

УДК 55(1/9):550.42:546:552.11

**ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ АДАКИТОВ САГАНСКОЙ СВИТЫ  
СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ БАЙГОЛ В ГОРНОМ АЛТАЕ****Гусев А.И.***Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,  
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные по геохимии и петрологии эффузивных адакитов саганской свиты девона по реке Байгол Горного Алтая. Адакиты представлены андезитами андези-дацитами вулканогенной природы. Для них характерны повышенные концентрации циркония, ванадия, хрома, никеля, кобальта и пониженные – Y, Yb, Rb. Они относятся к металалюминиевым разностям. Коэффициент Mg# сравнительно низок и варьирует от 0,17 до 0,4, указывая на сравнительно низкую магнезиальность пород. Их генерация связана с плавлением верхнемантийного источника (кварцевых эклогитов и амфиболитов) и смешением с коровым материалом. С вулканогенными адакитами связано медно-молибден-золото-порфировое и эпитермальное золото-серебряное оруденение.

**Ключевые слова:** андезиты, андези-дациты, адакиты, геохимия, петрология, плавление мантийных субстратов, мантийно-коровое взаимодействие, эпитермальное оруденение, золото, серебро

**GEOCHEMISTRY AND PETROLOGY ADAKITES OF SAGASKAJA SUITE  
THE MIDDLE WATERCOURSE RIVER BAIGOL IN MOUNTAIN ALTAI****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail. ru*

Data on geochemistry, petrology of volcanogenic adakites of Saganskaja suite of Devonian on river Baigol of Mountain Altai lead. Adakites occurred by andesites and andesi-dacites of volcanogenic nature. High concentration of zirconium, vanadium, chromium, nickel and low contents of Y, Yb, Rb characterized for their. They are treat to metaaluminous differences. Coefficient Mg# is low and vary from 0,17 to 0,4, pointing on low magnesium number of rocks. Generation of rocks related with melting of upper mantle sources (quartz eclogites, amphibolites) and mixing with crust material. Copper-molibdenium-gold porphyries and epithermal gold-silver ore mineralization related with volcanogenic adakites.

**Keywords:** andesites, andesi-dacites, adakites, geochemistry, petrology, melting mantle substrates, mantle-crust interaction, epithermal ore mineralization, gold, silver

К адакитовому типу вулканитов (AD) относятся специфические эффузивные породы, преимущественно, андезитового и андези-дацитового состава. К числу таких признаков относятся очень низкие концентрации иттрия (менее 18 г/т), иттербия (менее 1,8 г/т), повышенные содержания ванадия и хрома, высокие нормированные к хондриту отношения лантана к иттербию (более 8-10). Актуальность изучения вулканогенных и субвулканических адакитов обусловлена тем, что с ними связаны различные типы оруденения в Горном Алтае (медно-золото-порфировое, эпигенетическое золото-серебряное и другие). Цель исследования – изучение геохимических особенностей и петрологии эффузивных адакитов р. Байгол.

**Геохимия и петрология вулканогенных  
адакитов саганской свиты**

В районе реки Байгол на Алтае среди девонских вулканитов саганской свиты выявлены породы, обнаруживающие близость к адакитам. Они представлены андезитами андезитовыми порфиритами и андези-дацитами, слагающими потоки лав, перемежающихся с пирокластолитами, лавами анде-

зи-базальтов и базальтов. Мощности потоков составляют несколько десятков метров. Местами эти породы слагают палеовулканические постройки и в районе р. Байгол эти ареалы вулканитов нередко образуют кольцевые постройки. В пространственной связи с ними отмечаются проявления медно-молибден-золото-порфирового типа, ассоциирующие с эпигенетическими золото-серебряными и самородной меди проявлениями [1-3].

Андезиты характеризуются обилием интрателлурических вкрапленников андезина (№ 31–38) – 32–45%, авгита – 5–8%, редко – ромбического пироксена (1-2%). Чаще ромбический пироксен замещается агрегатными псевдоморфозами серпентина 6–8% и магнезита 3–4%. Микропойкилитовая основная масса состоит из кварца (10%) с многочисленными микролитовыми вросками плагиоклаза и редкими выделениями пироксена. Кроме них присутствуют хлорит 5–6, клиноцоизит и эпидот 3–4 и рудный минерал 5–6% (пирит, магнетит).

Андези-дациты, в отличие от андезитов, имеют большее количество кварца в основной ткани породы и меньшее количество темноцветных минералов. Иногда кварц

появляется в составе интрателлурической фазы в виде округлых выделений.

Химический состав пород представлен в таблице.

Представительные анализы андезитов и андези-дацитов саганской свиты р. Байгол (оксиды в масс. %, элементы в г/т)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	58,31	57,81	59,21	59,01	56,12	59,32	66,7
TiO <sub>2</sub>	1,2	1,21	1,31	0,9	0,81	0,82	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,27	19,67	16,85	17,41	17,62	16,55	15,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,5	6,69	4,83	5,82	6,2	5,18	2,11
FeO	0,95	1,04	3,2	1,01	1,03	0,97	1,01
MnO	0,09	0,06	0,08	0,11	0,09	0,15	0,16
MgO	2,03	1,52	2,85	3,84	2,75	3,05	0,6
CaO	1,68	1,96	1,55	1,57	3,84	4,45	1,3
Na <sub>2</sub> O	6,45	6,11	6,14	5,32	6,18	5,0	6,12
K <sub>2</sub> O	1,02	1,65	0,42	1,77	1,08	1,7	1,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,38	0,3	0,33	0,2	0,21	0,22	0,16
Cr	60	62	59	58	60	57	45
V	130	131	126	125	130	127	111
Ni	39	40	34	33	38	32	21
Co	16	17	17	15	18	16	14
Cu	131	128	132	135	127	130	95
Zn	153	143	155	160	140	152	141
Sb	5,1	4,0	5,0	4,5	4,1	5,0	7,5
Rb	59	70	65	62	60	63	72
Ba	263	253	265	260	255	262	280
Sr	159	155	160	152	148	155	175
Nb	6,3	6,0	6,8	6,5	6,1	6,2	6,0
Ta	0,37	0,36	0,4	0,35	0,34	0,33	0,4
Zr	128	127	130	123	125	124	135
Hf	3,2	3,2	3,5	3,4	3,3	3,3	3,8
Y	12,5	10,5	14,8	16,8	12,6	11,8	10,2
Th	3,0	2,1	1,9	1,92	2,05	2,3	2,5
U	1,45	1,33	0,85	0,95	1,07	1,1	1,3
La	13,5	9,3	13,8	10,5	9,4	10,6	18,8
Ce	28,1	21,5	29,0	23,5	21,6	24,0	35,5
Pr	3,3	2,7	3,45	3,11	2,8	3,13	4,11
Nd	13,7	11,5	14,0	13,3	11,8	13,5	14,8
Sm	3,2	2,3	3,1	4,15	2,5	4,2	2,41
Eu	0,95	0,82	1,02	1,03	0,83	0,95	0,81
Gd	3,3	2,9	3,0	4,1	2,72	4,0	2,2
Tb	0,42	0,55	0,4	0,75	0,41	0,74	0,3
Dy	2,3	2,3	2,2	3,93	2,3	3,91	1,8
Ho	0,56	0,43	0,45	0,76	0,44	0,75	0,35
Er	1,5	1,32	1,23	1,8	1,33	1,75	1,11
Tm	0,25	0,19	0,17	0,28	0,18	0,29	0,17
Yb	1,14	1,22	1,12	1,52	1,38	1,41	1,2
Lu	0,25	0,22	0,2	0,23	0,19	0,2	0,2
ΣREE	84,97	67,75	87,94	85,76	70,48	81,23	93,96
Th/U	2,06	1,58	2,23	2,02	1,91	2,09	1,92
(La/Yb) <sub>N</sub>	7,82	5,03	8,14	4,56	4,5	4,96	10,34
Sr/Y	12,7	14,7	10,8	9,0	11,7	13,1	17,1
Eu/Eu*	0,94	0,98	1,02	0,76	0,98	0,71	1,07
Mg#	0,17	0,19	0,37	0,4	0,31	0,37	0,22

Примечание. Значения PЗЭ нормированы по хондриту по [5]. 1-6 – андезиты, 7 – андези-дацит. Mg#=[Mg/(Mg+Fe<sub>2</sub>)].

Для пород саганской свиты характерны повышенные концентрации циркония, ванадия, хрома, никеля, кобальта и пониженные – Y, Yb, Rb. Колебания суммы редких земель составляют от 67,75 до 93,96. Нормированные к хондриту отношения  $(La/Yb)_N$  относительно повышенные (от 4,5 до 10,34) и указывают на дифференцированный тип распределения редкоземельных элементов (РЗЭ). Варьирование отношений  $Eu/Eu^*$  указывает на слабую негативную аномалию Eu (0,71-0,98), или на слабую позитивную аномалию

Eu (1,02-1,07) (таблица). Коэффициент  $Mg\#$  сравнительно низок и варьирует от 0,17 до 0,4, указывая на сравнительно низкую магнезиальность пород.

Отношения Th/U превышают 1 (от 1,58 до 2,23), указывая на то, что проанализированные породы могут рассматриваться не изменёнными наложенными процессами (таблица).

На канонических диаграммах все вулканогенные породы саганской свиты локализируются в поле метаалюминиевых разностей (рис. 1.а), а также железистых и магнезиальных пород (рис. 1, б).

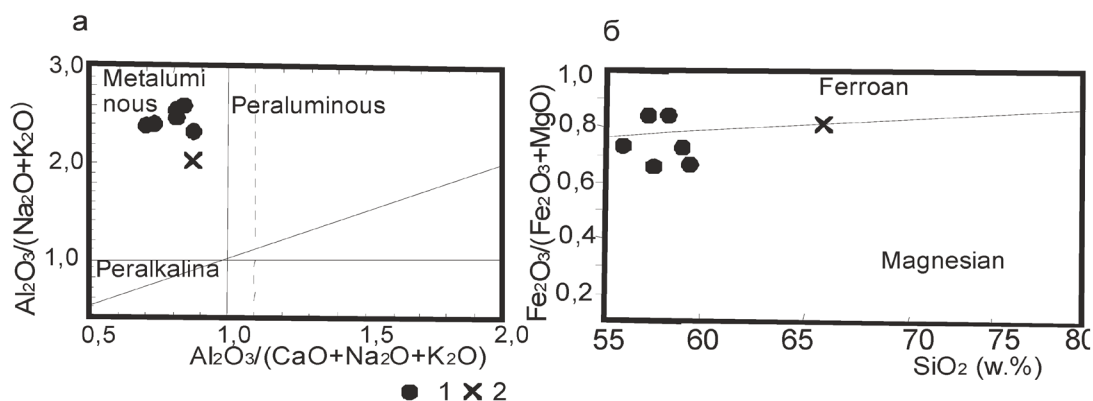


Рис. 1. а – диаграмма  $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O) - Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$  по [10] и б – диаграмма  $SiO_2 - Fe_2O_3/(Fe_2O_3+MgO)$  по [11] для андезитов и андезидацитов р. Байгол: 1 – андезиты, 2 – андезидациты

На диаграмме соотношений Sr/Y – Y вулканыты саганской свиты попадают в поле адакитов и лишь один анализ анде-

зитов – в поле перекрытия адакитов и нормальных типичных островодужных вулканических пород (рис. 2).

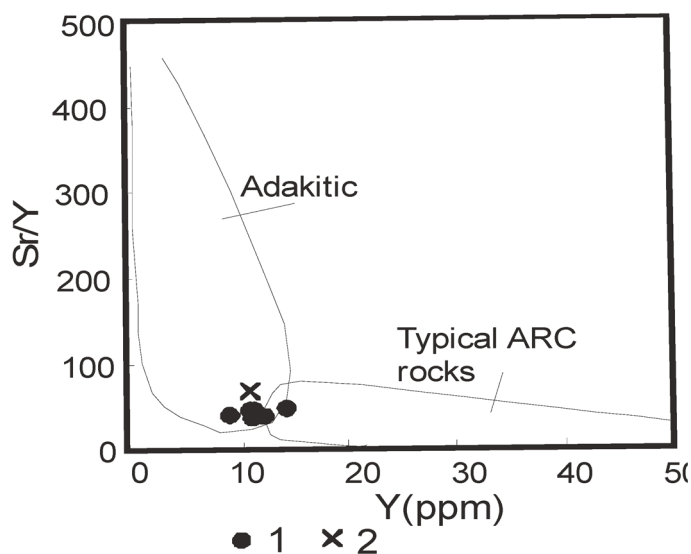


Рис. 2. Диаграмма Sr/Y – Y по [7] для вулканогенных пород р. Байгол. Условные обозначения как на рис. 1

На большинстве экспериментальных диаграмм все породы саганской свиты попадают или тяготеют к полю плавления амфиболитов и только по соотношениям  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/(\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2) - (\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2)$  андези-дациты попадают в поле плавления метаграувак (рис. 3).

По соотношениям  $\text{A}/\text{CNK} - \text{SiO}_2$  все фигуративные точки составов пород са-

ганской свиты выстраиваются вдоль тренда известково-щелочных вулканических пород орогенических регионов (рис. 3, d).

На диаграмме соотношений  $\text{La}/\text{Nb} - \text{Ce}/\text{Y}$  фигуративные точки составов пород тяготеют к обоим трендам – плавления мантии и смешения с материалом коры (рис. 4).

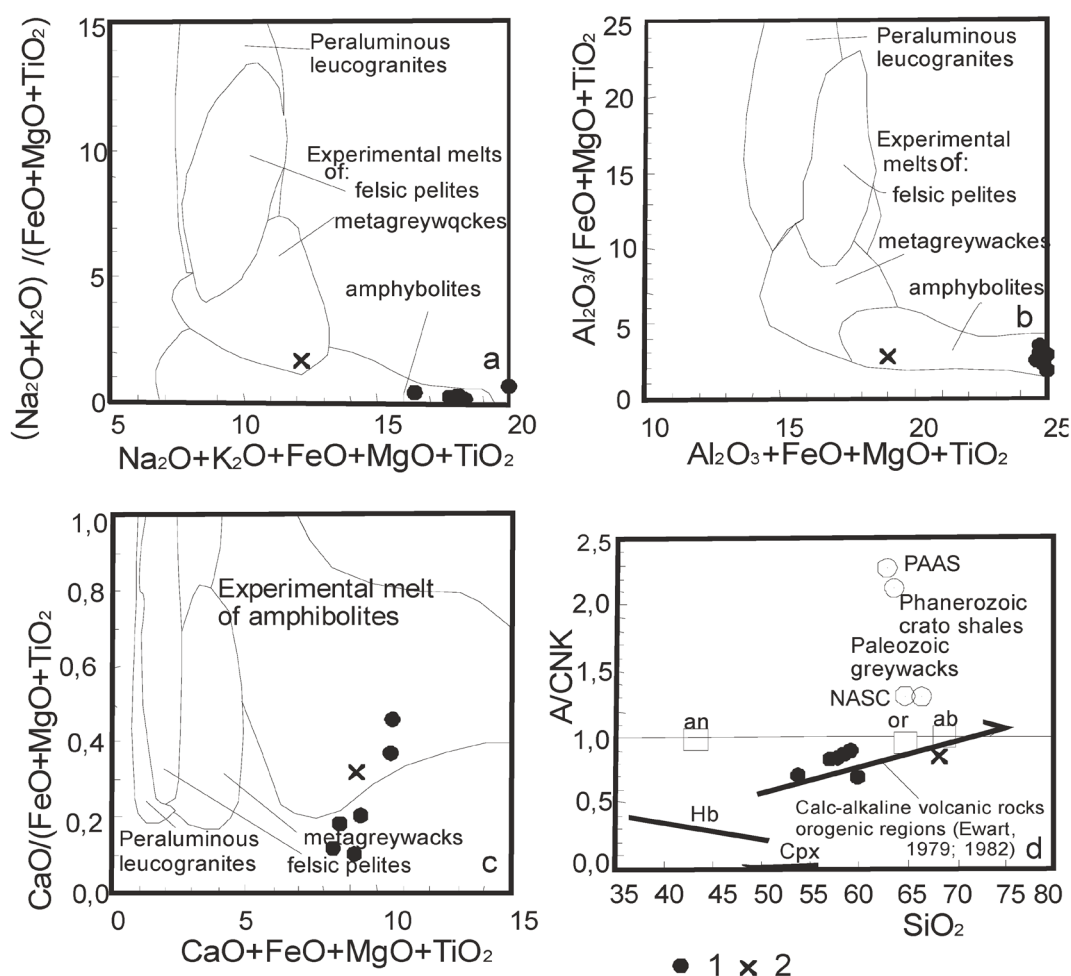


Рис. 3. Экспериментальные диаграммы: (a), (b), (c) – диаграммы композиционных экспериментальных расплавов из плавления фельзических пелитов (мусовитовых сланцев), метаграувак и амфиболитов для пород саганской свиты; (d) – диаграмма  $\text{SiO}_2 - \text{A}/\text{CNK}$  для пород саганской свиты. Тренд известково-щелочного фракционирования вулканических пород орогенных регионов, по [8, 9]. А –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CNK – Сумма  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ . Остальные условные те же, что на рис. 1

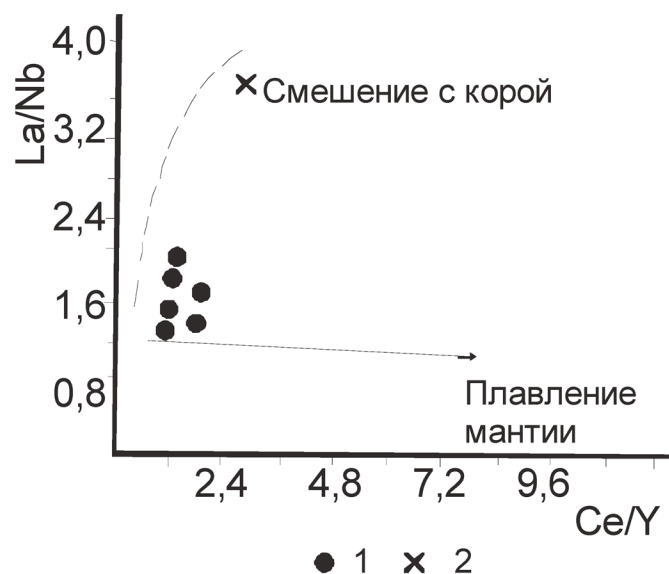


Рис. 4. Диаграмма соотношений  $Ce/Y - La/Nb$  по [6] для породных типов саганской свиты. Остальные условные те же, что на рис. 1

#### Интерпретация результатов

Приведенные данные показывают, что среди средне-девонских эффузивов Уймено-Лебедского прогиба Горного Алтая, выявляются адакиты, представленные андезитами и андези-дацитами, показывающими признаки образования за счёт плавления амфиболитов. Эти данные подтверждают основную закономерность генерации интрузивных адакитовых грани-

тоидов Алтае-Саянской складчатой области [4]. Формирование эффузивных адакитов происходило сложным путём: проявлено плавление мантийного субстрата и смешение с материалом земной коры. Соотношение нормированных к хондриту  $(La/Yb)_N$  к  $(Yb)_N$  однозначно указывает на плавление верхнемантийных кварцевых эклогитов и амфиболитов с небольшим содержанием граната (3-5%) (рис. 5).

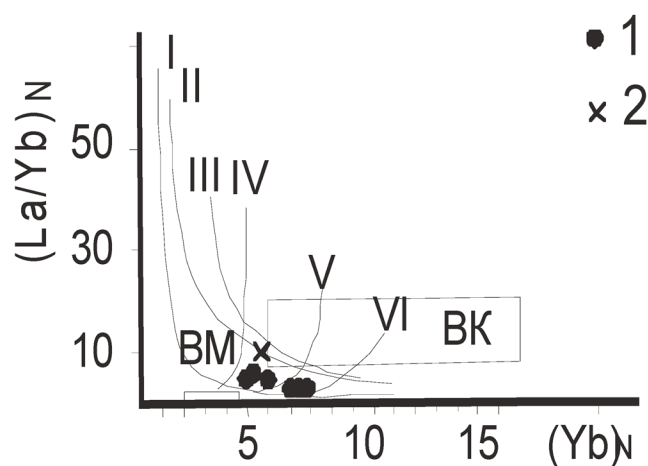


Рис. 5. Диаграмма  $(La/Yb)_N - (Yb)_N$  по [6] для пород саганской свиты. Тренды плавления различных источников: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 3%; BM – верхняя мантия; BK – верхняя кора. Остальные условные см. на рис. 1

### Заключение

Таким образом, в девонском этапе развития Горного Алтая получил развитие адакитовый магматизм в эффузивной и субвулканической фазах. Его генерация связана с плавлением мантийного субстрата (кварцевых эклогитов и амфиболитов) и смещение с материалом земной коры. Процессы мантийно-корового взаимодействия при изученных генерации адакитовых сопровождались формированием связанных с ними медно-молибден-золото-порфириновых и эпитеермальных золото-серебряных типов оруденения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. Эпитеермальное оруденение благородных металлов Горного Алтая и Горной Шории // Известия Томского политехнического университета. – Томск. – 2005. – №3. – Том. 308. – С. 32-35.
2. Гусев А.И. Типизация эпитеермального оруденения серебра в Горном Алтае и Северо-Западной Монголии // Современные наукоёмкие технологии, 2014. – №4. – С. 23-28.
3. Гусев А.И. Эпитеермальное оруденение благородных металлов Горного, Рудного Алтая и Горной Шории // Современные наукоёмкие технологии, 2014. – №4. – С. 28-33.
4. Гусев А.И. Петрология адакитовых гранитоидов. – М.: Изд-во РАН, 2014. – 152 с.
5. Anders E., Greevesse N. Abundances of the elements: meteoric and solar // *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 1989. – V. 53. – P. 197-214.
6. Barbarin B. A Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // *Lithos.* – 1999. – V. 46. – Pp. 605-626.
7. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // *Nature*, 1990. – V.347. – №4. – P. 662-665.
8. Ewart A. A review of the mineralogy and chemistry of Tertiary – Recent dacitic, latitic, rhyolitic and related salic rocks. – *Trondjemites, Dacites and Related Rocks.* – Amsterdam. – 1979. – Pp. 13-121.
9. Ewart A. The mineralogy and petrology of Tertiary – Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range. – *Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks.* – Chichester. – 1982. – Pp. 25-95.
10. Maniar P.D., Piccoli P.M. Tectonic discrimination of granitoids // *Geological Soc. America Bulletin*, 1989. – V.101. – Pp. 635-643.
11. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A re-examination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // *Trans. of Royal Soc. of Edinburg Earth Science*, 1998. – V. 89. – P. 113-119.