

А. С. АВРАШОВ

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЗМА БАЗИФИКАЦИИ И ГРАНИТООБРАЗОВАНИЯ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 23 VI 1970)

Ванчский массив (Центральный Памир) представляет постороженный периклиналильный плутон батолитового типа, секущий пликативные структуры III и II порядка и простирающийся согласно со структурами I и частично II порядка. Внутренняя структура его несамостоятельна, она гармонична к структуре рамы. Ванчский плутон залегает преимущественно среди монотонных сланцево-песчаниковых толщ, по составу соответствующих аркозам — кислым грауваккам и весьма близких к гранитам. В меньшей мере граниты контактируют с габбро, кварцитами, мраморами. Ядро плутона слагают крупнозернистые биотитовые известково-щелочные гомогенные граниты, составы которых соответствуют котектикам ⁽¹⁾. Граниты облакаются ореолом измененных вмещающих пород.

Мощность ореолов изменений в сланцево-песчаниковых толщах достигает 2 км, т. е. размеры их од-

Химические составы пород (%)

	Вмещающие породы		Базифициров. породы		Гранитизиров. породы		Гомогенные граниты	
	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2	$\bar{X}$	σ^2
SiO ₂	72,05	4,45	64,10	6,90	64,45	2,59	70,79	1,73
TiO ₂	0,51	0,19	0,97	0,47	0,88	0,27	0,35	0,15
Al ₂ O ₃	19,36	17,97	15,29	2,55	16,70	1,34	12,45	0,84
Fe ₂ O ₃ +FeO	4,14	1,35	5,53	1,31	4,59	1,12	3,18	0,87
MnO	0,04	0,01	0,04	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02
CaO	1,09	0,19	3,32	1,41	3,39	0,66	2,26	0,63
MgO	1,81	0,69	2,35	0,57	1,54	0,40	1,01	0,42
Na ₂ O	3,55	0,82	4,19	1,20	4,51	0,62	3,52	0,44
K ₂ O	2,85	1,13	3,04	0,16	2,85	0,99	3,89	0,49

Примечание. Число анализов для каждого типа пород равно 11.

ного порядка с мощностью тела собственно гранитов. Внешние части контактового ореола образуются в этих породах вследствие привноса Ca, Mg, Fe, Ti, Na. Увеличение содержания этих элементов прогрессирует по мере нарастания изменений. Начальные изменения состоят в биотитизации вмещающих пород. Затем в значительных количествах развиваются порфиобласты плагиоклаза и сфен, к которым местами в небольшом количестве присоединяется роговая обменка. В результате формируются меланократовые гнейсы, грубополосчатые мигматиты и массивные породы состава диоритов и выделяется внешняя зона базификации.

После достижения максимального содержания фермических компонентов (грубополосчатые мигматиты диоритового состава) режим изменений меняется, и в породах, слагающих внутренние части контактового ореола, повсеместно возрастает количество SiO₂, иногда K₂O и уменьшается содержание фермических компонентов и Na₂O. При этом в виде пятен, линз, прослоев происходит укрупнение зерна. Породы приобретают состав плагиогранодиоритов, плагиогранитов. Ближе к гомогенным гранитам идет массовое развитие, — также в виде пятен, линз, прослоев, неправильных жиллоподобных тел — скоплений порфиобластов калиевого полевого шпата. В результате образуются такситовые гнейсовидные резко порфиоровидные породы состава гранодиоритов, адамеллитов, гранитов. Таким образом,

Таблица 2

Факторные нагрузки для химических составов осадочно-метаморфических неизмененных пород и продуктов метасоматической базификации

	SiO ₂		TiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO + Fe ₂ O ₃		MnO		CaO		MgO		Na ₂ O		K ₂ O	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1-В	0,62	-0,89	-0,43	0,60	0,46	0,84	-0,42	0,57	-0,60	0,68	-0,51	0,82	-0,37	0,42	0,10	0,82	-0,15	-0,13
2-В	-0,60	-0,44	-0,63	0,69	-0,82	0,25	0,82	0,72	0,27	0,02	0,28	0,31	0,57	0,72	-0,47	-0,28	0,28	0,44
3-В	0,09	-0,16	-0,11	-0,16	0,76	0,002	-0,19	0,01	0,37	-0,33	-0,37	0,06	-0,19	0,01	-0,75	-0,22	0,82	-0,02
4-В	0,03	-0,06	-0,22	0,12	-0,02	-0,07	0,14	0,31	-0,34	-0,43	-0,34	-0,26	-0,19	0,11	0,34	-0,33	-0,01	0,85
5-В	-0,36	-0,01	-0,25	0,02	-0,18	-0,08	0,09	0,06	0,43	-0,22	0,45	0,13	-0,66	0,29	-0,26	-0,04	-0,34	0,13
6-В	0,32	0,01	0,47	0,27	0,26	0,08	0,07	0,18	-0,02	0,14	0,09	-0,21	-0,08	-0,40	-0,03	-0,11	-0,20	0,13
7-В	0,03	0,02	0,15	-0,20	-0,06	-0,01	-0,13	0,38	0,27	0,38	-0,34	-0,02	-0,06	0,17	0,05	-0,28	-0,14	-0,06

Примечание. 1 — песчано-сланцевые осадочно-метаморфические породы; 2 — продукты метасоматической базификации (биотитизированные породы, гнейсы и мигматиты диоритового состава, массивные породы диоритового состава).

выделяется внутренняя зона собственно гранитизации. Состав минералов постоянный. Биотит — $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg}) = 40-50\%$. Плагноклаз соответствует номерам 20-25.

Во всех контактовых породах содержание Са, Fe, Mg, Ti, Na превышает их содержание как в исходных осадочных породах, так и в гранитах. Измененных пород с пониженным содержанием перечисленных компонентов не обнаружено.

Гомогенные граниты появляются сразу в большом количестве в узком интервале, также в виде линз, неправильных прожилков, пятен и т. п. При этом исчезают элементы ориентированного строения. Рост кислотности и K_2O происходит и при переходе от контактовых пород к гомогенным гранитам.

Для статистического изучения химизма процессов метасоматической базификации, метасоматической и анатектической гранитизации применялся факторный анализ (2). Вычисления производились на ЭВМ БЭСМ-4 В. И. Мишиным по программам, составленным Л. И. Дуденко. Полученные из статистических характеристик факторы и факторная структура отражают действия тех геологических и физико-химических факторов, которые определяют химический состав. Факторы действуют независимо один от другого и расположены нами в таблицах по величине воздействия.

Факторный анализ проводился в двух вариантах: 1) для отдельных групп пород; 2) совместно для двух групп пород, представляющих неизменные породы и продукты их изменения.

В табл. 2 представлены нагрузки факторов, воздействующих одновременно на неизменные песчано-сланцевые породы и на продукты их метасоматической базификации. При базификации песчанников и сланцев 1-й фактор, воздействующий наиболее интенсивно, «управляет» переменными (содержаниями элементов), обуславливающими базификацию в целом, и отражает суммарное воздействие геологических и физико-химических причин, приводящих к базификации. Он определяет рост содержания Al_2O_3 , СаО, Na_2O , TiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, MnO, MgO и падение SiO_2 в измененных породах. На содержание

Факторные нагрузки для химических составов гранитизированных пород и гомогенных гранитов

Фактор	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ + FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Гранитизированные породы									
1-й	0,79	-0,73	-0,85	0,17	0,37	-0,87	-0,77	-0,30	0,71
2-й	-0,44	0,51	-0,37	0,94	0,64	-0,30	0,36	-0,20	0,59
3-й	0,26	-0,32	-0,28	-0,17	0,62	-0,29	0,40	0,80	-0,18
4-й	0,27	-0,11	-0,09	0,06	0,17	0,05	0,25	-0,46	-0,31
5-й	0,14	0,16	-0,11	0,11	-0,29	-0,005	0,19	0,12	-0,06
6-й	0,08	0,25	0,03	-0,20	0,06	-0,17	-0,08	-0,06	0,02
7-й	0,04	0,08	-0,17	-0,04	0,06	0,19	-0,09	0,02	0,007
Гомогенные граниты									
1-й	-0,94	0,86	0,70	0,49	0,62	0,67	0,61	0,51	-0,26
2-й	-0,19	-0,07	0,26	-0,12	0,37	-0,46	-0,52	0,74	0,84
3-й	-0,05	0,09	-0,17	0,81	-0,25	-0,28	-0,21	0,09	-0,08
4-й	0,07	-0,003	-0,61	0,15	0,37	0,10	0,35	-0,007	0,34
5-й	-0,07	0,33	-0,08	-0,21	-0,40	-0,34	0,39	0,15	0,10
6-й	-0,13	-0,30	-0,06	0,02	-0,31	0,31	0,06	0,25	0,09

K₂O он практически не влияет. Влияние 1-го фактора на неизменные породы значительно слабее, чем на измененные. В последних он наиболее интенсивно воздействует на рост содержания Al₂O₃, Na₂O, CaO, т. е. изменения начальной стадии в целом по всей зоне — при одновременном увеличении содержания фемических минералов — в большей мере вызваны развитием олигоклаза. 1-й фактор отражает доминирующую роль основных элементов с низкой электроотрицательностью и щелочной характер растворов на начальной стадии гранитообразования.

2-й фактор определяет в одинаковой мере и в неизменных и в базифицированных породах увеличение содержания TiO₂, Fe₂O₃ + FeO, MgO и уменьшение SiO₂. Он отражает общее геохимическое разделение элементов в пределах каждой группы в отдельности.

3-й и 5-й факторы действуют только на неизменные вмещающие породы. 4-й фактор определяет повышение содержания K₂O в базифицированных породах, указывая на независимость причин, определяющих режим K₂O и на их незначительную роль при базификации. Факторов, вызывающих вынос K₂O, не обнаружено.

При метасоматической гранитизации парадиоритов, мигматитов, гнейсов диоритового состава, 1-й, наиболее «мощный», фактор определяет увеличение содержания SiO₂ и K₂O и вынос всех остальных компонентов (за исключением железа), т. е. главное содержание процесса гранитизации.

Вторым по силе воздействия является фактор, независимо от первого, отражающий причины образования фемических минералов гранитоидов — биотита. Содержание Fe₂O₃ + FeO, K₂O, TiO₂, MgO, MnO пропорционально силе воздействия 2-го фактора. При этом решающую роль играет Fe, так как здесь устанавливается наибольшая факторная нагрузка. Одновременно устанавливаемые высокие факторные нагрузки на MnO и TiO₂ указывают на то, что существование этих элементов определяется, в первую очередь, входением в состав биотита в гранитизированных породах, тогда как в базифицированных породах одним фактором определяется содержание TiO₂ и CaO (TiO₂ входит в состав пород главным образом в виде сфена).

3-й фактор «управляет» только поведением Na₂O и MnO, т. е. содержание Na определяется независимыми причинами и не связано с главным содержанием процесса гранитизации. Вероятно, он отражает сохранение альбитового компонента полевых шпатов.

Исследование составов гомогенных гранитов при помощи факторного анализа и сопоставление с результатами такого же исследования пород,

несомненно представляющих собой продукты метасоматической гранитизации, должно помочь ответить на вопрос о том, являются ли составы гомогенных гранитов результатом: 1) только кристаллизации из внедренного расплава; 2) апатексиса, совместно с привнесом ряда компонентов растворами; 3) более глубокой, сугубо метасоматической гранитизации.

Факторная структура составов гомогенных гранитов отличается от факторной структуры составов гранитоидов, возникших путем метасоматической гранитизации. Первый, наиболее сильный, фактор, действующий на формирование составов гомогенных гранитов, показывает очень сильную отрицательную факторную нагрузку на SiO_2 , более слабую отрицательную нагрузку на K_2O и сильные положительные факторные нагрузки на все остальные компоненты. Это соответствует происходящим в процессе апатексиса (¹) изменениям составов апатектических расплавов от «расплавов-минимумов», наиболее богатых SiO_2 , K_2O , с минимальным содержанием Al_2O_3 и фемических компонентов, — по мере увеличения апатексиса вдоль котектик, — к составам исходных пород, относительно обогащенных Na_2O при этом в ходе неконгруэнтного плавления темноцветных минералов и плагиоклаза расплавы обогащаются фемическими компонентами и Al_2O_3 .

2-й фактор показывает, что следующими по силе воздействия причинами, определяющими состав гомогенных гранитов, являются содержания K_2O и Na_2O . Это еще раз подтверждает значение активностей щелочей при образовании гранитов путем магматического замещения (²). Необходимо отметить, что в гомогенных гранитах содержание Na_2O , в противоположность K_2O , уменьшается сравнительно с гранитизированными породами, т. е. Na_2O даже при выносе сохраняет особое значение. Эту роль он играет благодаря низкой электроотрицательности, обуславливающей его сильное воздействие на кислотно-основные свойства растворов и расплавов, и высокой растворимости. Эти же причины определяют уменьшение содержания щелочноземельных металлов.

Таким образом, 2-й фактор продолжает здесь основную тенденцию метасоматической гранитизации.

3-й фактор (только железо имеет высокую факторную нагрузку) указывает на то, что содержание железа при апатексисе и кристаллизации из расплавов определяется причинами, не играющими большой роли в формировании составов гомогенных гранитов и практически не зависящими от остальных компонентов, фиксируемых химическим анализом, — вероятно, это p_{O_2} .

4-й фактор отражает причины, обуславливающие уменьшение Al_2O_3 в процессе кристаллизации расплава. Роль их в образовании составов гранитов весьма незначительна.

Всесоюзный научно-исследовательский
геологический институт
Ленинград

Поступило
18 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Вилклер, Генезис метаморфических пород, 1969. ² Д. Лоули, А. Максвелл, Факторный анализ, как статистический метод, 1967. ³ Д. С. Коржинский, Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов, 1957.