

УДК 552.3:550.4:550.42:550.93

## АДАКИТОВЫЕ ГРАНИТОИДЫ СУМСУНУРСКОГО БАТОЛИТА ВОСТОЧНОГО САЯНА: ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ

Гусев А.И., Гусев А.А.

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

Описан состав Сумсунурского батолита рифейского возраста, сложенного кварцевыми диоритами, тоналитами, трондjemитами, а также дайками лейкогранитов и аплитов, отнесенных по сумме признаков к адакитовым гранитоидам. Среди тоналитов и трондjemитов по минеральному и химическому составам выделяются по две разновидности. В трондjemитах и аплитах проявлены два типа тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ. Установлено, что в процессе генерации адакитовых гранитоидов участвовали разнородные источники плавления субстрата: мантийный и коровый. Становление породных типов происходило при участии флюидов мантийной природы и корового обводнения. Выдвинуто предположение, что формирование комплексного и крупного по запасам золотого Зун-Холбинского месторождения описываемого района принимали различные источники (мантийные и коровые). Взаимодействие последних генерировало золотое оруденение. Высказано предположение о пространственной и парагенетической связи оруденения с ранне-палеозойским холбинским и более древним рифейским сумсунурским комплексами.

**Ключевые слова:** адакитовые гранитоиды, кварцевые диориты, тоналиты, трондjemиты, аплиты, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ, мантийные и коровые источники, золота

## ADAKITIC GRANITOIDS SUMSUNURSKII BATHOLITH OF THE EASTERN SAJAN: PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY

Gusev A.I., Gusev A.A.

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Composition of Sumsunurskii batholith of Riphean age are described that it was composed by quartz diorite, tonalite, trondhjemite and dike of leucogranite and aplite so, that their ascribed to adakitic granitoids. Two varieties detached between tonalite and trondhjemite on chemical and mineral composition. Two types tetrad effects of fractionation REE in trondhjemite and aplite. The diversity sources of melting put up in the process of generating adakitic granitoids: mantle and crust. Turning of rock types of batholiths took place on participation fluids of mantle nature and crust watering. Different sources (mantle and crust) took place in forming of complex and big on assay values gold Zun-Kholbinskoje deposit was supposed. Interaction crust and mantle sources generated gold mineralization. Assuming expressed about dimensional and paragenetic connecting ore mineralization with Early Paleozoic kholbinskii and more older Riphean sumsunurskii complexes.

**Keywords:** adakitic granitoids, quartz diorite, tonalite, trondhjemite, aplite, tetrad effect fractionation of REE, mantle and crust sources, gold

К адакитовому типу гранитоидов относятся специфические кислые интрузивные породы, обнаруживающие сходство с эффузивными адакитами. К числу таких признаков относятся очень низкие концентрации иттрия (менее 18 г/т), иттербия (менее 1,8 г/т), [7–9], повышенные содержания ванадия и хрома, высокие нормированные к хондриту отношения лантана к иттербию (более 8–10), указывающие на сильно дифференцированный тип распределения РЗЭ в породах. Актуальность изучения адакитовых гранитоидов более чем очевидна, так как пространственно и парагенетически с ними связаны многочисленные месторождения и проявления золота, в том числе объект мирового класса золото-черносланцевого типа – Бакырчик в Восточном Казахстане [3].

Сумсунурский гранитоидный батолит позднего рифея – нижнего палеозоя приурочен к зоне сочленения Гарганской архейской глыбы и Главного Саянского разлома. В составе батолита известны габброиды, кварцевые диориты, тоналиты, трондjemиты, лейкограниты, аплиты. Батолит сопрово-

ждается комплексом даек: микродиоритов, долеритов, габбро-порфиринов, диоритовых порфиринов, риолитов и дацитов.

Кварцевые диориты серой окраски массивными местами трахитоидные, как правило, имеют порфировидную структуру. Сложены они плагиоклазом (50–60%), кварцем (24–30%), биотитом (15–20%), роговой обманкой (10–15%). Темноцветные минералы замещены нередко хлоритом, эпидотом, карбонатом. Аксессуары представлены апатитом, цирконом, сфеном, редко сульфидами. Плагиоклаз интрателлурической фазы сложен андезином-олигоклазом (№№ 21–36) и имеет нередко прямую зональность. Для кварцевых диоритов характерны: самые низкие концентрации бария и высокие концентрации стронция, отношения  $Eu/Eu^*$  в сравнении с остальными породными типами (табл. 1). Они демонстрируют сильно дифференцированный тип распределения РЗЭ, судя по соотношению  $La/Yb_N$ , составляющему 15,6. Химический состав породных типов Сумсунурского батолита сведен в табл. 1.

Таблица 1

Представительные анализы породных типов Сумсунурского батолита

Оксиды (масс. %) и элементы (г/т)	Кварцевые диориты	Тоналиты	Тоналиты	Трондjemиты	Аплиты	Трондjemиты
SiO <sub>2</sub>	61,31	66,79	66,95	72,54	75,22	72,43
TiO <sub>2</sub>	0,55	0,43	0,40	0,19	0,06	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,99	15,35	15,23	14,51	13,46	14,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	1,4	1,35	1,2	0,6	1,3
FeO	4,24	2,81	2,88	1,42	0,9	1,28
MnO	0,11	0,08	0,07	0,07	0,02	0,06
MgO	2,54	1,47	1,44	0,53	0,15	0,51
CaO	4,86	3,65	3,62	2,25	0,94	2,23
Na <sub>2</sub> O	3,74	3,97	3,98	4,11	3,91	4,10
K <sub>2</sub> O	1,58	1,74	1,75	2,12	2,14	2,19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,14	0,13	0,08	0,11	0,07
Li	14	13	14	14	5	19
Be	3	1,9	2,0	1,8	2	2,2
Sc	9,5	9,2	9,3	9,0	6,7	9,5
Rb	39	41	40	37	66	40
Cs	3	2	2,1	2	1	2,1
Ba	525	600	612	986	765	990
Sr	610	512	524	370	185	378
Ta	0,35	0,43	0,45	0,31	0,4	0,33
Nb	3,5	3,3	3,4	3,1	3,0	3,2
Zr	115	117	120	103	49	110
Hf	3,5	3,2	3,3	3,1	2,5	3,2
F	410	450	455	160	550	580
Sn	1,7	1,6	1,6	1,2	1,3	1,3
W	1,0	1,2	1,21	1,1	0,9	1,5
Pb	9	10	11	19	30	21
Zn	75	70	75	35	38	39
Co	17	12	13	6	5	8
Ni	14	16	17	8	12	9
Cr	35	30	33	12	13	15
V	150	75	80	20	10	25
Mo	0,9	0,7	0,9	0,6	1,8	0,9
Cu	25	15	18	16	20	16
La	38	15	80	19	9,5	35
Ce	53	26	142	29	24	44
Pr	7,1	3,5	16	2,6	3	5,4
Nd	27	13	34	13	9,6	16,5
Sm	4,3	3,1	6,3	1,8	1,8	2,2
Eu	1,1	0,87	1,2	0,64	0,24	0,32
Gd	3,3	2,6	4,5	2,4	2	2,5
Tb	0,5	0,4	1,1	0,3	0,2	0,7
Dy	3,3	2,3	2,9	2,1	3,3	1,6
Ho	0,63	0,47	0,5	0,55	0,4	0,3
Er	1,4	1,4	1,7	1,2	2	1,0
Tm	0,2	0,1	0,4	0,1	0,08	0,2
Yb	1,6	1,3	2,0	1,1	1,9	0,82
Lu	0,2	0,19	0,21	0,15	0,26	0,11
Y	21	17	16	10,5	18	7,2
La/Nb	10,86	4,54	23,52	6,12	3,17	10,94

Окончание табл. 1

Оксиды (масс. %) и элементы (г/т)	Кварцевые диориты	Тоналиты	Тоналиты	Трондьемиты	Аплиты	Трондьемиты
Ce/Y	2,52	1,53	8,87	2,76	1,33	6,11
∑ РЗЭ	162,63	87,23	308,8	84,44	162,68	117,8
La/Yb <sub>N</sub>	15,6	7,5	11,3	26,3	3,3	28,5
Eu/Eu*	0,8	0,08	0,089	0,6	0,039	0,41
Nb/Ta	10,0	7,7	7,6	10,0	7,5	9,7
TE <sub>1,3</sub>	0,91	0,95	0,92	0,76	1,12	1,12

Примечание. Силикатные анализы на главные компоненты и на элементы методом ICP-MS выполнены в Лаборатории ИМГРЭ (г. Москва). TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [7]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [4].

Доминирующие по распространённости в составе батолита крупно-среднезернистые порфирированные тоналиты имеют зеленовато-серую окраску. Это массивные породы с гипидиоморфнозернистой микроструктурой основной ткани. В краевых частях plutона они приобретают трахитоидность. Состав тоналитов (объёмные %): плагиоклаз – 60, кварц – 30–35, биотит – 9–16, роговая обманка – 3, микроклин – 3–6. Плагиоклаз диагностируется олигоклазом и андезином. Из вторичных минералов отмечаются хлорит, эпидот, карбонаты. Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, реже – ортитом, сфеном, рутилом, титаномагнетитом, сульфидами. По минеральному составу возможно выделение двух разновидностей тоналитов: 1 – тоналиты с крупными гломеропорфирированными выделениями биотита и частыми выделениями ортита, и 2 – тоналиты без гломеропорфирированных выделений биотита, лишённых ортита. Первой разновидности отвечает анализ тоналита с высокими содержанием суммы редких земель (308,8 г/т), второй анализ – с низким содержанием суммы редких земель (87,23 г/т) (табл. 1). Первая разновидность имеет более высокое отношение лёгких РЗЭ к тяжёлым (La/Yb<sub>N</sub> = 11,3), что указывает на более продвинутый тип дифференциации редких земель.

Трондьемиты – крупнозернистые породы светло-серой окраски. Структура гипидиоморфнозернистая. Состав (%): плагиоклаз (олигоклаз № 14–22) – 50, кварц – 30–40, биотит – 10–15, калиевый полевой шпат – 10–15. Акцессорные минералы – апатит, циркон, сульфиды, изредка гранат. Местами в интерстициях отмечаются микропегматитовые срастания плагиоклаза, калиевого полевого шпата и кварца. Из вторичных минералов отечаются эпидот, хлорит, развивающиеся по биотиту. Трон-

дьемиты характеризуются самыми высокими концентрациями бария и пониженными – стронция, иттрия, суммы РЗЭ. Для них свойственны самые высокие отношения La/Yb<sub>N</sub>, указывающие на сильно дифференцированный тип распределения редких земель. Среди трондьемитов выделяются два типа по значениям тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ: 1 – с низкими значениями (TE<sub>1,3</sub> = 0,76), отвечающие W-типу тетрадного эффекта, и 2 – с высокими значениями (TE<sub>1,3</sub> = 1,12), отвечающие M-типу тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ по [9]. Оценка величин тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ и некоторых отношений элементов приведены в табл. 2.

Устанавливается, что в трондьемитах с обоими типами тетрадного эффекта отношения Y/No, и Zr/Hf меньше, чем таковые в хондритах, а отношения Eu/Eu\*, La/Lu, Sr/Eu – намного превышают такие же отношения элементов в хондритах, что свидетельствует о значительном фракционировании указанных элементов при формировании адакитовых гранитоидов Сумсунурского батолита.

Одновременное проявление двух типов тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в интрузивных породах выявлено нами ранее в шошонитовых гранитоидах горы Бык в районе уранового месторождения на Кавказских Минеральных Водах, что связывалось нами с влиянием на распределение РЗЭ двух источников флюидов: эндогенных (мантийных), обогащённых фтором, и экзогенных, обогащённых водой вмещающих пород [2]. Вероятно, такие же условия существовали и при формировании трондьемитов Сумсунурского батолита.

Дайки мелкозернистых лейкогранитов и аплитов – это мелкозернистые породы светло-серой и розовато-серой окраски с гипидиоморфнозернистой и микропегма-

титовой микроструктурами. Они состоят из (%): кварца (40–42), олигоклаза – альбита (35–40), калиевого полевого шпата (20–25), биотита (5–8). Из вторичных минералов отмечаются мусковит и серицит, развивающиеся по полевым шпатам. Акцессории охватывают круг минералов – апатит, циркон, пирит. В их химизме заметно повышенное количество рубидия и повышенное – стронция. В аплиты самые низкие отношения

La/Yb<sub>N</sub>, свойственные породам с низкой степенью дифференциации РЗЭ. В них наиболее чётко просматривается негативная европиевая аномалия (соотношение Eu/Eu\* = 0,039). В аплиты выявлен М – тип тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ (TE<sub>1,3</sub> = 1,12), обусловленный влиянием флюидного режима магматогенного этапа с формированием фтор-комплексов редких земель при их переносе во флюидах.

Таблица 2

Отношения химических элементов и значения тетрадного эффекта фракционирования РЗЭ в породах Сумсунурского батолита

Отношения элементов и значения тетрадного эффекта	Кварцевый диорит	Тоналит	Тоналит	Трондьемит	Трондьемит	Аплит	Хондриты
Y/No	33,3	36,2	32,0	19,1	24,0	45,0	29,0
Eu/Eu*	0,8	0,08	0,089	0,6	0,41	0,039	0,32
La/Lu	190	78,9	380,9	126,7	318,2	36,5	0,975
Zr/Hf	32,8	36,5	36,4	33,2	34,4	19,6	36,0
Sr/Eu	554,5	588,5	436,7	578,1	1181,2	770,8	100,5
TE <sub>1,3</sub>	0,91	0,95	0,92	0,76	1,12	1,12	-

Примечание. TE<sub>1,3</sub> – тетрадный эффект по В. Ирбер [7]. Eu\* = (Sm<sub>N</sub> + Gd<sub>N</sub>)/2. Значения РЗЭ нормированы по хондриту по [4].

Тоналиты и трондьемиты диорит-тоналит-трондьемитовой ассоциации Сумсунурского, Гарганского и Урикского массивов Восточного Саяна (абсолютный U-Pb и Rb-Sr изотопный возраст 790 млн лет), относящиеся к сумсунурскому комплексу, пока являются наиболее древними адакитовыми гранитоидами в Алтае-Саянском регионе.

На диаграмме La/Nb – Ce/Y все породы батолита тяготеют к тренду пород, сформировавшихся в результате смешения мантийного субстрата с коровым материалом (рис. 1).

На диаграмме (La/Yb<sub>N</sub>) – Yb<sub>N</sub> по [5] породы Сумсунурского батолита тяготеют к двум источникам плавления субстрата: 1 – гранатовые амфиболиты и 2 – гранат-содержащая мантия с содержанием граната 5% (рис. 2).

Таким образом, адакитовые гранитоиды Сумсунурского батолита формировались в результате плавления и смешения двух источников мантийного (гранат-содержащего) и корового. Последний представлен гранатовыми амфиболитами. Возможно, им были архейские гранатовые амфиболиты Гарганской глыбы. Генерация адакитовых гранитоидов батолита осуществлялась при значительном фракционировании редкоземельных элементов, а также Zr, Hf и Sr, что

вероятно было обусловлено участием мантийных флюидов и значительной обводнённостью вмещающих пород в процессе становления Сумсунурского батолита.

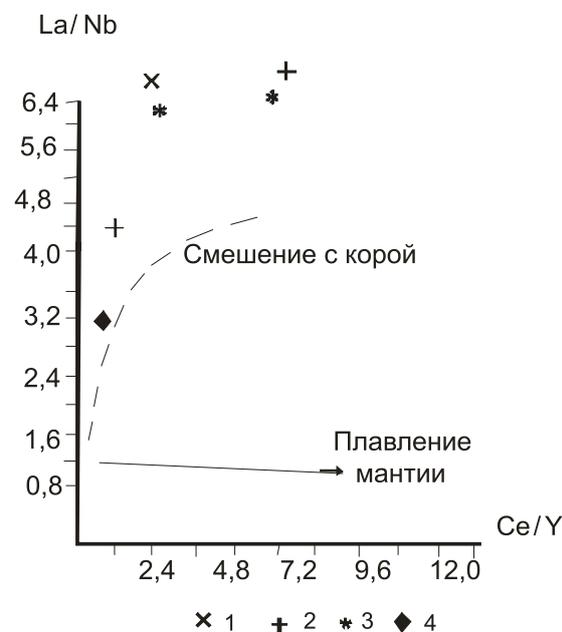


Рис. 1. Диаграмма La/Yb – Ce/Y по [5] для породных типов Сумсунурского батолита. Породные типы Сумсунурского батолита: 1 – кварцевый диорит; 2 – тоналит; 3 – трондьемит; 4 – аплит

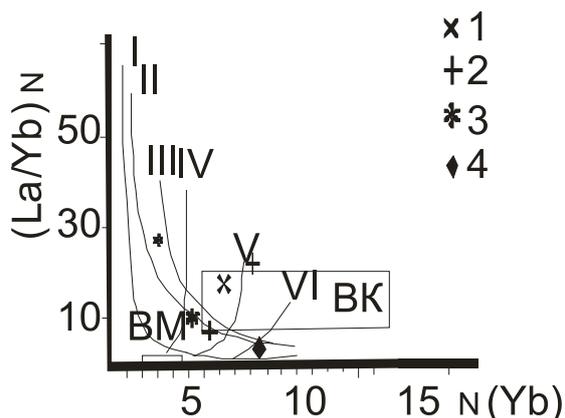


Рис. 2. Диаграмма  $(La/Yb)_N - Yb_N$  по [5] для пород Сумсунарского батолита. Тренды плавления различных источников по [5]: I – кварцевые эклогиты; II – гранатовые амфиболиты; III – амфиболиты; IV – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 10%; V – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 5%; VI – гранат-содержащая мантия, с содержанием граната 3%; VM – верхняя мантия; BK – верхняя кора. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Данные по адакитовым гранитоидам Сумсунарского батолита позволяют склониться к комбинированному механизму их генерации. Ближе всего комбинация комплексной модели возрастающего плавления субдуцирующего слэба океанической коры под Гарганский микроконтинент, в котором отмечается переход от процесса дегидратации слэба к частичному плавлению и значительной роли метасоматизирующих флюидов мантийного клина в формировании адакитовых гранитоидов. Такими флюидами могли быть трансмагматические флюиды, участвовавшие в генерации поздних фаз становления глубинных магматических очагов в виде дайковых образований, подтоку более восстановленных флюидов, игравших важную

роль в формировании наиболее концентрированного и масштабного оруденения, как это имело место при генерации золото-черносланцевого месторождения Бакырчик в Восточном Казахстане [3].

В этом районе локализуется комплексное крупное по запасам золоторудное Зун-Холбинское месторождение [1] с висмут-теллуридной и платиноидной минерализацией, пространственно и парагенетически связанное с дайками аплитов и трондьемитов, возможно некоторые из которых могут относиться и к сумсунарскому комплексу. Традиционно золотое оруденение в рудном поле связывалось с плагиигранитоидами холбинского комплекса нижнего палеозоя с возрастом 400-420 млн. лет. Однако в рудах Зун-Холбинского месторождения присутствуют и ранние парагенезисы золото-сульфидного состава, согласные с рудовмещающими сланцево-карбонатными толщами верхнего протерозоя, что свидетельствует о возможном и более раннем этапе формирования парагенезисов золота, сопутствующих висмут-теллуридных и платиноидных ассоциаций.

**Список литературы**

1. Гусев А.И., Гусев Е.А. // Руды и металлы. – 2000. – №5. – С. 25–32.
2. Гусев А.А., Гусев А.И., Гусев Н.И., Гусев Е.А. // Современные наукоёмкие технологии. – 2011. – № 4. – С. 17–22.
3. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – №1. – С. 31–38.
4. Anders E., Greevesse N. // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1989. – Vol. 53. – P. 197–214.
5. Barbarin, B. // Lithos, 1999. – Vol. 46. – P. 605–626.
6. Defant M.J., Drummond M.S. // Nature. – 1990. – Vol. 347. – № 4. – P. 662–665.
7. Irber W. // Geochim Cosmochim. Acta. – 1999. – Vol. 63. – №3/4. – P. 489–508.
8. Martin H. // Lithos. – 1999. – Vol. 46. – P. 411–429.
9. Masuda A., Ikeuchi Y. // Geochim. J. – 1979. – Vol. 13. – P. 19–22.