЕРАТУРА

1. Врублевский В.В., Гертнер И.Ф., Поляков Г.В. и др. Ag–Ag-изотопный возраст лампроитовых даек чуйского комплекса, Горный Алтай // Доклады Академии наук. 2004. Т. 399, № 4. С. 516–519.
2. Анникова И.Ю., Владимиров А.Г., Выставной С.А. и др. U-Pb-, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ -датирование и Sm-Nd-, Pb-Pb-изотопное исследование Калгутинской молибден-вольфрамовой рудно-магматической системы, Южный Алтай // Петрология. 2006. Т. 14, № 1. С. 90–108.

3. Оболенская Р.В. Мезозойский магматизм Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск: ИГГ СО АН СССР, 1983. 47 с.
4. Врублевский В.В., Журавлев Д.З., Гертнер И.Ф. и др. Sr-Nd-изотопная систематика щелочных пород и карбонатитов комплекса эдельвейс (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) // Доклады Академии наук. 2004. Т. 397, № 6. С. 802–806.
5. Рублев А.Г. Ордовикская эпоха магматизма юга азиатской части России // Материалы II Всерос. петрогр. совещ. «Петрография на рубеже XXI века». Сыктывкар, 2000. Т. 4. С. 312–314.
6. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11, № 6. С. 556–586.
7. Врублевский В.В., Крупчатников В.И., Гертнер И.Ф. Источники, хронология и геодинамика развития калиевого щелочного магматизма юго-восточной части Горно-Алтайского террейна // Материалы XLI Тектонического совещания. М., 2008. Т. 1. С. 165–169.
8. Врублевский В.В., Гертнер И.Ф., Журавлев Д.З., Макаренко Н.А. Sm-Nd-изотопный возраст и природа источника ассоциации щелочных основных пород и карбонатитов Кузнецкого Алатау // Доклады Академии наук. 2003. Т. 391, № 3. С. 378–382.
9. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П. и др. Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса // Доклады Академии наук. 2003. Т. 389, № 3. С. 354–359.
10. Владимиров А.Г., Гибиер А.С., Изох А.Э., Руднев С.Н. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Центральной Азии: масштабы, источники и геодинамические условия формирования // Доклады Академии наук. 1999. Т. 369, № 6. С. 795–798.
11. Izokh A.E., Polyakov G.V., Shelepaev R.A. et al. Early Paleozoic Large Igneous Province of the Central Asia Mobile Belt // In: Abstracts of the International Symposium «Large Igneous Provinces of Asia, Mantle Plumes and Metallogeny». Novosibirsk: Publishing House of SB RAS, 2007. P. 30–32.
12. Врублевский В.В., Крупчатников В.И., Гертнер И.Ф. Состав и изотопная эволюция калиевых вулканитов, юго-восток Горного Алтая // Доклады Академии наук. 2007. Т. 416, № 3. С. 364–369.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 6 марта 2009 г.