

УДК 552.26+552.3

ПЕТРОГРАФИЯ

А. Л. АЛЕКСАНДРОВ

РАВНОВЕСНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 21 VIII 1970)

Петрохимические методы, используемые для расчетов состава сосуществующих полевых шпатов горных пород (¹⁻³), позволяют получить большой объем палеотемпературных датировок и подойти на этой основе к выяснению закономерностей распределения частот равновесных температур, определяемых по двухполевошпатовому геотермометру для гранитоидов.

Решение этой задачи путем обобщения опубликованных данных затруднительно. Количество датировок далеко не соответствует распространенности горных пород. Преобладают данные по пегматитам. Кроме того, шкала двухполевошпатового геотермометра с течением времени претерпела определенную эволюцию (⁴⁻¹¹), в результате чего разноречивые значения необходимо приводить к одному уровню. Поэтому для решения интересующей задачи определенные преимущества имеет материал, полученный с единых методических позиций.

Автором разработана вычислительная программа для расчета альбитовой составляющей сосуществующих полевых шпатов горных пород на основе петрографических и петрохимических данных. В программе реализуются алгоритмы (^{2, 12}), которые существенно уточнены. Кроме того, разработан ряд новых способов расчетов.

В случае полного объема петрографических и минералогических сведений о горной породе мольная доля альбита в калиевом полевошпате рассчитывается по девяти вариантам. По трем вариантам рассчитывается состав плагиоклазов. Каждый из вариантов является независимым в какой-то части используемых исходных данных. Благодаря этому существенно повышается надежность единичного значения, вычисляемого как среднее из сопоставимых реализаций, полученных по разным вариантам расчетов.

На ЭЦВМ БЭСМ-4 были обработаны материалы сборников силикатных анализов (¹³⁻²²). В процессе расчетов поправки на темнопятные минералы вводились на основе химических составов средних типов минералов (²³). Такой способ введения поправок может приводить к тому, что в ряде случаев система петрохимических и минералогических данных может ока-

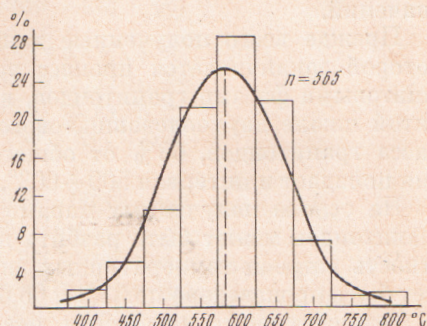


Рис. 1. Гистограмма распределения равновесных температур формирования гранитоидных пород, полученная на основе петрохимических методов определения состава полевошпатовых фаз, и ее приближенная аппроксимация нормальной вероятностной функцией. $\bar{x} = 586^\circ$; $s = \pm 77^\circ$. $|r_3| / \sigma_{r_3} = |-2; 3| < 3$, $|r_4 - 3| / \sigma_{r_4} = 1,8 < 3$. $\chi^2 = 32,6$, $\chi_{0,05} = 12,59$

заться несовместной. Взаимная несогласованность данных может быть обусловлена значительным расхождением реального и среднего составов темноцветных минералов или тем, что химизм породы аномален в результате проявления наложенных процессов, или же за счет того, что в цифровом материале при публикациях допущены существенные погрешности, и т. д.

В программе предусматривается проверка более чем по 90 признакам системы исходных данных на совместность и выбраковка противоречивых. Расчетным путем было получено 565 значений составов сосуществующих полевых шпатов. Распределение частот температур, определенных на основе этих данных по шкале ⁽⁹⁾, представлено на рис. 1.

На гистограмме выявляется четкий максимум. При этом частоты распределения обнаруживают некоторую отрицательную асимметрию, в целом большую, чем это можно допустить по критерию χ^2 для нормального распределения.

Тем не менее, результаты проверки соответствия эмпирического распределения нормальному, выполненные при помощи оценок асимметрии и эксцесса, показывают, что для практических целей с приемлемой точностью могут быть использованы параметры нормального распределения. Об этом также свидетельствует небольшой коэффициент вариации ($V = 13,6\%$). Как известно, при коэффициенте вариации менее 30% любой вид распределения с достаточной для практики точностью может быть аппроксимирован нормальным распределением ⁽²⁴⁾.

Располагая параметрами распределения температур для гранитоидных пород, можно решать различные задачи по сопоставлению температурных значений.

Прежде всего полученные данные показывают, что температура, при которой заканчивается процесс установления равновесия между полевошпатовыми фазами гранитоидов, в среднем составляет 586°, согласно принятой шкале двухполевошпатового геотермометра ⁽⁹⁾. При этом основная масса гранитоидов, 68% от общего объема, по температурам формирования попадает в интервал 509—663°.

На основе полученных параметров шкала температур формирования гранитоидов может быть разбита на интервалы, в пределах которых вероятность встречи температурных значений одинакова. Такое разбиение может быть произведено по 33,3 и 66,6%-м квантилям.

Температурные интервалы, отвечающие равным вероятностям распределения (33,3%) разнотемпературных типов гранитоидов, таковы:

Тип гранитоидов	Низкотемпературный	Среднетемпературный	Высокотемпературный
Температурный интервал, °C	<553	553—620	>620

Такое разбиение существенно отличается от разбиения шкалы температур на равномерные интервалы, например 300—500° — низкотемпературная область, 500—700° — среднетемпературная, 700° и выше — высокотемпературная область. Вероятность встречи температурных датировок в пределах каждой из этих областей будет существенно иной. Так, на область 300—500° будет приходиться 13,4%, на 500—700° 79,7%, выше 700° 6,9% всех типов гранитов.

Рассмотрим другой способ оценки основного интервала температур формирования гранитоидов, независимый от рассмотренного выше.

Стехиометрические алгоритмы позволяют реализовать весьма ограниченный объем исходных данных ⁽²⁾. В частности, для расчетов не требуется знать количественно-минеральный состав породы, так как показателем количества преобладающего темноцветного минерала являются соответствующие петрохимические характеристики. Это обстоятельство открывает возможности определения температуры формирования средних типов гранитоидных пород, выведенных Р. Дэли.

В процессе таких расчетов допускается, что пересыщенные алюминием гранитоиды содержат в своем составе высокоглиноземистый минерал — биотит, а породы нормального ряда — высококальциевый минерал, обыкновенную роговую обманку, причем состав биотита и роговой обманки отвечает среднему составу этих темноцветных минералов для гранитоидов соответствующих типов (²³).

Для того чтобы по этому минимуму исходных данных можно было реализовать единственный вариант расчетов и определить состав калиевого полевого шпата, необходимо еще располагать дополнительными сведениями о составе плагиоклаза.

К сожалению, в петрологической литературе отсутствуют оптимальные оценки составов плагиоклазов для представителей такого широко обобщающего ранга, как средние типы горных пород. В связи с этим берем интервал, в пределах которого вероятнее всего может располагаться оптимальная оценка.

Выбирая интервал составов плагиоклазов от $Ab_{78}An_{22}$ до $Ab_{70}An_{30}$, получим, что возможные равновесные температуры формирования среднего гранита для всех периодов варьируют от 560 до 670°, а среднего щелочноземельного гранита — от 500 до 625°:

Средний гранит для всех периодов								
Ab_{Pl}	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78
Ab_{KFS}	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,40	0,36	0,30
$t, ^\circ C$	670	655	650	640	630	610	585	560

Средний щелочноземельный гранит								
Ab_{Pl}	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78
Ab_{KFS}	0,43	0,39	0,37	0,34	0,31	0,28	0,23	0,17
$t, ^\circ C$	625	610	595	580	570	550	530	500

Полученные значения покрывают область 509—663°, где находится 8% всех температурных датировок по гранитам. При этом интервал возможных температур формирования для гранита всех периодов локализуется в средне- и высокотемпературной, а для среднего щелочноземельного гранита — в низко- и среднетемпературной областях (согласно приведенным выше данным).

Сопоставимость температур формирования, найденных для средних типов гранитоидов по Дэли, со статистическими данными, полученными по ассовым определениям (рис. 1), свидетельствует о реальности картины, выявленной на основе петрохимического подхода.

Автор признателен С. В. Ветрову и В. В. Эпельштейну за помощь в работе.

Восточно-Сибирский научно-исследовательский
институт геологии, геофизики и
минерального сырья
Иркутск

Поступило
18 VIII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Л. Александров, В кн.: Матер. конф. молодых научных сотрудников, Иркутск, 1968.
- ² А. Л. Александров, Геохимия, № 7 (1968).
- ³ А. Л. Александров, В кн.: Вopr. петрохимии, Л., 1969.
- ⁴ T. F. W. Bart, The Feldspat Geology Thermometers, Neues Jahrbuch für Mineral, 82, H. 1/2 (1951).
- ⁵ T. F. W. Bart, Studies in Gneiss and Granite, 1, 2, № 1, 1956.
- ⁶ Т. Ф. Барт, Измерения палеотемператур гранитных пород, М., 1962.
- ⁷ И. В. Давиденко, Геохимия, № 5 (1966).
- ⁸ И. Л. Перчук, М. А. Глаголева, Геохимия, № 9 (1966).
- ⁹ И. Д. Рябчиков, кн.: Минералогическая термометрия и барометрия, М., 1965.
- ¹⁰ И. Д. Рябчиков, Н. 165, № 3 (1965).
- ¹¹ Б. Г. Лутц, В кн. Минералогическая термометрия и барометрия, 2, М., 1968.
- ¹² P. N. Banham, Norske Geol. tidsskr., 46, № 3 (1966).
- ¹³ Н. Немова, Сборн. анализов русских изверженных и метаморфических горных пород, Тр. Геол. комит., нов. сер., в. 186 (1930).
- ¹⁴ И. П. Алимарин, И. И. М. М., Тр. Всесоюз. инст. мин. сырья, в. 76 (1935).
- ¹⁵ Э. А. Струве, Сборн. апа-

лизом изверженных и метаморфических горных пород СССР, М., 1940. ¹⁶ S. Munk A. Nøe-Nygaard, Chemical Analyses of Igneous and Metamorphic Rocks of Denmark, Geologiske Undersøgelser, Raekke II, № 68, København, 1942. ¹⁷ J. Czerminski, M. Harapinska-Depsiuch, M. Juskowiakowa et al., Katalog Analiznych skal i mineralow Polski szesc 1900—1950. Institut Geologiczny Prace, 25, Warszawa, 1959. ¹⁸ М. И. Попкова, Е. Ф. Кайдалова, Сборн. химических анализов изверженных горных пород южной части Дальнего Востока, Хабаровск, 1961. ¹⁹ С. Б. Абовян, Г. П. Багдасарян и др., Химические составы изверженных и метаморфических горных пород Армянской ССР, Ереван, 1962. ²⁰ В. Ф. Морковкина, Химические анализы изверженных горных пород и породообразующих минералов, М., 1964. ²¹ В. А. Доильницына, К. А. Инина, Сборн. химических анализов горных пород Карелии, Петрозаводск, 1967. ²² Взаимосвязь состава и свойств горных пород, в. 1, Л., 1967. ²³ П. Н. Чирвинский, Средний химический состав главных минералов изверженных, метаморфических и осадочных пород, Харьков, 1953. ²⁴ А. Хальд, Математическая статистика с техническими приложениями, М., 1956.