

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

**ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ГЕНЕЗИС ПОРОД
ПЛАГИОДАЦИТ-АНДЕЗИТ-БАЗАЛЬТОВОЙ САДРИНСКОЙ СВИТЫ
ГОРНОГО АЛТАЯ**

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные по петро-геохимии вулканитов садринской свиты раннего кембрия Горного Алтая. Показаны особенности петрологии пород в гомодромной последовательности от пикробазальтов до плагиодакитов. Обосновано отнесение пород к островодужному вулканизму. Генезис пород связан с частичным плавлением мантийных источников: гранатовых лерцолитов, шпинелевых лерцолитов мантии. В ходе эволюции происходила смена нормальных океанических базальтов к обогащённым мантийным расплавам. Не исключена возможность и плюмового источника в плавлении мантийныхмагм.

Ключевые слова: **эффузивы, пикробазальты, меланобазальты, базальты, лейкобазальты, андезиты, плагиодакиты, плавление обогащённой мантии, гранатовые лерцолиты, шпинелевые лерцолиты**

**PETRO-GEOCHEMICAL PECULIARITIES AND GENESIS OF ROCKS
PLAGIODACITE-ANDESITE-BASALT SADRINSKAJA SUITE
OF MOUNTAIN ALTAI**

Gusev A.I.

The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, anzerg@mail.ru

Data on petrogeochemistry of volcanic rocks of Sadrinskaja suite of Early Cambrian of Mountain Altai lead. Peculiarities of petrology of rocks in gomodromic consistent from picrobasalts to plagioclacite presented. Concerning of rocks to island arc of volcanism proved. The genesis of rocks related with partial melting of mantle sources: garnet lherzolites, spinel lherzolites jf mantle. Shift normal oceanic basalts (N-MORB) to enriched mantle melting happen in action evolution. The possibility of plum source in melting of mantle magmas do not exclude.

Keywords: **volcanic rocks, picrobasalts, melanobasalts, basalts, leucobasalts, andesites, plagioclacite, melting of enriched mantle, garnet lherzolites, spinel lherzolites**

Петро-геохимические особенности пород играют важную роль в расшифровке генезиса и петрологии интрузивных и эфузивных образований. В области развития эфузивных образований садринской свиты раннего кембрия в Горном Алтае и Горной Шории развиты проявления золота, меди и других металлов [2, 3]. В этой связи не вызывает сомнений актуальность изучения петро-геохимии и генезиса пород этой свиты. Цель исследований – петрохимическое изучение вулканитов садринской свиты для выявления генезиса пород.

Результаты исследований. Садринская свита раннего кембрия приурочена к Мрасско-Лебедской раннекаледонской складчатой зоне по рекам Мрас-су, Лебедь и её притокам – Каурчаку, Садре, Тогуне, Клыку, Байголу. Отложения свиты сложены эфузивами, тифроидами, граувакками. Изученные нами эфузивные образования (2000-2001 годы) представлены лавовыми потоками базальтов, меланобазальтов, лейкобазальтов, андезибазальтов и редкими горизонтами андезитов, плагиодакитов и пикробазальтов.

Пикробазальты приурочены к низам разреза и тесно ассоциируют с меланобазальтами. В пикробазальтах отчётливая порфировая микроструктура с интрателлурической фазой пироксена салитового состава и редкими выделениями плагиоклаза. Основная ткань породы сложена актинолитизированными и эпидотизированными зёрнами пироксена, плагиоклаза, редко оливина. Аксессории представлены ильменитом, магнетитом, сульфидами.

Мелабазальты порфировые с интрателлурической фазой пироксена, редко оливина и плагиоклаза. Микроструктуры основной массы породы гиалопилитовая и аповитропированная вторичная. Аксессории те же, что в пикробазальтах.

Базальты отличаются от мелабазальтов меньшим развитием темноцветных компонентов и большим – салических.

Лейкобазальты и андезибазальты отличаются обильными фенокристами плагиоклаза и отсутствием вкрапленников темноцветных минералов.

Химический состав пород садринской свиты приведен в таблице.

Представительные анализы эффузивов садринской свиты
(оксиды – масс.%, элементы – г/т)

| Компоненты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| SiO ₂ | 46,9 | 45,8 | 48,11 | 48,52 | 48,95 | 50,6 | 51,8 | 52,7 | 56,95 | 65,01 | 65,8 |
| TiO ₂ | 0,41 | 0,54 | 0,57 | 0,58 | 0,91 | 0,58 | 0,47 | 0,49 | 0,38 | 0,3 | 0,25 |
| Al ₂ O ₃ | 8,81 | 9,05 | 16,08 | 19,88 | 15,84 | 14,97 | 15,1 | 18,65 | 17,34 | 16,75 | 16,03 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,6 | 5,13 | 4,05 | 4,1 | 6,05 | 5,6 | 5,1 | 3,5 | 3,9 | 1,99 | 1,95 |
| FeO | 6,1 | 6,34 | 5,43 | 5,52 | 6,95 | 7,04 | 7,75 | 4,82 | 2,81 | 2,82 | 2,56 |
| MnO | 0,15 | 0,17 | 0,16 | 0,11 | 0,22 | 0,19 | 0,2 | 0,21 | 0,16 | 0,18 | 0,11 |
| MgO | 14,3 | 14,85 | 8,23 | 6,05 | 6,91 | 9,08 | 7,8 | 3,81 | 4,65 | 1,75 | 2,56 |
| CaO | 13,2 | 9,96 | 10,6 | 8,42 | 8,91 | 8,47 | 8,3 | 10,5 | 6,97 | 4,75 | 4,65 |
| Na ₂ O | 0,7 | 1,2 | 1,98 | 2,72 | 2,03 | 1,97 | 1,94 | 2,53 | 2,87 | 3,11 | 3,74 |
| K ₂ O | 0,3 | 0,19 | 0,52 | 1,38 | 0,89 | 0,53 | 0,61 | 0,74 | 1,65 | 1,34 | 0,75 |
| P ₂ O ₅ | 0,07 | 0,1 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,08 | 0,06 | 0,18 | 0,16 | 0,1 | 0,13 |
| Sc | 67 | 71,1 | 42,2 | 38,1 | 43,2 | 51 | 52 | 16,5 | 19 | 12 | 7 |
| V | 290 | 302 | 255 | 306 | 305 | 274 | 343 | 160 | 135 | 85 | 61 |
| Cr | 760 | 755 | 241 | 129 | 80,2 | 213 | 78 | 23 | 85 | 41 | 35 |
| Co | 53 | 54 | 34 | 23 | 33 | 38 | 35 | 13,1 | 17 | 14 | 6,2 |
| Ni | 85 | 90 | 68 | 15 | 32,9 | 12 | 9 | 15 | 8 | 9 | 5,2 |
| Pb | 1,5 | 2 | 3,1 | 3,1 | 2,3 | 1,4 | 1,5 | 5,1 | 4 | 5 | 3,4 |
| Cu | 32 | 30 | 49 | 20 | 70 | 5,5 | 5,3 | 21 | 9 | 10 | 5,6 |
| Zn | 45 | 50 | 65 | 13 | 79,8 | 8,5 | 8,3 | 44 | 8 | 9 | 5,7 |
| Ga | 10 | 9 | 13,6 | 10 | 13,6 | 5,8 | 6,4 | 15,2 | 11 | 12 | 6,6 |
| Li | 4 | 3 | 8,5 | 2,8 | 5,4 | 2,1 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 1,8 |
| Rb | 6 | 7 | 12 | 22 | 16 | 13 | 14 | 12 | 31 | 25 | 14 |
| Cs | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| Be | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 0,4 | 0,5 | 0,2 |
| Sr | 255 | 310 | 348 | 445 | 272 | 265 | 320 | 695 | 572 | 501 | 488 |
| Y | 13,5 | 13,1 | 13,8 | 14,2 | 20,2 | 14,7 | 10,4 | 16,6 | 12,8 | 11,6 | 10,8 |
| Zr | 15 | 11 | 20,7 | 21,2 | 31,0 | 29,6 | 35,2 | 37,2 | 51 | 63,2 | 43,1 |
| Nb | 0,9 | 1 | 1,4 | 0,8 | 1,6 | 0,8 | 0,7 | 2,1 | 2,6 | 3,1 | 2,4 |
| Ba | 85 | 90 | 365 | 710 | 275 | 294 | 385 | 375 | 843 | 894 | 550 |
| La | 2,3 | 2,2 | 5,3 | 5,3 | 4,25 | 3,3 | 2,84 | 11,92 | 10,5 | 10,6 | 11,1 |
| Ce | 6,1 | 6,2 | 12,9 | 13,03 | 11,23 | 7,31 | 6,57 | 26,1 | 20,6 | 19,3 | 21,2 |
| Pr | 0,6 | 0,7 | 1,63 | 1,89 | 1,65 | 1,11 | 0,91 | 3,05 | 2,5 | 2,3 | 2,34 |
| Nd | 4,1 | 4,3 | 7,55 | 8,9 | 8,1 | 4,85 | 4,7 | 12,43 | 9,9 | 9,1 | 7,98 |
| Sm | 1,3 | 1,3 | 1,93 | 2,3 | 2,2 | 1,56 | 1,31 | 2,7 | 2,3 | 1,8 | 1,63 |
| Eu | 0,45 | 0,42 | 0,68 | 0,7 | 0,82 | 0,62 | 0,36 | 0,85 | 0,57 | 0,55 | 0,48 |
| Gd | 1,3 | 1,2 | 2,11 | 2,88 | 2,62 | 2,21 | 1,75 | 2,81 | 2,5 | 1,61 | 1,88 |
| Tb | 0,31 | 0,3 | 0,41 | 0,46 | 0,58 | 0,42 | 0,31 | 0,48 | 0,33 | 0,28 | 0,35 |
| Dy | 1,95 | 1,94 | 2,23 | 2,51 | 3,58 | 2,54 | 1,83 | 2,56 | 1,9 | 1,65 | 1,77 |
| Ho | 0,45 | 0,44 | 0,55 | 0,56 | 0,8 | 0,58 | 0,38 | 0,59 | 0,47 | 0,34 | 0,38 |
| Er | 1,31 | 1,3 | 1,55 | 1,61 | 2,21 | 1,57 | 1,17 | 1,77 | 1,28 | 1,18 | 1,06 |
| Tm | 0,19 | 0,2 | 0,23 | 0,25 | 0,35 | 0,26 | 0,19 | 0,3 | 0,21 | 0,2 | 0,18 |
| Yb | 1,11 | 1,2 | 1,52 | 1,45 | 2,15 | 1,54 | 1,25 | 1,8 | 1,32 | 1,48 | 1,32 |
| Lu | 0,19 | 0,2 | 0,22 | 0,21 | 0,36 | 0,23 | 0,18 | 0,29 | 0,21 | 0,22 | 0,22 |
| Hf | 0,63 | 0,61 | 0,67 | 0,79 | 1,1 | 0,96 | 0,58 | 1,21 | 1,55 | 1,83 | 1,53 |
| Ta | 0,08 | 0,1 | 0,07 | 0,1 | 0,12 | 0,1 | 0,1 | 0,11 | 0,19 | 0,45 | 0,19 |
| Th | 0,5 | 0,6 | 0,83 | 0,55 | 0,6 | 0,6 | 0,59 | 2,1 | 2,16 | 2,21 | 2,63 |
| U | 0,41 | 0,35 | 0,5 | 0,19 | 0,45 | 0,31 | 0,41 | 1,43 | 1,21 | 1,38 | 1,43 |
| U/Th | 0,82 | 0,53 | 0,6 | 0,34 | 0,75 | 0,52 | 0,69 | 0,68 | 0,56 | 0,62 | 0,54 |
| Ba/Nb | 94,4 | 90,0 | 260,7 | 887 | 172 | 367 | 550 | 178 | 324 | 288 | 229 |
| La/Nb | 2,6 | 2,2 | 3,8 | 6,6 | 2,6 | 4,1 | 4,06 | 5,7 | 4,03 | 3,4 | 4,6 |
| La/Sm | 1,8 | 1,69 | 2,75 | 2,8 | 1,93 | 2,1 | 2,17 | 4,41 | 4,56 | 5,89 | 6,8 |

Примечание. Силикатные анализы выполнены в Лаборатории Западно-Сибирского Испытательного Центра (г. Новокузнецк), на редкие и редкоземельные элементы – методами ICP-MS и ICP-AES в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). 1-2 – пикробазальты, 3-4 – меланобазальты, 5-7 – базальты; 8 – лейкобазальт; 9 – андезит; 10-11 – плагиодиабазы.

Отношения U/Th в породах меньше единицы и указывают на неизмененность составов пород наложенными процессами (табл. 1).

По соотношениям Ba/Nb и La/Nb все породные попадают в поле дуговых вулканитов, подтверждая их островодужную геодинамическую обстановку формирования (рис. 1).

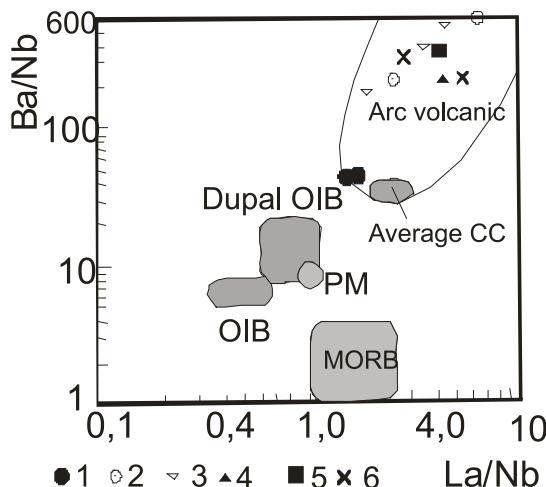


Рис. 1. Диаграмма Ba/Nb – La/Nb по [7] для пород садринской свиты:
1 – пикробазальты, 2 – меланобазальты,
3 – базальты, 4 – лейкобазальт, 5 – андезиты,
6 – плагиодиориты

По соотношениям La и Sm, нормализованных на содержания в верхней коре по [6] все породы садринской свиты имеют узкий интервал значений, в районе 0,55, отвечающий астеносферному источнику расплава, обогащенной мантии (рис. 2).

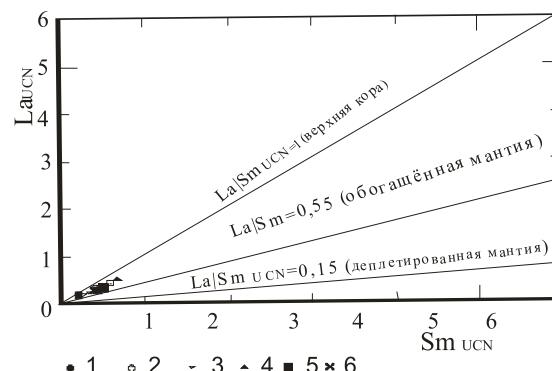


Рис. 2. Диаграмма LaUCN – SmUCN по [8, 9] для вулканитов садринской свиты
LaUCN и SmUCN – значения концентраций лантана и самария, нормализованные на верхне коровые значения по [6]. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

На экспериментальной диаграмме по плавлению различных мантийных источников в координатах La/Sm – La наблюдается значительный разброс фигуративных точек, указывающих на различные источники мантийного плавления (рис. 3).

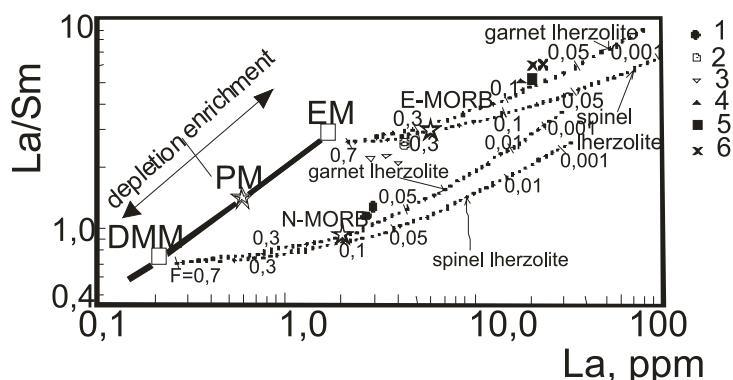


Рис. 3. Диаграмма La/Sm – La по [4] для вулканитов садринской свиты:
DMM – деплетированный мантийный источник MORB. PM – примитивная мантия;
EM – обогащенный мантийный источник; E-MORB – и N-MORB – составы обогащенных (E)
и нормальных (N), базальтов срединно-океанических хребтов; точечные линии – тренды плавления
источников DMM и EM, засечки с цифрами на точечных линиях – степень частичного плавления
для соответствующих мантийных источников. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Пикритовые базальты тяготеют к тренду плавления гарната-лерцолита (типа N-MORB) в промежутке между степенями плавления от 0,1 до 0,005. Меланобазальты и базальты тяготеют к тренду плавления

спинелевого лерцолита (типа E-MORB) со степенью частичного плавления 0,3. Все остальные разности (лейкобазальты, андезиты и плагиодиориты) тяготеют к тренду плавления гранатового лерцолита со

степенью частичного плавления от 0,1 до 0,005 (рис. 3).

На диаграмме Zr/Y – Zr/Nb фигуративные точки составов пород тяготеют к сред-

ней части линии смешения плюмового источника (OIB) и N-MORB (рис. 4). Это не исключает участие плюмового источника в генерации мантийных выплавок пород.

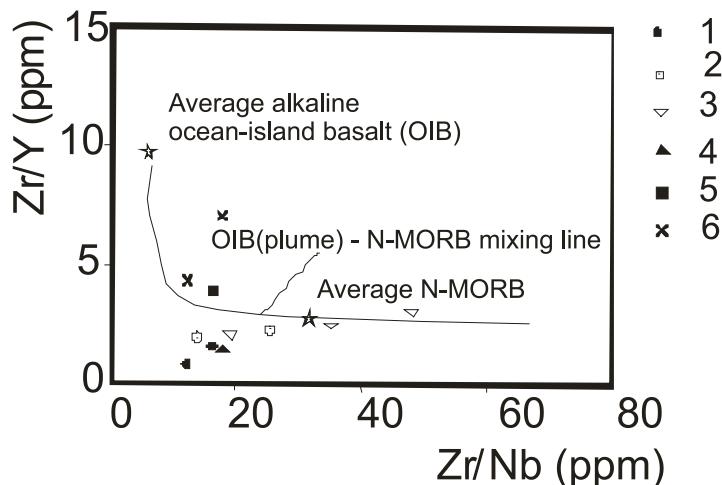


Рис. 4. Диаграмма Zr/Y – Zr/Nb по [10] для эфузивов садринской свиты

Звёздочками отмечены: Average alkaline ocean basalt (OIB) – средний состав щелочного океанического базальта (OIB); Average N-MORB – средний состав нормального океанического базальта; OIB (plume) – N-MORB mixing line – линия смешения плюмовых (OIB) базальтов и нормальных океанических базальтов. Остальные условные обозначения на рис. 1

Интерпретация результатов. Ранее базальтоиды садринской свиты относились к известково-щелочным базальтам и рассматривались в качестве островодужных образований [2, 3]. Г.А. Бабиным и Н.Н. Круком [1] базальтоиды садринской свиты рассматриваются также как островодужные толеиты и переходные к известково-щелочным базальтам, формирование которых приурочено к начальному этапу развития примитивной (океанической) островной дуги.

Новые данные, приведенные выше указывают, что генерация вулканитов садринской свиты протекала в гомодромной последовательности в сложных условиях частичного плавления гранатовых лерцолитов для пикритов, шпинелевых лерцолитов для меланобазальтов и базальтов, и частичного плавления гранатовых лерцолитов для формирования лейкобазальтов, андезитов и плагиодакитов. Возможно участие плюмового источника в генерации мантийных выплавок базальтоидов садринской свиты.

Заключение

Вулканогенные образования садринской свиты, включающей в себя пикробазальты, меланобазальты, базальты, лейкобазальты, андезиты и плагиодакиты формировались в условиях различной степени частичного плавления гранатовых лерцолитов и шпинелевых лерцолитов обогащённой мантий-

ной природы. Не исключается участие плюмового источника мантийных выплавок.

Список литературы

- Бабин Г.А., Крук Н.Н. Петротипы каечакского базальтового, садринского плагиодакит-андезит-базальтового и атлинского андезибазальт-базальтового комплексов ранненого кембрия (Горная Шория, северо-восточная часть Горного Алтая). – Новосибирск: СНИИГГи МС, 2011. – 80 с.
- Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТТ, 2003. – 308 с.
- Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. – Gainsburgh: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
- Aldanmaz 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. -V. 102. -P. 67-95.
- Castillo P.R. Origin of the adakite – high-Nb basalt association and its implications for postsubduction magmatism in Baja California, Mexico // GSA Bull., 2008. -V. 120. -№ 3-4.- P. 451-462.
- McLennan S.M. Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust // Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2001. – V. 2. – Paper 2000GC000109. – 24 p.
- Pang K.-N., Zhou M.-F. et al. Erratum to “Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW Chin” // Lithos, 2013. – V. 119. – Pp. 123-136.
- Pearce J.F. A user’s guid to basalt discrimination diagrams//Geological Ass. Of Canada Short Course Notes, 1996. – V. 12. – Pp. 79-113.
- Putirka K., Busby C.J. The tectonic significance of high-K₂O volcanism in the Sierra Nevada, California // Geology, 2007. – V. 35. – Pp. 923-926.
- Saccani E., Arimzadeh Z., Dilek Y., Jahaniri A. Geochronology and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria // Lithos, 2013. – V. 175-176. – Pp. 264-278.