

А. Н. ЛЕОНТЬЕВ, А. Д. ЧЕРВИНСКАЯ, Л. Г. ЛОГИНОВА

**ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВА РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПОРОДАХ И В ЦИРКОНАХ
ГРАНОСИЕНИТ-ГРАНИТ-ЩЕЛОЧНОГРАНИТОВОГО
ПЛУТОНА АКЖАЙЛЮ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 18 III 1975)

Изучая распределение РЗЭ в породах многофазного плутона Акжайлю (Восточный Казахстан), мы попытались установить: а) в каком направлении происходила дифференциация РЗЭ в ходе формирования интрузивной серии и б) как связано накопление элементов в минерале с накоплением его в породе. Значение этих вопросов возрастает в связи с существованием концентраций РЗЭ в данном плутоне и с неполной выясненностью того, перераспределение ли вещества в процессе позднего метасоматоза или первичная обогащенность магм является причиной рудоконцентрации. Насколько это было возможно, учтены данные Д. А. Минеева ⁽¹⁾ и использован его метод сравнения составов лантаноидов по эквивалентным (средневзвешенным) ионным радиусам конкретных природных смесей РЗЭ ⁽²⁾. Ранее нами была разработана схема возрастного расчленения гранитоидов Акжайлю и Верхнего Эспе ⁽³⁾ и был проведен А. Д. Червинской минералого-статистический анализ, позволивший установить направленное изменение морфологии цирконов в возрастном ряду пород ⁽⁴⁾.

Основные результаты изображены на рис. 1, обобщающем количественные данные о составе РЗЭ примерно в 80 пробах пород и аксессуарных цирконов, по 1—8 распифровок на каждую точку диаграммы. Определение 13 РЗЭ Y, Th и Sc было проведено Л. Г. Логиновой, Ю. А. Лавицкой и Р. И. Араповой на спектрографе ДФС-13 при непосредственном анализе монофракций циркона методом количественного эмиссионного спектрального анализа ⁽⁵⁾. Анализ проводили в дуге постоянного тока силой 18 а. Спектры цирконов экзонировали в областях 250,0—350,0 и 420,0—470,0 нм. Испаряли по 2 параллельных навески 20 мг в каждой области спектра. Буферная смесь: SiO₂ 50%, Na₂B₄O₇ 10%, BaF₂ 10%, С-порошок 30%. Внутренний стандарт — Eu (0,025% Eu в пробе). Мешающие концентрации РЗЭ, Y, Th, Sc, Hf, чувствительность аналитических линий и верхний концентрационный предел метода были оценены при помощи специально изготовленных калибровочных порошков. Верхний предел метода по $\sum TR_2O_3$ 3,5%, ThO₂ 1,5%. Чувствительность определений: Sc и Yb $1,5 \cdot 10^{-3}$, Ti, Ho $(6-8) \cdot 10^{-3}$; Ln, Nd, Gd, Lu, Y, Hf, Pr, Sm, Dy $(1,2-1,6) \cdot 10^{-2}$; Ce, Th, Tb $(2,5-5) \cdot 10^{-2}\%$. Метод прямого спектрального определения свободен от погрешностей химического анализа, связанных с концентрированием РЗЭ из минералов сложного состава (циркон, вольфрамит, сфен) и с систематической потерей Tb и Lu при малых навесках. К недостаткам метода следует отнести отсутствие данных о содержании Eu в цирконах и невозможность определения Sc выше 0,006—0,012%.

Последовательность формирования гранитоидов, по геологическим данным, следующая: центральное тело граносиенодиоритов I, окруженное внешней концентрической жильной зоной лейкограносиенитов II; массивные дуговые тела биотитовых гранитов III с формировавшимися вслед

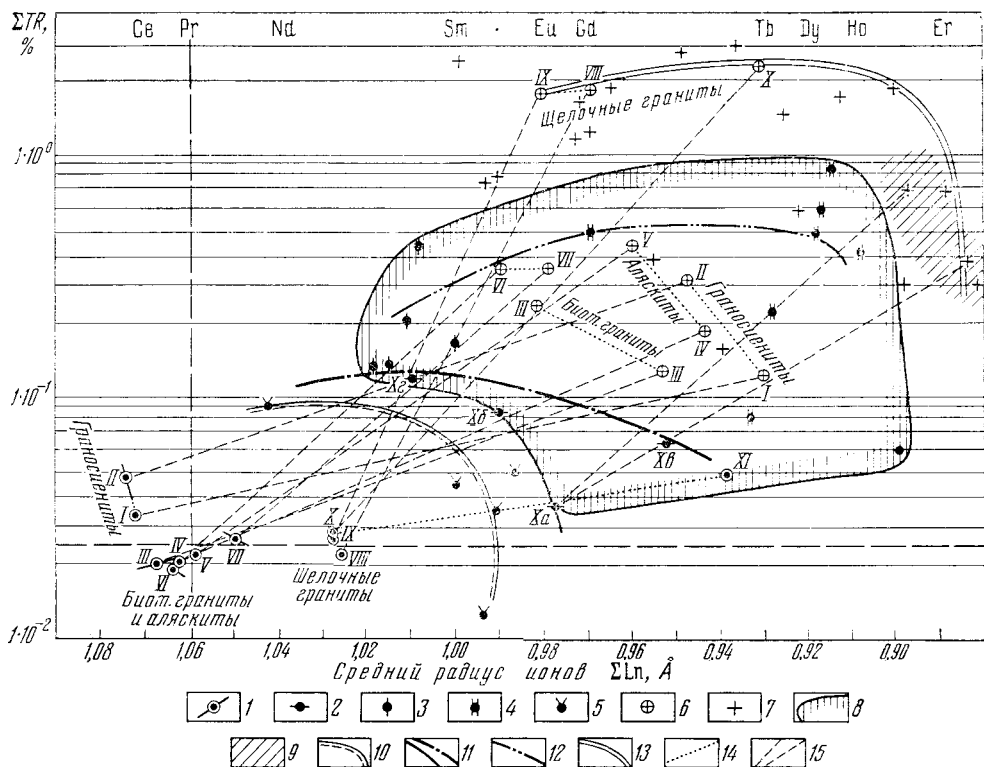


Рис. 1. Состав РЗЭ в гранитоидах и в аксессуарных цирконах плутона Акжайляу и верхнеэспинских минерализованных куполов. 1–5 — точки средних составов РЗЭ в породах: 1 — в нормальных гранитоидах, 2 — в эндоконтактных пегматоидах и мелкозернистых гранитах щелочногранитового интрузива, 3 — в микроклиновых пегматоидах и 4 — в существенно альбитовых породах апофиз, 5 — в метасоматически измененных биотитовых гранитах VII останцев кровли; 6, 7 — точки средних (6) и частных (7) составов РЗЭ в цирконах; 8, 9 — поля составов РЗЭ по (1) в породах апофиз (8) и в эндоконтактных породах с существенным содержанием РЗЭ-минералов (9); 10–13 — линии составов РЗЭ: 10 — в останцах кровли, 11 — в эндоконтактной зоне щелочных гранитов IX и X, 12 — в апофизах щелочных гранитов, 13 — в цирконах щелочных гранитов; 14 — линии, связывающие породы одной возрастной группы; 15 — линии, связывающие точки составов РЗЭ в породе и в цирконе из нее

тремя-четырьмя генерациями лейкогранитов (ранее отнесенные к ним же калиевые граниты VI и VII выделены в настоящей работе в качестве значительно более молодой — послеаляскитовой — группы); конические кольцевые тела крупнозернистых биотитовых аляскитовых гранитов IV с дополнительным интрузивом IV; среднезернистые аляскиты V и их жилы с камерными пегматитами; дайково-интрузивный комплекс щелочных гранитов — гранит-порфиров VIII, микрогранитов IX, среднезернистых гранитов X, жильных лейкогранитов XI (3, 4).

Перечисленные породы, несомненно, различаются по составу РЗЭ. От ранних возрастных групп к поздним происходило относительное обогащение пород иттриевыми и скандиевыми РЗЭ. Параллельно этому, содержание ΣTR в породах менялось в интервале 0,014–0,9%, с относительно большим перепадом от ранних граносиенитов I и II вниз и с постепенным повышением в ряду биотитовые граниты — аляскиты — лейкограниты — щелочные граниты. Средний (несколько ниже кларка) уровень накопления РЗЭ свойствен биотитовым и аляскитовым гранитам, щелочным гранит-порфирам; выше кларка — граносиенитам, щелочным гранитам, граносиенитам.

нитовой приподошвенной фации аляскитовых гранитов IV, раздутой части дугового интрузива аляскитов V, калиевым аляскитоидным лейкогранитам VII. У пород с весьма близкими средними значениями $\sum TR$ и $r_{1\text{ энк}}$ (например, IV и VI) разброс частных значений может быть значительным и разнонаправленным. Наблюдающиеся вариации состава одноименных пород иногда зависят от структурного положения последних. Так, граниты III, IV, V с низким содержанием РЗЭ расположены ближе к шовному разлому, а с высоким — дальше от него к югу, в глубь антиклинорной структуры.

За исключением щелочных гранитов, во всех изученных породах главные акцессорные минералы — магнетит, ильменит, сфен, циркон и апатит, причем в лейкогранитах содержание первых трех является ненормально высоким. В щелочных гранитах ведущими акцессорными минералами являются циркон, флюорит, монацит, ксенотим, в ощутимых количествах прибавляются танталит-колумбит, гагаринит, пирохлор, бастнезит. Содержание циркона колеблется от нормального (240–600 г/т) в средних членах возрастного ряда до высокого (700–3800 г/т) в начальных и конечных членах. В породах ранних и средних возрастных групп наиболее распространен светлоокрашенный прозрачный призматический циркон с преимущественным развитием дипирамид (131) в граносиенодиоритах или (221) и (131) в биотитовых гранитах. В щелочных гранитах преобладает желто-бурый полупрозрачный дипирамидальный и призматический циркон. На долю последнего в эндо- и экзоконтактной фации щелочных гранитов, по данным (1), приходится 13–20% всех иттриевых РЗЭ и 19–25% Y_2O_3 , в чем циркон уступает только гагариниту, но доля $\sum TR_{ce}$ (2–3%) значительно ниже, чем в другом РЗЭ-содержащем минерале — пирохлоре. Характерно наличие двух максимумов — цериевого и иттербиевого — в составах РЗЭ в цирконах всего возрастного ряда гранитоидов, исключая граносиенодиориты с их селективным иттриевым составом. Содержание РЗЭ в цирконах на 1–2 порядка выше, чем в породах, при более явном и упорядоченном возрастании $\sum TR$ от I к X. Повышение $\sum TR$, Y_2O_3 и Th_2O_3 наблюдается и внутри отдельных возрастных групп, но начиная с пары VI–VII последовательно увеличивается $\sum TR_{sc}$ за счет убывания всех других. Начальные и главные по значению фазы всех ранних возрастных групп весьма близки между собой по суммарному содержанию РЗЭ в цирконах, от них резко отличаются подчиненные более светлые породы тех же групп и еще более резко — все щелочные граниты.

При помощи диаграммы устанавливается зависимость состава РЗЭ в цирконах от состава РЗЭ в породах. Эта зависимость для нормальных гранитоидов является в целом обратной и характеризуется возрастанием разрыва по $\sum TR$ и сближением по показателю $r_{1\text{ энк}}$ в соответствующих парах порода — циркон из этой породы от начала к концу интрузивной серии. «Шаг» между смежными возрастными подразделениями в несколько раз шире в цирконовой части диаграммы, чем в гранитоидной, что указывает на высокую «разрешающую способность» РЗЭ-метрии в цирконах при диагностике и корреляции гранитоидов.

Все резкие местные аномалии в содержании РЗЭ связаны с заключающим возрастной ряд плутона комплексом щелочных гранитов и преимущественно с последним крупным его подразделением — среднезернистыми рибекитовыми гранитами. Концентрация РЗЭ и дифференциация их состава происходила здесь с широким размахом, несоизмеримым с уровнем петрохимических различий в ряду пород VIII–X. Поля составов РЗЭ в щелочных гранитах главной фации, эндо- и экзоконтактных пегматоидах и альбититах располагаются на диаграмме зонально, имитируя конфокальное расположение рудно-петрографических фаций интрузива и его анофиз, и непрерывно сменяются (с частичным перекрытием) полем составов РЗЭ в цирконах из этих же пород.

Наличие четкой зональности в распределении РЗЭ от щелочных гранитов IX, X к пегматоидам и альбититам эндоконтакта и ближних и дальних апофиз позволяет говорить о макродифференциации РЗЭ при становлении интрузива. Достигнутый ею предел ($0,4-0,85\% \sum TR$, $r_{1\text{ энв}} \geq 0,91$) характеризует значительные объемы пород апикали интрузива и законсервированное в них, по зонам, количество РЗЭ. Завершающая кристаллизация пород должна была продолжить дифференциацию РЗЭ в микромасштабе, т. е. в остаточной поровой жидкости. Показателем ее может служить концентрация РЗЭ в акцессорных минералах, нараставшая от ранних ($0,3-3\%$ в цирконах) к более поздним ($8-15\%$ в Се — Рb-пирохлоре и $40-80\%$ в фергусоните, гагарините, ксенотиме и монаците). Исследованный нами циркон обычных щелочных гранитов представлен двумя (реже тремя в одной и той же пробе) типами — ранним светлым и поздним бурым, из которых последний содержит в $1,5-4$ раза больше РЗЭ и отличается несколько более иттриевым составом. Для крайних макро-дифференциатов (Ха, XI, XII) существенная эволюция состава примесных РЗЭ в цирконах не характерна, — увеличивается или убывает только $\sum TR$.

Из совпадения полей составов РЗЭ в породах апофиз и в цирконах следует предположение о близости состава остаточной поровой жидкости и исходного вещества пегматоидных (с альбититом) обособлений в щелочных гранитах и в надинтрузивной зоне. Более высокий уровень содержания и менее селективный состав РЗЭ в цирконах щелочных гранитов главной фации, по сравнению с цирконами рудоносной, может быть объяснен тем, что в первой из них процесс кристаллизации вообще заканчивается отложением поздних бурых цирконов из-за недостатка Са, PO_4 , Ti, F-компонентов собственно РЗЭ-минералов.

Подводя итог, отметим, что эволюция составов РЗЭ в гранитоидах Акжайляу, при подробном их рассмотрении, отличается от той, которая намечена в работах (^{1, 2}) для «ординарных» пород. Богатые РЗЭ существенно цериевые граносиениты формировались вначале, далее следовало несколько генераций кислых слюдяных гранитов с заурядным кларковым содержанием РЗЭ и затем обогащенные иттриевыми и скандиевыми РЗЭ щелочные граниты. Заключительная фаза последних отличается не только обилием дифференциатов (минерализованных пегматоидов, альбититов) и интенсивной фенитизацией боковых пород, но и предельно высоким для данного плутона содержанием РЗЭ и Y_2O_3 в цирконах, с постепенным, хотя и быстрым переходом по $\sum TR$, $r_{1\text{ энв}}$ и $\sum TR_{\text{Се}} : \sum TR_Y : \sum TR_{\text{Sc}}$ от гранитов главной фации ко все более иттриево-скандиевым породам эндоконтактной зоны и апофиз. Компактное расположение аномально обогащенной зоны в апикали одионочного, наиболее юного интрузива с присущей этой зоне необычной обратной связью $\sum TR$ и $\sum TR_{\text{Се}}$ дает новые основания к пересмотру аногранитовой концепции и приводит к представлению о первичном аномально иттриевом иттротеллурическом газожидком «пузыре» в голове интрузивной колонны как причине и источнике редкометалльной минерализации.

Авторы благодарны М. Ф. Чурсиной, Р. М. Дацюк, Ю. А. Лавицкой и Р. И. Араповой, много способствовавшим выполнению данной работы.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов
Москва

Поступило
15 I 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. А. Минеев, Геохимия аногранитов и редкометалльных метасоматитов Северо-Западного Тарбагатая, «Наука», 1968. ² Д. А. Минеев, Лантаноиды в рудах, «Наука», 1974. ³ А. Н. Леонтьев и др., В кн. Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации. М., «Недра», 1972. ⁴ А. Д. Червинская и др., В сб. Металлогенетические и геологические исследования, в. 4, 1973. ⁵ Л. Г. Логинова, Д. А. Минеев и др., В сб. Редкие элементы, сырье и экономика, 1972.