

Гусев Анатолий Иванович,
Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
Бийский филиал им. В.М. Шукшина,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет»
Gusev Anatoliy Ivanovich,
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
Biysk Branch named after V.M. Shukshin,
Altai State Pedagogical University

Говядинский Сергей Евгеньевич,
Бийский филиал им. В.М. Шукшина,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический университет»
Govyadinskiy Sergey Evgenevich,
Biysk Branch named after V.M. Shukshin,
Altai State Pedagogical University

**ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАЗАЛЬТОИДОВ
АЛАМБАЙСКОГО КОМПЛЕКСА САЛАИРА
PETROGEOCHEMICAL PECULIARITIES
OF BASALTOIDS ALAMBAY COMPLEX SALAIR**

Аннотация. В статье рассматриваются петрогеохимические особенности базальтов аламбайского комплекса Салаира. По химизму они относятся к высоко-титанистым базальтам с повышенными концентрациями V, Cr, Ni, Co. Базальты формировались в плюм-тектонической обстановке и близки к базальтам океанических плато. Их генерация происходила в результате низкой степени частичного плавления гранатового лерцолита.

Abstract. This article discusses the petrogeochemical characteristics of basalts from the Alambay complex of Salair. Their chemistry classifies them as high-Ti basalts with elevated concentrations of V, Cr, Ni, and Co. The basalts formed in a plume-tectonic setting and are similar to oceanic plateau basalts. They were generated by low-grade partial melting of garnet lherzolite.

Ключевые слова: Салаир, базальты, плюмтектоника, частичное плавление гранатового лерцолита.

Keywords: Salair, basalts, plume tectonics, partial melting of garnet lherzolite.

Базальты аламбайской свиты относятся к высоко-титанистым породным типам. На генезис таких базальтов имеется несколько точек зрения. Высоко-титанистые базальты могут быть результатом низкой степени частичного плавления материала мантийных плюмов [Cheng et al., 2019; Liang et al., 2021]; они могут быть генерированы из субконтинентальной литосферной мантии, или смешения с литосферным мантийным материалом в процессе восхождения расплавов к поверхности [Kamenetsky et al., 2012; Zhang et al., 2019].

Известно, что породы аламбайской свиты развиты в пределах Аламбайско-Каимской зоны, прослеживающейся в южной части Салаирского кряжа в меридиональном направлении, от Шалапа до верховьев ручья Сухая Чемровка [Гусев, Табакаева, 2015].

Отдельные мелкие коренные выходы пород свиты наблюдаются в береговых обнажениях по реке Шалап и по ручью Яма в её верхнем течении. Базальты также вскрыты двумя карьерами юго-восточнее пос. Бочкари. Дополнительно картирование свиты и изучение её состава проведено по керну скважин.



Пространственно образования свиты тесно ассоциируют с серпентинизированными ультрамафитами верхнеаламбайского комплекса, с которыми они объединяются в офиолитовую формацию (рис.1).

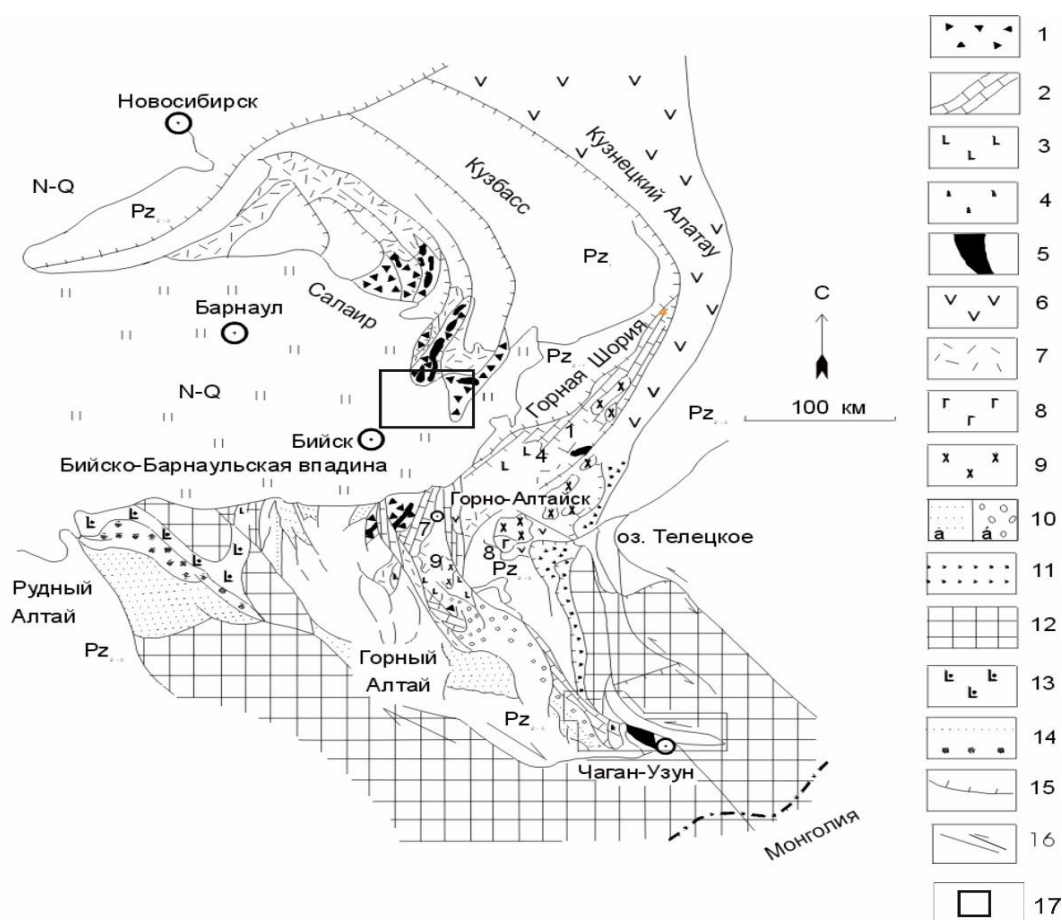


Рисунок 1. Структурно-вещественные комплексы позднеперифейско-кембрийского этапа

Позднеперифейско-раннекембрийский клин океанических и островодужных структурно-вещественных комплексов (R₃-C): 1- олистостромовые; 2- вулканогенно-терригенно-карбонатные формации симаунтов; 3- андезит-дацит-базальтоидные океанических островов (OIB); 4- базальтоидные (E – N-MORB типов); 5- габбро-перидотитовые; венд-кембрийские островные дуги: 6- толеитовые и толеит-бонинитовые серии; 7- известково-щелочные серии вулканитов; 8- габбро-пироксенит-сиенитовые; 9- терригенно-черносланцевые комплексы; 10- комплексы преддуговых бассейнов: а- флишевые, б- олистостромовые; 11- осадочные образования краевых морей; 12- вулканогенно-терригенные образования; 13- кремнисто-метабазальтовая формация; 14- терригенные комплексы преддугового бассейна; тектонические элементы: 15- надвиги, 16- сдвиги; 17- участок проведения работ.

В составе свиты установлено два типа разрезов: глинисто-кремнисто-сланцевый, с подчиненным количеством карбонатных и вулканогенных пород, и вулканогенный – с незначительным присутствием глинисто-кремнистых и карбонатных пород.

Для пород свиты характерна интенсивная и неравномерная тектоническая нарушенность. Блоки ненарушенных пород имеют очень ограниченное распространение и чаще они представлены вулканогенным типом разреза. В большинстве же случаев породы



аламбайской свиты интенсивно рассланцованы, будинированы, катаклазированы, т.е. превращены в сложный по составу и строению полимиктовый меланж, поэтому отнесение того или иного блока пород к аламбайской свите проведено с определенной степенью условности.

Один из наиболее крупных блоков, площадью 6-6.5 км² вскрыт в левобережье ручья Шалап по логу Пушкарскому картировочными скважинами с шагом 500 м с ЮЗ на СВ:

- туфы базальтовых порфириров псефитовые витро-литокластические массивные;
- лавы базальтов порфировых миндалекаменных;
- лавы базальтов порфировых миндалекаменных с титанавгитом в порфировых выделениях;

- лавы базальтов афировых с титан-авгитом в основной массе;
- лавы базальтов афировых катаклазированных;
- лавы базальтов афировых катаклазированных с титан-авгитом в основной массе;

В другой мегаглыбе вскрыт следующий разрез (шаг 500 м):

- лавы базальтов интенсивно катаклазированных;
- лавы базальтов скуднопорфировых с фенокристаллами альбитизированного

плагиоклаза;

- диабазы афировые интенсивно катаклазированные;
- туфы базальтов катаклазированные;
- лавы базальтов афировых с титанавгитом в основной массе.

Обе мегаглыбы погружены в полимиктовый меланж.

Микроскопически базальты аламбайской свиты афировые темно-серовато-зеленые с гиалиновой, интерсертальной, редко вариолитовой основной массой. Микролиты представлены альбитизированным плагиоклазом и моноклинным пироксеном. Вулканическое стекло девитрифицировано, замещено криптокристаллическим агрегатом слюдисто-соссюритового состава. В скуднопорфировых разностях порфировые выделения размером 0.3x1 – 1x2-3 мм сложены альбитизированным плагиоклазом. Основная масса аналогична афировым разностям. В порфировых и обильно порфировых разностях наряду с плагиоклазом присутствуют фенокристаллы моноклинного пироксена энстатит-диопсидового и авгит-титанавгитового ряда. Основная масса порфировых разностей микролитовая интерсертальная и вариолитовая. Вариолы обычно сложены пироксеном. В миндалекаменных разностях миндалины округлой и изометричной формы размером от долей мм до 2-3 и редко более мм выполнены хлоритом, карбонатами, кварцем, пренитом и альбитом. Выполнение миндалин как моно-, так и полиминеральное, с зональным и пятнистым распределением минералов. Часто даже в одном шлифе миндалины имеют различный состав.

Туфы базальтов представлены преимущественно витрокластическими псаммитовыми и псефитовыми разностями с подчиненным количеством кристаллокластов и литокластов. Ксеноморфный материал редок и представлен обломками известняков и силицилитов.

Химический состав базальтов аламбайского комплекса приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав базальтоидов аламбайского комплекса
(оксиды в масс. %, элементы – в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	49,23	47,1	48,5	49,1	48,4	49,2
TiO ₂	2,34	2,45	2,52	2,4	2,46	2,36
Al ₂ O ₃	12,7	13,5	12,7	12,89	13,4	12,72
Fe ₂ O ₃	2,37	2,59	2,4	2,38	2,61	2,38
FeO	8,7	9,32	8,9	8.95	9,1	8,8



MnO	0,17	0,2	0,21	0,18	0,24	0,21
MgO	9,7	7,6	9,4	9,9	9,8	9,8
CaO	8,43	11,1	9,3	8,7	8,6	8,44
Na ₂ O	2,3	2,6	2,4	2,35	2,5	2,31
K ₂ O	0,24	0,3	0,25	0,27	0,25	0,23
P ₂ O ₅	0,21	0,23	0,22	0,22	0,25	0,22
ППП	3,3	2,92	3,1	2,4	2,2	3,32
Сумма	99,69	99,91	99,8	99,9	99,81	99,99
Li	8,4	5,8	7,7	8,7	6,6	8,5
Sc	28,9	29,6	30,1	32,5	31,6	29,2
Cs	0,45	0,5	0,49	0,5	0,49	0,47
Be	<1	<1	<1	1,1	1,2	<1
Mo	0,85	1,4	0,9	0,88	0,84	0,86
W	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	0,62	<0,5
Co	48,2	52,9	49,6	50,2	49,4	48,9
Zn	79,8	89,9	81,6	80,4	80,8	80,7
Cu	89,9	99,7	100,3	101,2	95,8	90,3
Ag	0,047	0,048	0,05	0,051	0,053	0,049
Sb	0,1	0,13	0,13	0,11	0,12	0,15
La	11,0	11,31	12,1	11,2	11,3	11,1
Ce	28,1	28,41	29,4	28,3	28,4	28,2
Pr	3,83	3,74	3,91	3,81	3,73	3,84
Nd	18,5	19,4	20,3	18,8	19,5	18,6
Sm	4,73	4,61	4,8	4,81	4,63	4,74
Eu	1,78	1,69	1,82	1,79	1,7	1,79
Gd	4,88	4,86	5,0	4,9	4,9	4,89
Tb	0,85	0,9	0,91	0,86	0,92	0,86
Dy	4,88	5,01	4,93	4,91	5,06	4,9
Ho	0,89	0,96	0,92	0,9	0,97	0,9
Er	2,41	2,42	2,45	2,44	2,48	2,44
Tm	0,38	0,31	0,4	0,39	0,33	0,39
Yb	2,25	2,48	2,55	2,34	2,52	2,27
Lu	0,28	0,27	0,3	0,29	0,28	0,29
V	255,1	267,4	274,2	261,6	266,8	251
Cr	342,6	226,2	356,4	344,1	227,4	343,5
Ni	160,1	109,4	155,4	164,2	110,2	159,5
Rb	4,6	5,36	6,1	4,8	5,4	4,66
Sr	190,1	242,6	245,1	199,3	247,8	191,5
Y	24,6	25,1	26,3	25,2	25,3	25,1
Zr	122,1	120,4	116,2	111,7	110,7	111,7
Nb	14,1	15,8	15,0	14,7	15,4	14,2
Ba	55,3	69,4	58,3	56,7	70,2	55,8
Hf	3,68	3,99	3,75	3,54	3,84	3,65
Ta	1,05	1,1	1,2	1,0	1,1	1,07
Pb	<1	<1	<1	<1	1,4	<1
Th	0,97	1,2	1,1	0,99	1,0	0,98



U	0,35	0,55	0,48	0,36	0,37	0,35
Σ REE	84,76	86,37	89,79	85,74	86,72	85,21
Nb/Y	0,57	0,62	0,56	0,58	0,6	0,56
Zr/Y	4,9	4,8	4,4	4,4	4,3	4,4
La/Sm	2,3	2,4	2,5	2,3	2,4	2,3

Примечание. Σ REE – сумма редкоземельных элементов.

Высокие концентрации титана (TiO_2) от 2,34 до 2,52 позволяют их отнести к высокотитанистым разностям. Они также характеризуются повышенными концентрация ванадия, хрома, никеля, кобальта, и пониженными содержаниями алюминия, что свойственно мантийным магмам.

На диаграмме Nb/Y – Zr/Y базальты попадают в область расплавов плюмовых источников и конкретно – в поле базальтов океанических плато (рис. 2).

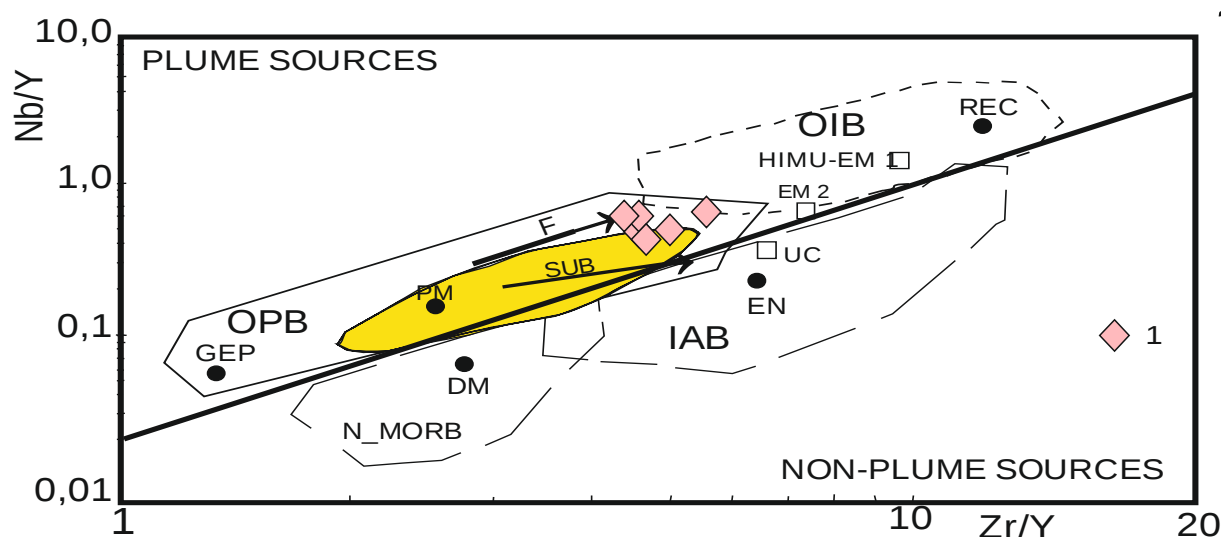


Рисунок 2. Диаграмма соотношений Nb/Y – Zr/Y для базальтов аламбайского комплекса

Контурные поля на диаграмме [Condie, 2005]: N-MORB – базальты COX; OPB – базальты океанических плато; OIB – базальты океанических островов; IAB – базальты островных дуг. PM – примитивная мантия. Реперные резервуары: PM – примитивная мантия; DM – неглубокая деплетированная мантия, DEP – глубокая деплетированная мантия; HIMU – источник, обогащенный U и радиогенным Pb; EM1 и EM2 – обогащенные мантийные источники; EN – обогащенный компонент верхней континентальной коры и субконтинентальной литосферы; UC – верхняя континентальная кора; REC – рециклинговый компонент. Стрелками показаны эффекты периодического плавления (F) и субдукции (SUB). 1- базальты аламбайской свиты.

Анализ базальтов аламбайского комплекса локализуется на тренде периодического плавления мантийного материала (F).

По соотношениям La/Sm – La базальтоиды аламбайской свиты попадают на тренд низкой степени частичного плавления гранатового лерцолита (0,001-0,01) деплетированного мантийного источника MORB (рис.3).



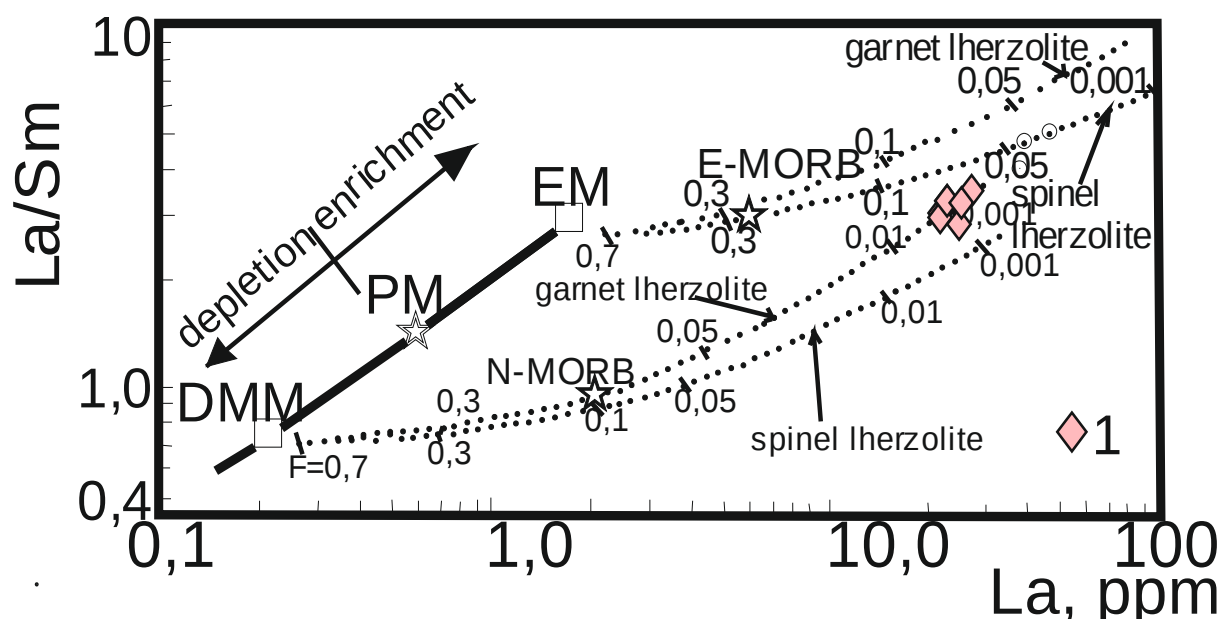


Рисунок 3. Диаграмма La/Sm – La по [Aldamaz et al., 2000]
для базальтов аламбайского комплекса

DMM- деплетированный мантийный источник MORB. PM – примитивная мантия; EM – обогащённый мантийный источник; E-MORB – и N-MORB – составы обогащённых (E) и нормальных (N), базальтов срединно-океанических хребтов; точечные линии – тренды плавления источников DMM и EM, засечки с цифрами на точечных линиях – степень частичного плавления для соответствующих мантийных источников. Условные на рис.2.

Пространственно и парагенетически с базальтоидами аламбайского комплекса связаны проявления хрома, никеля и асбеста.

Таким образом, базальты аламбайского комплекса образовались в результате плюм-тектонических процессов и их генерация связана с очень низкой степенью частичного плавления гранатового лерцолита деплетированной мантии на позднерифейско-кембрийском этапе развития Палеоазиатского океана.

Список литературы:

1. Гусев А.И., Табакаева Е.М. Магматизм и минерогения Салаира. – Бийск, АГАО, 2015. – 187 с.
2. Aldamaz E., Pearce J.A., Thirlwall M.F., Mitchell J.G. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, postcollision volcanism in western Anatolia, Turkey // Journal of Volcanology and Geothermal Research., 2000. -Vol. 102. -P. 67-95.
3. Cheng, W.B., Dong, S.Y., Jin, C.H., Zhao, B., Zhang, Y., Wang, C. Characteristics of elemental geochemistry and petrogenesis discussion of the Emeishan basalts in Muchuan area, Sichuan province. // J. Mineral. Petrol., 2019. – Vol. 39 (4). – P. 49-60. In Chinese with English abstract.
4. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? / Condie K. C. // Lithos. – 2005. – Vol. 79 (3–4). – P. 491–504.
5. Kamenetsky, V.S., Chung, S.L., Kamenetsky, M., Kuzmin, D.V. Picrites from the Emeishan Large Igneous Province, SW China: a Compositional Continuum in Primitive Magmas and their Respective Mantle Sources. // J. Petrol., 2012. -Vol. 53 (10). – P. 2095–2113.



6. Liang, Y.X., Li, H., Zhang, D.D., Yang, K., Zhou, D.W., Zheng, T.Y., Dong, Y.K., Zhai, L.G. Geochemical characteristics and genetic analysis of Huayingshan Emeishan basalt in Sichuan Basin. // Chin. J. Geol., 2021. – Vol. 56 (1). – P. 288-302. In Chinese with English abstract.

7. Zhang Z. et al. The origins of high-Ti and low-Ti magmas in large igneous provinces, insights from melt inclusion trace elements and Sr-Pb isotopes in the Emeishan large Igneous Province // Lithos, 2019. – Vol. 344–345. – P. 122-133.

