

Петрохимические модели раннепалеозойских гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области

Г.Б.КНЯЗЕВ (Томский государственный университет; 634050, г.Томск, проспект Ленина, д.36)

Рассмотрены все раннепалеозойские диорит-гранитные интрузии в составе единой длительно развивавшейся магматической системы. Петрохимически неразличимы все интрузивные массивы гранитоидов. Не обосновано отнесение их к различным интрузивным комплексам разной формационной принадлежности.

Ключевые слова: гранитоиды, петрохимическая модель

Князев Георгий Борисович, kgb@ggf.tsu.ru

Petrochemical models of the Early Paleozoic granitoids from the Altai-Sayan folded region

G.B.KNYAZEV

All Early Paleozoic diorite-granitoid intrusions are considered as a constituent of the unitary magmatic system developing over a protracted period of time. All intrusive granitoid massifs are not distinguishable petrochemically, and their assignment to various intrusive complexes of different formational ranks is not substantiated petrochemically.

Key words: granitoids; petrochemical model.

Гранитоиды играют чрезвычайно важную роль в строении салаирских и каледонских складчатых структур юга Западной и Центральной Сибири, образуя крупные магматические ареалы и пояса с сопутствующим золотым, железным и редкометалльным оруденением.

В 50—60-е годы XX столетия в палеозойских структурах Саян, Кузнецкого Алатау и Тувы были выделены и охарактеризованы Ольховский, Таннуольский, Тельбесский и Мартайгинский комплексы гранитоидов [2, 8, 11, 24], рассматриваемые в настоящее время в соответствии с принятой схемой межрегиональной корреляции на одном раннепалеозойском уровне. Массивы этих комплексов занимают сотни квадратных километров и имеют пестрый габбро-диорит-гранитный состав с преобладанием кислых разновидностей пород — кварцевых диоритов, гранодиоритов, гранитов и граносиенитов, что позволяет рассматривать эти массивы и комплексы, как гранитоидные. Их исследования связаны с именами А.Я.Булынникова [2], Ю.А.Кузнецова [8], А.Д.Шелковникова [24], Г.В.Полякова [11], А.Н.Дистановой [3, 4], Л.В.Алабина [1], Г.В.Пинуса [12], Г.С.Федосеева [19], А.Е.Телешева [18], В.Л.Хомичева [20—23], В.И.Геря и др.

Геологическая позиция и определения абсолютно возраста позволили считать гранитоиды нижнепалеозойскими, связанными с салаиро-каледонским циклом тектогенеза. Согласно последним обобщениям их возрастной уровень принимается разными исследователями для различных массивов от раннего кембрия до позднего силура.

Представления о близкой одновременности нижнепалеозойских гранитоидов были убедительно

подтверждены изотопными определениями возраста [15]. Они показали, что нижнепалеозойские гранитоиды разных регионов внедрялись в течение некоторого довольно значительного интервала времени.

Петрографически гранитоиды одного комплекса и даже одного массива часто оказываются достаточно многообразными, что при недостаточности достоверных наблюдений над прямыми взаимоотношениями пород вызывает противоречивые петрологические представления разных геологов, вплоть до диаметрально противоположных. Отнесение гранитоидов к единой раннепалеозойской гранитоидной формации прямо не оспаривается, но на протяжении всей более чем 50-летней истории их исследования предлагаются различные варианты их расчленения, учитывающие некоторые различия в основности и щелочности пород и часто спорные соотношения с достаточно надежно стратифицированными геологическими телами.

В качестве меры неопределенности состава и принадлежности гранитов можно указать на тот факт, что в справочнике по петрохимии магматических формаций [10] разные комплексы и массивы нижнепалеозойских гранитоидов Алтае-Саян отнесены к пяти формациям: тоналит-плагиогранит-гранодиоритовой, диорит-гранодиоритовой, гранитовой, лейкогранитовой и гранит-граносиенитовой.

Почти 50-летняя история исследования гранитоидов привела к накоплению нескольких тысяч полных силикатных химических анализов. Особо в этой работе нужно отметить заслуги В.Л.Хомичева, при содействии и прямом участии которого выпущены многочисленные сводки по различным интрузивным комплексам Алтае-Саянской складчатой области. К

сожалению, в этих сводках не всегда согласованы петрохимические и геолого-петрографические данные и петрохимические классификации выделяются в основном по двум параметрам: содержанию кремнезема и щелочей. Авторы работы [10] предлагают использовать и используют при петрологическом анализе и классификациях метод главных компонент, но применяют его для всего спектра интрузивных пород, заранее сгруппированных по содержанию SiO_2 и щелочей.

Автор попытался с помощью метода главных компонент и сопутствующих методов многомерного анализа данных исследовать гранитоидный спектр пород нижнепалеозойских интрузий Алтае-Саян, создав соответствующую базу данных и используя накопленный ранее опыт исследования диорит-гранитных интрузий Восточного Саяна [16]. В анализ были вовлечены гранитоиды Шиндинского и Беллыкского плутонов, Бuedжульского, Верхнесыдинского, Кордовского, Канзыбинского и других интрузивных массивов Восточного Саяна, типовые гранитоидные массивы Кузнецкого Алатау: Саралинский, Кожуховский, Центральнинский, Улень-Туимская группа массивов, Федотовский, Ургадатский, Дудетский, Аскизско-Есинская группа массивов, Карлыгановский, Тигертышский, Тельбесский, Мустагский, Ольгинский, главные гранитоидные массивы Таннуольского комплекса Тувы.

При проведении анализа автор исходил из того, что химический состав наиболее точно отражает все

особенности интрузивных пород и изменчивость их минерального состава. Вещественный состав гранитоидов однозначно связан с условиями их образования и любые, тем более кардинальные изменения условий их внедрения и вообще способов становления, отражаются на химическом составе пород.

Составы гранитоидов, вовлеченных в анализ, ограничены нижним содержанием SiO_2 60%. В итоге общий объем выборки индивидуальных анализов нижнепалеозойских гранитоидов Алтае-Саянской области составил около 900 (табл. 1). При рассмотрении состава гранитоидной породы как бинарной системы (на бинарных диаграммах типа кремнезем—щелочи) и даже как тетраэдрической системы, по А.Н.Заварицкому, различия условий их образования могут не выявляться. Если рассматривать интрузивную породу как статистически многомерную систему, то влияние конвергентности [13], как полагает автор, может быть ограничено.

Предложенный для петрохимического анализа метод главных компонент [10] при всех его ограничениях, дает возможность не только оценить главные направления изменчивости состава пород, но и на основании выявленной структуры многомерной системы позволяет предположить причины этой изменчивости, способствует возможности объективной классификации пород и при этом ограничивает субъективизм геологических решений. Несмотря на то, что метод главных компонент не делает обязательных предположений о формах распределения [17], для

1. Средний химический состав массивов нижнепалеозойской гранитоидной формации каледонид Алтае-Саянской складчатой области для пород, содержащих SiO_2 60%

Оксиды	Восточный Саян		Кузнецкий Алатау		Восточная Тува		Все регионы	
	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
SiO_2	71,65422	3,723157	66,72550	3,794855	67,93296	3,513450	68,43630	4,371115
TiO_2	0,33836	0,225231	0,45133	0,229660	0,47012	0,163168	0,41638	0,229265
Al_2O_3	13,94704	1,469366	16,02984	1,468618	14,81432	1,487712	15,24226	1,755655
Fe_2O_3	1,03422	0,711197	1,71432	1,113372	1,54543	0,634460	1,47804	1,010121
FeO	2,32634	1,114213	2,32069	1,070918	2,77222	1,081507	2,36390	1,092620
MnO	0,07027	0,046561	0,07600	0,061328	0,07407	0,032969	0,07397	0,054783
MgO	0,66111	0,491026	1,22086	0,843138	1,27153	0,735193	1,04377	0,782532
CaO	1,65084	1,008817	2,91738	1,401570	3,78580	1,199058	2,58576	1,444326
Na_2O	4,20526	0,807704	4,47798	0,932066	3,51111	0,656934	4,30085	0,914117
K_2O	3,40753	1,218905	3,06793	1,365075	2,22359	1,251439	3,10082	1,346006
P_2O_5	0,09138	0,120114	0,17087	0,248865	0,12597	0,082782	0,14095	0,206781
ППП	0,64529	0,423513	0,85687	0,542231	1,10886	0,552556	0,83076	0,532162
Число анализов	287		516		81		884	

2. Средний химический состав основных петрографических групп пород

Оксиды	Диоритоиды		Гранитоиды		Сиенитоиды	
	Среднее	Стандарт	Среднее	Стандарт	Среднее	Стандарт
SiO ₂	64,83	2,88	72,98	2,14	67,42	2,62
TiO ₂	0,56	0,21	0,24	0,13	0,44	0,20
Al ₂ O ₃	16,09	1,37	13,68	1,14	16,15	1,43
Fe ₂ O ₃	1,82	0,89	0,84	0,67	1,84	1,13
FeO	3,13	0,97	1,85	0,87	1,98	0,89
MnO	0,09	0,04	0,06	0,04	0,08	0,07
MgO	1,76	0,73	0,50	0,38	0,77	0,37
CaO	4,01	0,97	1,53	0,88	2,02	0,89
Na ₂ O	4,03	0,80	4,01	0,73	5,07	0,85
K ₂ O	2,39	1,09	3,56	1,33	3,48	1,27
P ₂ O ₅	0,21	0,30	0,08	0,07	0,13	0,11
Число анализов	331		316		237	

ограничения возможных ошибок были продублированы расчеты, сделанные для исходных матриц данных и ранжированных данных с заменой содержаний оксидов их эмпирическими вероятностями, имеющими равномерное распределение. Такие варианты расчетов в программе «Статистика» оказались практически идентичными. Близкий временной интервал становления гранитоидов разных регионов позволяет в первом приближении рассматривать некоторую единую для Алтае-Саян гранитоидную систему. Анализ сводной выборки гранитоидов показал, что диорит-гранитные породные серии разных массивов и регионов достоверно не различаются по химическому составу. Формальная классификация без обучения (кластерный анализ) разделила все химические составы нижнепалеозойских гранитоидов, независимо от региональной принадлежности на три группы: диоритоидную, сиенитоидную и гранитоидную, многомерные статистические характеристики которых, приведены в табл. 2 и отражены на рис. 1.

Дисперсионный анализ устанавливает различия этих групп пород по всем породообразующим оксидам с доверительной вероятностью превышающей 0,95. Вместе с тем дискриминантный анализ, подтвердив в целом наличие трех групп гранитоидов, показал отсутствие четких границ между ними с общей ошибкой дискриминации превышающей 10%.

Метод главных компонент в системе из 13 главных оксидов (без фосфора и потерь при прокаливании) выявил две главные компоненты, определяющие 56% изменчивости гранитоидов. Первая главная компонента (координата) с высокой положительной на-

грузкой Si и K определила 40% изменчивости состава пород и может рассматриваться как фактор кристаллизационной дифференциации; вторая фиксирует изменчивость пород, связанную с обогащением их щелочами. Ощелачивание не связано напрямую с процессом кристаллизационной дифференциации, поскольку кремнистая и щелочная координаты ортогональны. Судя по проекции исходных петрохимических параметров на плоскость главных компонент

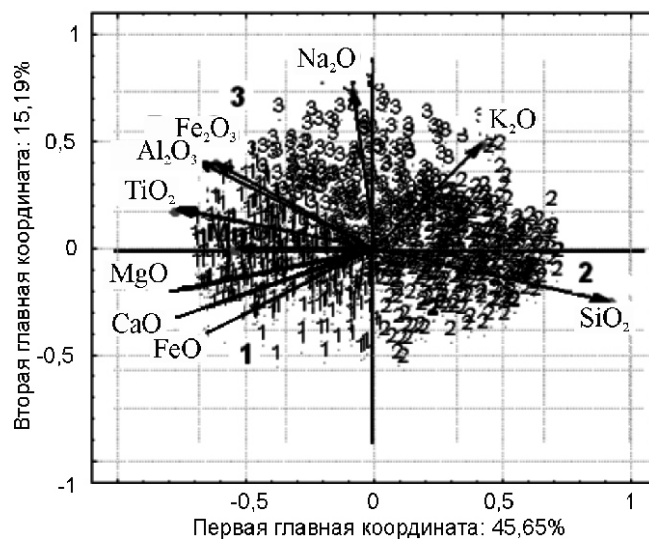


Рис. 1. Проекция петрохимических компонент сводной раннепалеозойской гранитоидной системы и векторов составов всех разновидностей пород: кварцевых диоритов (1), сиенитоидов (3) и гранитоидов (2), содержащих SiO₂ 60%, на плоскость двух главных координат

(см. рис. 1), калий более тесно связан с кремнием, внося некоторый вклад в первую главную координату и частично отражая процесс дифференциации с обогащением пород калиевым полевым шпатом. Обогащение пород натрием и дополнительным калием, не учтенным первой главной координатой, возможно связано с щелочным (преимущественно натровым) метасоматозом.

На компонентной диаграмме хорошо видно разделение пород гранитоидных массивов на три группы при отсутствии четких границ между полями точек гранитов, сиенитов и диоритов. Постепенные переходы между разными петрографическими типами пород, затрудняющие картирование и оценку взаимоотношений, отражают реально отмечаемые всеми исследователями постепенные переходы среди основных разновидностей гранитоидов нижнепалеозойских интрузий.

В дополнение к исследованию полной петрохимической системы гранитоидов был проведен анализ пятикомпонентной системы $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—Na}_2\text{O—K}_2\text{O}$, наиболее близкой к общепринятой бинарной классификационной системе кремнезем—щелочи (рис. 2.). Структура этой системы оказалась в отношении учтенных оксидов близка к полной системе. Поля диоритоидных, гранитоидных и сиенитоидных пород в «сиалической части» системы разделились более отчетливо. Ошибка дискриминации уменьшилась до 5%. При этом петрохимические различия гранитоидных массивов разных регионов и разных массивов одного региона остались несущественными, что в целом оправдывает рассмотрение всех массивов в составе одной выборки. Если следовать статистической терминологии, то нельзя опро-

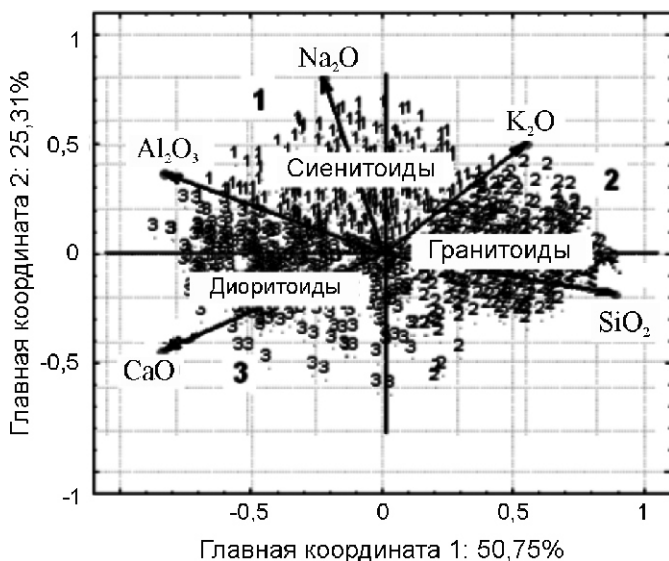


Рис. 2. Проекция векторов составов всех диоритоидов (3), сиенитоидов (1) и гранитоидов (2), содержащих SiO_2 60%, на плоскость двух главных координат, определяющих более трех четвертей изменчивости в системе $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—Na}_2\text{O—K}_2\text{O}$

вергнуть нулевую гипотезу о равенстве составов всех массивов нижнепалеозойских гранитоидов Восточного Саяна, Кузнецкого Алатау и Восточной Тувы. Иными словами, нет петрохимических критериев выделения нескольких нижнепалеозойских гранитоидных комплексов даже в столь сложном регионе как Кузнецкий Алатау, на примере которого Ю.А.Кузнецов с соавторами [8] выделил единую нижнепалеозойскую гранитоидную формацию.

В системе $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—CaO—Na}_2\text{O—K}_2\text{O}$ первая главная координата, соответствующая процессу кристаллизационной дифференциации, определила 50% изменчивости пород в направлении возрастания содержания кремнезема, коррелирующегося с калием. Калий вместе с натрием сформировали второе главное щелочное направление изменчивости. При этом натрий, как и для полной петрохимической системы, ортогонален кремнию. Подчеркивая особую роль натрового метасоматоза, представляющего собой возможно вторую позднемагматическую или постмагматическую стадию становления гранитоидов и обеспечивающего появление особой субщелочной спецификации отдельных магматических тел [3, 4, 5]. Различия нижнепалеозойских диорит-гранитных батолитов Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна выявились для собственно гранитной части интрузивных тел (SiO_2 70%). В этой части гранитной системы кремний теряет связь с щелочами, сохраняя ее частично с калием лишь в массивах Кузнецкого Алатау. В магматических телах Восточного Саяна самостоятельная субщелочная группа гранитоидов и диоритов при формальной классификации вообще не обособляется.

Исследование диоритовых и гранитных контактов интрузивных массивов указывает на их активное взаимодействие с вмещающей средой, выражающейся в метаморфизме, гранитизации и диоритизации [1, 6, 14, 19], что приводит даже к представлениям об автохтонной природе диоритовых и гранитных массивов и об очень длительном (не один десяток миллионов лет) периоде их становления [2], подтверждающимся изотопными датировками [14].

Наблюдения над диоритовыми контактами в пределах рудных полей [6] позволили предположить, что диоритизация вулканитов и артеритовый тип внедрения расплавов, возможно, связаны с состоянием высокой обводненности областей становления интрузий и особенно зон контактов предынтрузивными растворами, способствовавшими активному взаимодействию интрузии с вулканитами и осадками. Следы предынтрузивных гидротермальных систем в виде зон пропилитизации сохранились в ряде регионов Алтае-Саянской складчатой области [16]. Взаимодействие глубинных растворов и активные интрузивные контакты, возможно, являются решающими факторами локализации железных, золотых и медно-молибденовых руд. Это кажется справедливым для большинства скарновых железорудных месторожде-

ний Ирбинско-Краснокаменского, Казырского и Кизирского районов Восточного Саяна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алабин Л.В.* Центральнинский район Мартайгинского гранитоидного комплекса (Кузнецкий Алатау)/ Магматические формации Сибири и Дальнего Востока. —М.: Наука, 1971. С. 189—213.
2. *Булытников А.Я.* Краткий отчет о геологических работах в Ольховско-Чибижевском золоторудном районе Минусинского уезда в 1924 году / Известия сибирского отделения геологического комитета. 1925. VI. Вып. 1. С. 1—39.
3. *Дистанова А.Н., Богнибов В.И.* Сравнительная характеристика раннепалеозойских гранитоидов Кузнецкого Алатау / Раннепалеозойская гранитоидная формация Кузнецкого Алатау. —М.: Наука, 1971. С. 332—338.
4. *Дистанова А.Н., Телешев А.Е.* Раннепалеозойский гранитоидный магматизм каледонид Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 8. С. 817—832.
5. *Довгаль В.Н., Богнибов В.И., Широких В.А.* О главных факторах повышения щёлочности пород раннепалеозойской формации гранитоидных батолитов Кузнецкого Алатау / Раннепалеозойские гранитоидные формации Западного Забайкалья и Кузнецкого Алатау. —Новосибирск: Наука, 1975. С. 23—48.
6. *Князев Г.Б.* Особенности диоритовых интрузий в рудных полях метасоматических магнетитовых месторождений / Петрология магматических и метаморфических комплексов. —Томск, 2002. С. 121—124.
7. *Князев Г.Б.* Палеозойский интрузивный магматизм области сопряжения Западного и Восточного Саяна / Геология и металлогения ультрамафит-мафитовых и гранитоидных интрузивных ассоциаций складчатых областей. —Екатеринбург, 2004. С. 341—344.
8. *Кузнецов Ю.А., Богнибов В.И., Дистанова А.Н., Сергеева Е.С.* Раннепалеозойская гранитоидная формация Кузнецкого Алатау. —М.: Наука, 1971.
9. *Кузнецов Е.А.* К вопросу о генетической связи щелочных пород с ультраосновными и кислыми породами / Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. —М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 258—259.
10. *Орлов Д.М., Липнер Г.Н., Орлова М.П., Смелова Л.В.* Петрохимия магматических формаций. —Л.: Недра, 1991. С. 148—161.
11. *Поляков Г.В.* Палеозойский магматизм и железоруденение юга Средней Сибири. —Новосибирск: Наука, 1971.
12. *Пинус Г.В.* Таннуольский интрузивный комплекс (Тува). —Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1981.
13. *Поспелов Г.Л.* О проблеме конвергенции в петрографии и геологии / Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. —М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 260—241.
14. *Раген Э.* Плутонические породы. —М.: Мир, 1972. С. 55—73.
15. *Руднев С.Н., Владимиров А.Г., Бабин Г.А.* и др. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области / Петрология магматических и метаморфических комплексов. Т. 1. —Томск, 2001. С. 201—207.
16. *Синяков В.И.* Процессы пропилитизации на скарново-магнетитовых месторождениях Горной Шории // Минералого-геохимические особенности скарновых месторождений. —М.: Наука, 1974. С. 138—147.
17. *Справочник по прикладной статистике. Т. 2.* —М.: Финансы и статистика, 1990. С. 205—239.
18. *Телешев А.Е., Федосеев Г.С.* Геологическое положение и возраст субвулканических гранит-сиенитовых интрузий северо-западной части Восточного Саяна и гранитоидов Беллыкского комплекса // Магматические формации Сибири и Дальнего Востока. —М.: Наука, 1971. С. 148—168.
19. *Федосеев Г.С.* Петрология Шиндинского гранитоидного Плутона (Восточный Саян). —М.: Наука, 1969.
20. *Хомичев В.Л., Алабин Л.В., Курмей А.Е.* Центральный массив — эталон мартайгинского гранитоидного комплекса (Кузнецкий Алатау). —Новосибирск, 1994.
21. *Хомичев В.Л., Васильев Б.Д., Хомичева Е.С.* Солгонский массив — эталон мартайгинского комплекса на восточном склоне Кузнецкого Алатау. —Новосибирск, 1993.
22. *Хомичев В.Л., Воробьев В.Н., Даценко В.М.* Ольховский массив — эталон ольховского комплекса (Восточный Саян). —Новосибирск, 1992.
23. *Хомичев В.Л., Мазуров М.П., Хомичева В.С.* Кордовско-Канзыбинский эталон беллыкского комплекса (Восточный Саян). —Новосибирск, 1996.
24. *Шелковников А.Д.* Основные черты петрологии и металлогении Ольховского гранодиорит-плагиогранитного комплекса / Новые данные по геологии юга Красноярского края. —Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1963. С. 224—250.