

УДК 552.11: 550.4

ЗОЛОТОГЕНЕРИРУЮЩИЕ ГРАНИТОИДЫ ТОПОЛЬНИНСКОГО АРЕАЛА ГОРНОГО АЛТАЯ: ВОЗРАСТ, ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ**¹Гусев А.И., ²Гусев Н.И., ¹Красова А.С., ¹Табакаева Е.М.**¹*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,
Бийск, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург*

В статье рассмотрены петрологические и геохимические особенности гранитоидного топольнинского ареала девонского возраста. Ареал включает два массива: Караминский и Топольнинский, формировавшиеся в течение 5 фаз от габброидов до лейкогранитов. Плутонические фазы сопровождаются дайковой серией пород. Плутонические разновидности отнесены к I типу гранитов, сильно загрязненному и редуцированному. Сильная восстановленность расплавов связана с контаминацией углеродсодержащих пород вмещающих толщ. Отношения изотопов стронция указывают на мантийный характер расплавов и контаминацию корового материала. Оценены параметры флюидного режима магматогенного этапа: парциальные давления углекислоты, воды, фугитивности кислорода, соляной и плавиковой кислот. Биотиты интрателлурической фазы содержат повышенные концентрации меди, золота, висмута. С гранитоидами связано скарновое, жильное и золото-черносланцевое оруденение золота.

Ключевые слова: интрузивный магматизм, гранитоиды, петрогенетические типы гранитов, золотогенерирующие граниты, флюидный режим, изотопы стронция, золотое оруденение

GOLD-GENERATING GRANITOIDS OF TOPOLNINSKII AREAL OF MOUNTAIN ALTAI: AGE, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY**¹Gusev A.I., ²Gusev N.I., ¹Krasova A.S., ¹Tabakaeva E.M.**¹*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru;*²*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint-Petersburg*

Petrogenetic and geochemical peculiarities of granitoids of topolninskii areal of Mountain Altai devoted in paper. Areal involve two massives: Karaminskii and Topolninskii that it were formed in 5 phases from gabbroid to leikogranits. The plutonic phases accompany by dike serie of rocks. The plutonic varieties carry off to I-type granites strong contamination and reduced. The strong reduction of melts linked with contamination of carbonic rocks of country measures. Ratio of isotopes strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) point out on the mantle character of melts and contamination of crust materials. Parameters of fluid regime of magmatic stage evaluted: parcial pressure of carbonic acid, water, fugacity of oxiganium, hydrochloric acid, fluoric acid. Biotites of intratelluric phase contain high concentration of copper, gold, bismuth. Skarn, loads and gold black shale ore mineralization of gold connected with granitoids.

Keywords: intrusive magmatism, granitoids, petrogenetic types of granits, gold-generating granitoids, fluid regime, isotopes of strontium, gold ore mineralization

Топольнинский интрузивный очаговый ареал объединяет группу небольших по размерам массивов в бассейнах рек Ануй и Щепета: Топольнинский и Караминский гранодиоритовые массивы, которые находятся на правом берегу р. Ануй. С гранитоидами этого ареала пространственно и парагенетически связаны месторождения и проявления золото-медно-скарнового, жильного золото-сульфидно-кварцевого, скарново-полиметаллического и золото-черносланцевого геолого-промышленных типов [1, 2].

Цель настоящего исследования – на основе новых аналитических данных высветить возраст, петрологию и геохимию рудогенерирующих магматитов Топольнинского ареала.

Изотопное датирование проведено для собственно Топольнинского (петротипического) и Караминского массивов в Лаборатории ВСГЕИ (г. Санкт-Петербург) локальным U-Pb методом датирования по цирконам. По Топольнинскому массиву

5 штучных проб, равномерно отобранные по всему массиву, представлены гранодиоритами. Выделенные из них цирконы были объединены в пробу с номером 15482, по Караминскому массиву использовалось 3 пробы гранодиоритов, объединенные в пробу с номером 15366.

Цирконы обеих проб совершенно идентичные: прозрачные слегка желтоватого цвета. Кристаллы идиоморфные, габитус призматический, тип гиацинтовый и цирконовый с отчетливой тонкой зональностью. Удлинение от 2 до 3–4. По содержаниям $U = 164\text{--}557$ г/т, $Th = 47\text{--}289$ г/т они также совершенно идентичны, отношения Th/U в обеих пробах почти совпадают 0,28–0,58. Полученные конкордантные возраста для Топольнинского массива по 10 точкам $397,4 \pm 4,4$ млн лет, Караминского массива: $399,3 \pm 4,6$ млн лет соответствуют границе нижнего и среднего девона и могут быть приняты в качестве возраста становления Топольнинского комплекса.

В составе комплекса выделяется 5 фаз внедрения: 1 – габбро, 2 – диориты, 3 – гранодиориты, 4 – граниты, 5 – лейкограниты. Плутоническая ассоциация пород сопровождается дайковой фацией, где отмечены долериты, диориты, гранодиорит-порфиры, сиениты, гранит-порфиры, редко – аплиты.

Химический состав породных типов обоих массивов приведен в табл. 1 и 2. Следует отметить, что все породные типы характеризуются низкими концентрация-

ми титана, умеренными суммарными содержаниями щелочей (сумма Na_2O и K_2O не превышает 8%. Следует указать на особенность соотношений натрия и калия в породах. В ряду от габбро до гранодиоритов в плутонических породах наблюдается превышение натрия над калием. А в более дифференцированных разностях гранитов и лейкогранитов это соотношение обратное: калий превышает натрий (см. табл. 1 и 2).

Таблица 1
Средние составы породных типов Караминского массива и даек (масс. %)

Породные типы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Сумма
Габбро 1 ф ($n = 2$)	51,83	1,10	17,10	4,03	6,20	4,92	8,40	3,30	0,75	0,18	99,72
Диориты 2 ф ($n = 2$)	55,13	0,84	15,78	3,60	4,98	6,18	8,81	1,90	0,85	0,03	99,71
Гранодиориты 3 ф ($n = 12$)	65,84	0,51	15,20	1,03	2,96	1,71	4,85	3,65	2,77	0,18	99,52
Граниты 4 ф ($n = 2$)	71,71	0,43	14,51	1,05	1,61	0,51	1,71	3,33	4,55	0,10	99,59
Лейкограниты 5 ф ($n = 13$)	73,08	0,11	14,54	0,58	0,98	0,23	0,49	3,97	4,20	0,06	99,78
Дайки диоритов ($n = 5$)	60,53	0,60	15,86	2,91	4,00	3,24	6,66	2,25	2,01	0,03	99,77
Дайки сиенитов ($n = 1$)	58,57	0,83	18,42	1,37	1,99	1,82	4,92	1,57	8,54	0,18	99,97
Дайки гранит-порфиров ($n = 5$)	72,71	0,19	12,75	0,99	1,21	0,41	1,98	3,22	4,75	0,04	99,67

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк). 1–5 ф – фазы становления массива; n – количество проб.

Таблица 2
Средние составы породных типов Топольнинского массива и даек (масс. %)

Породные типы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Сумма
Дайки диоритов 2 ф ($n = 4$)	55,03	0,85	15,87	3,58	4,97	6,08	8,74	1,90	0,81	0,11	99,79
Дайки гранитов 4 ф ($n = 12$)	71,71	0,43	14,51	1,05	1,61	0,51	1,71	3,33	4,55	0,10	99,59
<i>Плутоническая ассоциация</i>											
Лейкограниты 5 ф ($n = 3$)	73,28	0,13	14,51	0,57	0,99	0,29	0,59	3,96	4,23	0,07	99,88
Гранодиориты ($n = 5$)	64,70	0,59	15,50	0,95	3,90	1,62	4,90	3,50	2,70	0,11	99,87
Граниты ($n = 15$)	71,17	0,31	13,75	1,53	2,02	0,85	2,18	3,04	2,77	0,07	99,97

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории Сибирского испытательного центра (г. Новокузнецк).

Весьма проблематичны дайки сиенитов в составе караминского ареала. Они относятся к шошоновитовой серии и возможно их следует относить к другому интрузивному комплексу.

На диаграмме ТАС породы обоих массивов располагаются, преимущественно, в поле известково-щелочной серии (рис. 1), за исключением даек сиенитов, попадающих в область щелочной серии пород и лейкогранитов, локализующихся на линии, разделяющей известково-щелочное и умеренно-щелочное поля диаграммы.

Биотиты караминских и топольнинских гранитоидов попадают в поле гранитов I-типа сильно загрязненного и редуцированного (рис. 2). Для сравнения на диаграмме показаны и другие золотогенерирующие гранитоиды Алтайского региона.

Сильная редуцированность этих гранитоидов связана с контаминацией вмещающих их углеродсодержащих чёрных сланцев барагашской свиты нижнего девона. В биотитах гранитоидов в повышенных концентрациях присутствуют Cu, Pb, Zn, Mo, As, Bi, Ag, Au [3]. Содержания элементов-при-

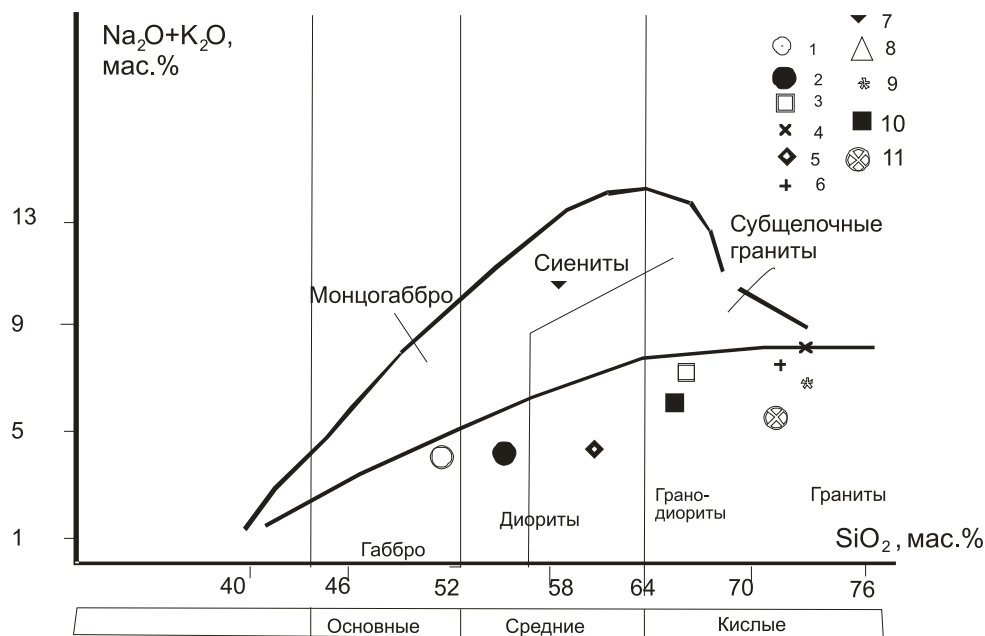


Рис. 1. Петрохимическая диаграмма диагностики горных пород в координатах $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ для породных типов Топольнинского и Караминского массивов и дайковой серии. Караминский массив, plutоническая ассоциация:

1 – габбро; 2 – диориты; 3 – гранодиориты; 4 – лейкограниты; дайковая ассоциация; 5 – диориты; 6 – гранодиориты; 7 – сиениты; Топольнинский массив, дайковая ассоциация; 8 – диориты; 9 – граниты; plutоническая ассоциация; 10 – гранодиориты; 11 – граниты

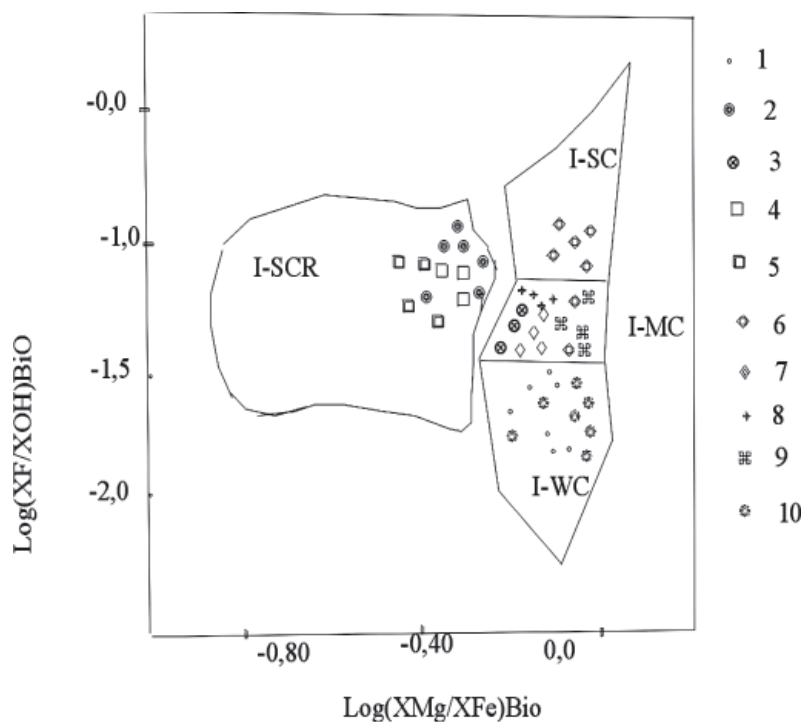


Рис. 2. Диаграмма $\text{Log}(X_{\text{Mg}}/X_{\text{Fe}}) - \text{log}(X_{\text{F}}/X_{\text{OH}})$ в биотитах золотогенерирующих гранитоидов Горного Алтая и Горной Шории. Петрогенетические типы гранитоидов по [4]:

I-WC – I тип слабо загрязненный; I-MC – I тип умеренно загрязненный; I-SC – I тип сильно загрязненный; I-SCR – I тип сильно загрязненный и редуцированный. Гранитоиды МРМС региона: 1 – Синюхинской; 2 – Чойской; 3 – Лысухинской; 4 – Караминской; 5 – Топольнинской; 6 – Ульменской; 7 – Бацелакской; 8 – Майской; 9 – Югагинской; 10 – Ашпанакской

месей в биотитах гранитоидов магмо-рудно-метасоматических систем (МРМС) обоих массивов приведены в табл. 3. Повышенные содержания отмеченных элементов-примесей в биотитах интрателлурической фазы отражаются и на составе продуктивных ассоциаций профилирующего оруденения. Так, в Караминском рудном поле проявлено и скарново-полиметаллическое и золото-медно-скарновое оруденение.

На металлогеническую специализацию гранитоидов указывают также повышенные концентрации золота, меди, висмута, серебра в магматогенных пиритах гранитоидов. Особенно много магматогенного пирита в контактовых частях Караминского массива в районе золото-черносланцевого месторождения Лог № 26.

Таблица 3
Средние содержания (в г/т) элементов-примесей в биотитах золотогенерирующих гранитоидов Топольнинского и Караминского массивов

Элементы	Топольнинская МРМС			Караминская МРМС			
	Плутоническая ассоциация		Дайковая ассоциация	Плутоническая ассоциация		Дайковая ассоциация	
	Гранодиориты (n = 5)	Лейкограниты (n = 3)	Гранит-порфиры (n = 6)	Граниты (n = 4)	Лейкограниты (n = 2)	Гранодиориты (n = 4)	Гранит-порфиры (n = 3)
Ni	5,1	3,3	2,3	2,5	1,9	1,7	1,9
Co	5,3	6,5	0,55	3,9	2,1	2,6	2,5
Cu	51,0	32,2	56,6	21,4	66,8	30,6	40,5
Pb	20,5	15,8	52,8	33,2	23,1	14,5	13,9
Zn	300,0	502,3	506,3	154,3	209,7	102,3	111,5
Ag	151,0	196,7	201,7	83,1	103,4	81,1	82,6
Bi	81,0	98,8	153,6	61,9	101,5	52,5	61,5
Sn	2,2	1,7	1,8	0,03	0,2	0,67	0,55
V	1,0	0,8	0,88	0,65	0,4	0,78	0,98
Cr	3,1	0,87	1,8	1,9	1,5	20,8	15,6
As	23,2	10,7	11,8	22,5	33,2	12,6	22,8
Mo	8,2	20,3	24,7	11,8	15,7	12,8	11,3
Y	2,5	3,3	3,4	3,4	3,2	2,2	2,6
Yb	0,8	1,2	2,1	1,7	1,8	0,98	0,9
Be	0,2	2,2	1,5	0,35	0,67	0,77	0,67
Zr	25,3	55,3	22,4	16,7	14,5	18,9	20,5
Au	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,04
Ga	0,5	1,3	1,4	0,55	0,33	0,56	0,33
Ge	0,2	0,52	0,35	0,13	0,13	0,76	0,45

Примечание. Анализы выполнены в Западно-Сибирском аналитическом центре (г. Новокузнецк): n – количество проб.

На спайд-диаграммах гранитоиды обоих массивов нормируются в I-тип Sr-недеплетированных и Y-недеплетированных гранитоидов [3], что связано с формированием их за счёт плавления плагиоклазсодержащего источника [5]. На мантийный источник расплавов и контаминацию корового материала указывают также и значения отношений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, которые составляют: для гранодиоритов Топольнинского массива 0,70556, а для Караминских лейкогранитов – 0,70618 [3]. По соотношениям $\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{2+} - \text{Mg}$ по биотитам Топольнинской МРМС устанавливается более окисленное

состояние расплава, а его кристаллизация осуществлялась ближе к гематит-магнетитовому буферу. Это находит подтверждение и в наличии более окисленных форм акцессорных минералов – магнетита и сфена. Биотиты Караминской МРМС тяготеют к никель-бунзенитовому буферу, указывая на более восстановленный режим расплава, чем для Топольнинских гранитоидов. В составе акцессориев Караминских гранитоидов присутствует более восстановленная фаза – ильменит. Особенности флюидного режима гранитоидов обоих массивов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Некоторые параметры флюидного режима золотогенерирующих гранитоидов
Топольнинского и Караминского массивов (давление и фугитивность даны в барах)

	Топольнинская МРМС	Караминская МРМС	
	Граниты	Граниты	Дайка гранит-порфиров
T°C	560	630	650
lgfO ₂	-12,5	-11,5	-9,5
fH ₂ O	770	501	650
fHCl	750	870	940
lg fHF	-3,1	-1,2	0,5
pH ₂ O	930	613	1100
lgfO ₂ /fH ₂ O	-15,2	-14,8	-12,5
pCO ₂	1170	100	1250
K _{вос}	0,155	0,5	0,55
M _{HF}	0,0045	0,056	0,12

Примечания: T, °C – температура кристаллизации; lg fO₂, lg fHF – логарифм фугитивности кислорода и плавиковой кислоты; fHCl, fH₂O – фугитивности соляной кислоты и воды; pH₂O, pCO₂ – парциальное давление воды и углекислоты; K_{вос} – коэффициент восстановленности флюидов; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³.

Анализ табл. 4 показывает, что гранитоиды Топольнинского массива характеризуются более высокими значениями окисленности расплава и фугитивностями воды при самых низких значениях температуры кристаллизации. Самыми оптимальными для золотогенерации обладали дайки гранит-порфиров Караминской МРМС: они имеют самый высокий коэффициент восстановленности флюидов (0,55), фугитивность соляной кислоты, парциальное давление воды. Известно, что золото в наибольшей степени переносится хлоридными комплексами. Кроме того, в дайках гранит-порфиров Караминской МРМС наблюдается очень высокое значение концентрации плавиковой кислоты, что, вероятно, связано с тем, что отделение поздних даек гранитного состава происходило при подтоке более восстановленных мантийных ингредиентов, обогащённых фтором.

Таким образом гранитоиды Топольнинского интрузивного ареала обнаруживают геохимические параметры, указывающие на пространственную и парагенетическую связь различных типов оруденения золота (золото-медно-скарновое, жильное золото-сульфидно-кварцевое, золото-черносланце-

вое) с глубинным очагом, формировавшим плутонические и дайковые серии пород Топольнинского ареала. Соотношения изотопов стронция (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) свидетельствуют о мантийной природе расплавов, формировавшихся с участием контаминации корового материала. Дайковые образования ареала характеризуются повышенной восстановленностью флюидов и более высокими концентрациями плавиковой и соляной кислот, указывающих на подток более глубинных восстановленных мантийных флюидов в магматический очаг, что способствовало формированию золотого оруденения на заключительных этапах эволюции магматического очага.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И. // Современные наукоёмкие технологии, 2010. – № 10. – С. 28–32.
2. Гусев А.И. Минералогия и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
3. Гусев Н.И., Гусев А.И. // Руды и металлы, 1998. – № 2. – С. 67–78.
4. Ague I.I., Brimhall G.H. // Bull. Geol. Sci. Amer. – 1988. – Vol. 100, №6. – P. 891–911.
5. Wyborn L.A.I., Wyborn D., Warren R.G., Drummond B.J. // Trans. Royal. Edinburgh: Earth Sciences. – 1992. – Vol. 83, № 1. – P. 201–209.