

# СОВЕТСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО « НЕДРА »

1973

Оттиск № 5

О. Н. ВОЛЫНЕЦ, А. В. КОЛОСКОВ

(Ин-т вулканологии Дальневост. науч. Центра АН СССР)

## Некоторые петрологические критерии фаций глубинности магматических образований

Для характеристики фаций глубинности магматических образований обычно используются такие параметры, как степень окисленности железа и количество связанной воды в породе. Однако детальное изучение разрезов потоков и экструзий, а также приповерхностных интрузий показало, что изменение этих параметров определяется в основном положением анализированных проб относительно контактовых поверхностей данного магматического тела.

Проведенные авторами исследования позволяют предложить в качестве критериев разноглубинности магматических проявлений особенности состава и морфологии плагиоклазов в сочетании с известными ранее показателями различной упорядоченности их, а также особенности кварц-полевошпатовых сростаний в породах.

Анализ геологической литературы показывает, что эти характеристики заметно отличаются в породах разных фаций глубинности. Например, хорошо известно, что в общем случае плагиоклаз вкрапленников эффузивов более кальциевый, чем плагиоклаз соответствующих по основности глубинных пород [4, 7 и др.].

В обширной литературе, посвященной морфологии и генезису закономерных кварц-полевошпатовых сростаний в магматических породах, в той или иной степени рассматриваются вопросы распространенности различных типов сростаний в породах разного фациального облика [4, 11, 12, 13 и др.].

Используя материалы изучения разновозрастных магматических образований Камчатки, авторы провели сравнительное исследование указанных характеристик для пород различных фаций глубинности. Результаты представлены в таблице, анализ которой показывает, что в ряду комплексов пород, расположенных по глубинности, закономерно и постепенно изменяется целый ряд характеристик плагиоклазов, равно как и тип кварц-полевошпатовых сростаний.

От эффузивов к более глубинным интрузиям увеличивается степень упорядоченности плагиоклазов, уменьшаются как вариации их составов, так и содержание кальция в плагиоклазах в одинаковых петрографических типах пород, сокращается (вплоть до появления отрицательных значений) разность между средними модалными и нормативными составами этого минерала. Осциллярная зональность плагиоклазов, характерная для лав и экструзий, в глубинных интрузиях встречается редко, что было ранее отмечено А. Э. Питтманом [20]. Примечательно также наличие сложных Т-образных и крестообразных сростков плагиоклазов в лавах и приповерхностных интрузиях, практически отсутствующих в глубинных интрузиях.

Параллельно меняется и характер кварц-полевошпатовых сростаний от сфероидного в лавах, через микропегматитовый в интрузиях малой глубинности до мirmekитового и аллотриоморфного, в наиболее глубинных интрузиях. С глубиной тонкие «дендритовидные» и «дактилоскопические» микропегматитовые сростания сменяются грубыми «блочными», одновременно изменяется упорядоченность щелочного полевого шпата в сторону повышения его триклинности.

Показательным в отношении глубинности образования пород является соотношение модалных и нормативных составов плагиоклазов. Несмотря на широкие вариации этого признака в различных петрографических типах, рассчитанные средние модалные составы в каждом изученном комплексе обнаруживают четкую линейную зависимость от составов нормативных плагиоклазов в породах (рис. 1), причем коэффициенты корреляции лежат в пределах 0,67—0,99. Такая же четкая зависимость устанавливается между модалными составами плагиоклазов и содержанием  $\text{SiO}_2$  в породах (рис. 2), пределы коэффициентов корреляции 0,60—0,97.

Построенные по результатам расчетов линии регрессии отчетливо смещаются в сторону меньших значений модальных составов плагиоклазов в более глубинных образованиях. Весьма любопытно, что линии регрессии для вкрапленников плагиоклазов эффузивов и плагиоклазов приповерхностных интрузий почти совпадают, что приводит к мысли о сходстве условий их кристаллизации.

Диаграмма соотношения модальных и нормативных составов плагиоклазов (см. рис. 1) была дополнена литературными данными по лавам четвертичного вулкана Алагез в Армении [6], мезозойским гранитоидам Забайкалья [9], расслоенным интрузиям Скергаард, Рам и Стиллоутер [15], батолитам Уаллоуа и Централь Сьерра Невада запада США [21, 22, 23] и по каменному литью [10]. При этом оказалось возможным выделить три четко разграниченных поля (рис. 3): I — поле плагиоклазов каменного литья; II — поле плагиоклазов эффузивов и приповерхностных интрузий; III — поле плагиоклазов собственно гипабиссальных и более глубинных интрузий.

Наиболее низкое положение на диаграмме занимают плагиоклазы батолитов запада США, отнесенные к фации глубинных гранитоидов [14]. Близки к ним по расположению фигуративных точек мезозойские гранитоиды Забайкалья и позднемиоценовые — палеогеновые интрузии габбро-плагиогранитов Камчатки. Верхняя граница поля глубинных интрузивных пород проходит несколько выше фигуративных точек, соответствующих гипабиссальным интрузиям миоценовых гранитоидов Камчатки. Н. Л. Шилин [18] оценил давление воды при кристаллизации этих интрузий в 1,5—2,5 кбар. Глубины становления их, по геологическим данным, порядка 1—1,5 км.

В поле II попадают плагиоклазы миоценовых интрузий Камчатки, глубина становления которых, по геологическим данным, колеблется от первых сотен метров до 1 км. Здесь же располагаются фигуративные точки расслоенных интрузий Скергаард, Стиллоутер, Рам. Верхняя кромка интрузии Стиллоутер располагалась на глубинах порядка 1 км; Рамский массив рассматривается как промежуточный очаг, питающий вулкан; для Скергаардской

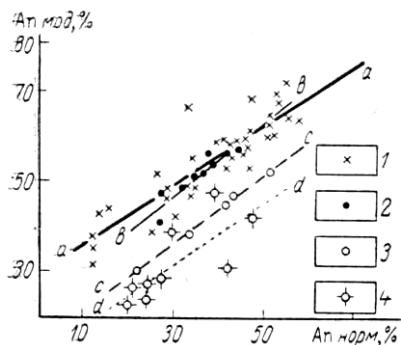


Рис. 1. Соотношение модального и нормативного составов плагиоклазов в разноглубинных магматических породах Камчатки

1 — четвертичные лавы; 2 — приповерхностные миоценовые гранитоиды; 3 — гипабиссальные миоценовые гранитоиды; 4 — гипабиссальные позднемиоценовые — палеогеновые гранитоиды. Буквами (a, b, c, d) обозначены линии регрессии, соответственно для 1, 2, 3, 4

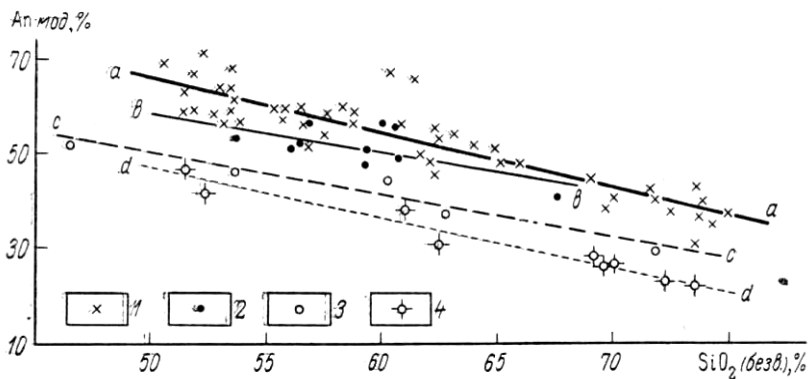


Рис. 2. Соотношение модальных составов плагиоклазов и содержания  $\text{SiO}_2$  в разноглубинных магматических образованиях Камчатки

Усл. обозн. см. рис. 1

интрузии использованы данные по составу верхней краевой зоны [15]. Глубина, на которой находился расплав, послуживший для образования породы этой зоны, также, очевидно, невелика, так как в контактах здесь отмечены мелкозернистые фации закалки. Давление воды при кристаллизации Скергаардской интрузии было крайне незначительно и не превышало 1,0 кбар [19].

Результаты изучения стекловатых включений в минералах показывают, что кристаллизация вкрапленников эффузивов происходит из очень бедных водой магм [1].

**Особенности плагиоклазов и характер кварц - полевошпатовых сра**

Комплекс, геологический возраст	Глубина становления, м	Разница между наиболее основным и наиболее кислым плагиоклазом для отдельных петрографических типов пород (в % An)	Степень упорядоченности *	Зональность
Потоки и экструзии четвертичного возраста	0 — 100	35 — 75	От 0 — 0,20 до 0,40 — 0,45	Интенсивная; нередки коррозионные границы зон; обычна осциллярная
Инtruзии габбро - гранодиоритов N <sub>1</sub> возраста	Приповерхностные	От первых сотен метров до 1000	0,2 — 0,8	Интенсивная, нередко осциллярная
	Гипабиссальные	1000 — 1500	40 — 45 Для интрателлурических генераций 0,25 — 0,50; для остальных генераций — 0,65 — 0,80	
Инtruзии габбро-плагиогранитов Cr <sub>2</sub> - Pg	2000 — 3000	20 — 25 в наиболее кислых разностях до 15 — 20	0,70 — 0,90	Проявлена слабо, количество зон невелико, осциллярная зональность встречается редко

\* Определено по методу А. С. Марфунина [8].

\*\* Рассчитаны как средние арифметические по результатам массовых определений составов плагио-

Экспериментальные данные по кристаллизации кислых расплавов, характеризуют наличие вкрапленников амфибола и биотита как свидетельство о различном давлении воды: не менее 1 кбар для дацитового, 0,5 кбар для гранитного расплавов, и менее 2 кбар при содержании вкрапленников ниже нормативного [16, 1.7]. Сравнение модальных и нормативных составов средних и кислых камчатских лав показывает, что количество биотита и амфибола в них, как правило, ниже нормы; зачастую же водосодержащие цветные минералы отсутствуют вовсе. Последнее позволяет заключить, что кристаллизация вкрапленников в этих породах происходила при давлении воды ниже 2 кбар, а нередко и менее 1 кбар.

Кристаллизация каменного литья (как природных образцов базальта, так и искусственных камней) проводилась при атмосферных условиях в сухой системе.

Таким образом, поле вкрапленников эффузивов и плагиоклазов приповерхностных:

станий в разновозрастных магматических проявлениях Камчатки

Средние** составы плагиоклазов по типам пород (в % An)	Колебания величины стандартного отклонения от рассчитанного среднего (в % An)	Разница между средними модальными и нормативными составами плагиоклазов, (в % An)	Характер кварц-полевошпатовых сростаний
Базальт 62,9 Андезито-базальт 55,8 Андезит 57,6 Андезито-дацит 52,2 Дацит 49,1 Липарито-дацит 41,2 Липарит 38,9	2,5 — 14 преобладает 7 — 12	5 — 30	Сферолитовые (анортоклаз + тримит)
Габбро 55,7 Габбро-диорит 50,8 Диорит 48,3 Гранодиорит 40,8	9,5 — 12,5	7 — 20,5	Микропегматитовые от дендритовидных до грубых блочных по мере возрастания глубины становления (ортоклаз + кварц)
Габбро 52,1 Габбро-диорит 46,4 Кварцевый диорит 45,0 Гранодиорит 37,8 Гранит 30,0	8 — 11	1,5 — 8,0	Мирмекитовые (альбит — олигоклаз + кварц), аллотриоморфнозернистые (альбит, ортоклаз, кварц)
Габбро 47,5 Габбро-диорит 41,9 Кварцевый диорит 34,8 Гранодиорит 27,5 Гранит 24,7	4 — 7	от + 10 до — 10	Аллотриоморфнозернистые (альбит, ортоклаз, кварц), мирмекитовые (альбит, олигоклаз + кварц)

клазов в зоне  $\perp$  (010) и (001).

интрузий ограничено сверху общим давлением, равным 1 ат, а снизу — давлением воды порядка 1,5—2 кбар. Эксперименты по влиянию давления нагрузки на состав кристаллизующего плагиоклаза в кварц-диоритовом и базальтовом расплавах показывают, что в безводных условиях с возрастанием общего давления кристаллизующиеся плагиоклазы имеют все более натровый состав [2, 3, 5]. При этом в поле эффузивов попадают фигуративные точки плагиоклазов, кристаллизация которых происходит при давлении нагрузки менее 9 кбар, что соответствует глубинам до 27—30 км. Учитывая же, что в рассматриваемом поле отмечаются и плагиоклазы приповерхностных интрузий, становление которых происходит также при небольших давлениях воды, можно полагать, что глубины кристаллизации вкрапленников эффузивов гораздо меньше.

Таким образом, соотношение между модальными и нормативными составами плагиоклазов служит показателем условий образования магматических пород и может быть использовано для оценки их глубинности. Однако следует заметить, что разница меж-

ду модальными и нормативными составами плагиоклазов убывает с повышением кальциевости нормативного плагиоклаза (рис. 4), что затрудняет использование этого признака при составах нормативного плагиоклаза более 45—50% An. Диаграмма SiO<sub>2</sub> — модальный состав плагиоклаза, по-видимому, является менее удачной для оценки глубинности магматических образований, так как при ее построении недостаточно полно учитывается специфика химизма пород.

Предложенные диаграммы (см. рис. 3 и 4) можно использовать для генетической характеристики кристаллических включений в вулканических породах, если полагать, что эффузивам могут быть родственны только те включения, в которых кристаллизация минералов происходила в условиях, соответствующих кристаллизации вкрапленников в эффузивах. С этих позиций те включения, у которых плагиоклазы попадают в поле глубинных магматических пород (см. рис. 3, 4 поле III), должны рассматриваться как ксеногенные. Включения же с плагиоклазами, попадающими в поле эффузивов и при-

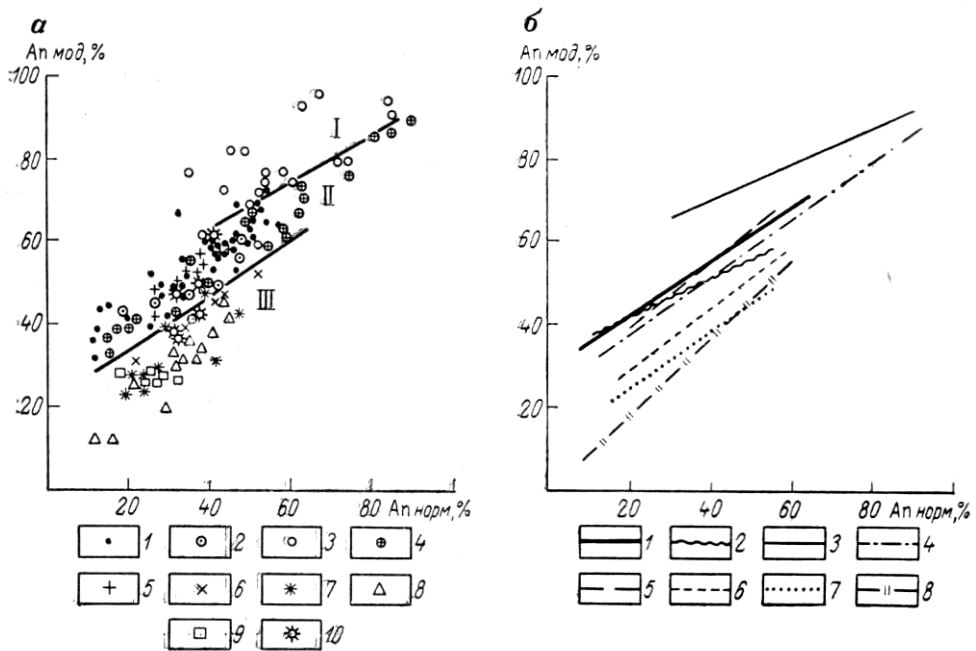


Рис. 3. Соотношение модального и нормативного составов плагиоклазов в породах различных магматических комплексов

*а* — положение фигуративных точек, *б* — положение линий регрессий, 1—8 (для *а*, *б*): 1 — четвертичные лавы Камчатки; 2 — лавы четвертичного вулкана Алагез [6]; 3 — каменное литье [10]; 4 — интрузии Скергаард, Стиллоутер, Рам [15]; 5—7 гранитоиды Камчатки: 5 — приповерхностные и 6 — гипабиссальные миоценовые; 7 — гипабиссальные позднемиоценовые — палеогеновые; 8 — гранитоиды батолитов запада США [21, 22, 23]; 9—10 (для *а*) 9 — мезозойские гранитоиды Забайкалья [9]; 10 — кристаллические включения в четвертичных вулканитах Камчатки. I—III поля плагиоклазов (для *а*): I — каменного литья, II — эффузивов и приповерхностных интрузий, III — гипабиссальных и более глубинных интрузий

поверхностных интрузий (см. рис. 3,4 поле II), могут быть не только родственными (сегрегации и продукты полной кристаллизации магмы эффузивов), но и ксеногенными (ксенолиты приповерхностных интрузий). Однозначная интерпретация без привлечения дополнительных данных в этом случае невозможна в связи со сходством условий кристаллизации вкрапленников в эффузивах и минералов в приповерхностных интрузиях.

Примером родственных включений служат включения диоритов и гранодиоритов в андезитовой пирокластике на вулкане Малый Семьячик, которые по химическому составу практически не отличаются от содержащих их вулканитов. Напротив, включения диоритов и гранодиоритов в дацитах главного купола вулкана Хангар можно рассматривать как ксеногенные, поскольку их плагиоклазы попадают в поле интрузивных пород. С этим хорошо согласуются и другие минералогические особенности включений, в частности, наличие андалузита, отсутствующего в эффузивах, но отмеченного в интрузивных и метаморфических образованиях фундамента вулкана Хангар.

В заключение можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Соотношения модальных и нормативных составов плагиоклазов в кислых и средних магматических породах в сочетании с данными по их упорядоченности и характеру

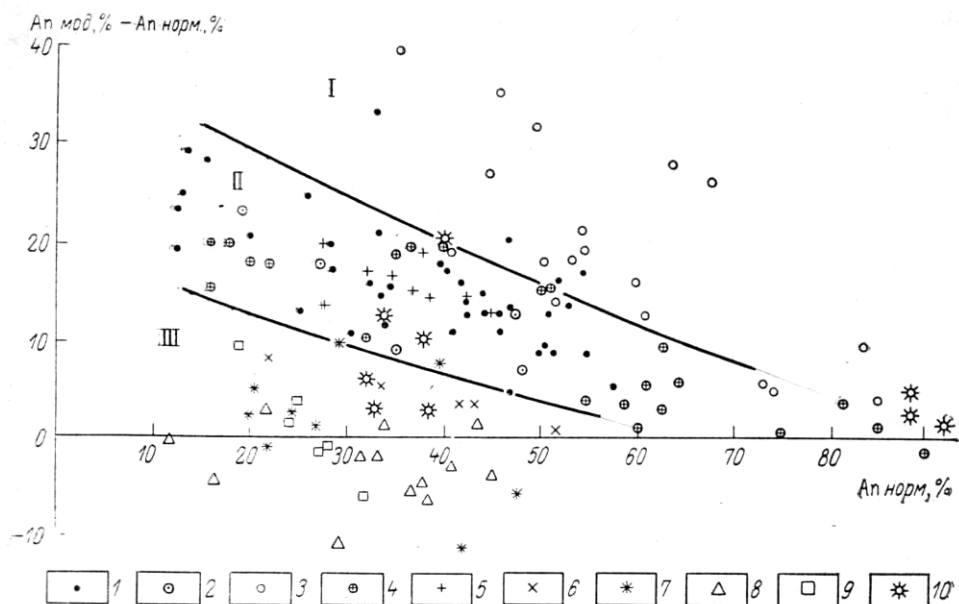


Рис. 4. Зависимость разности модаляного и нормативного состава плагиоклаза от состава нормативного плагиоклаза в породах различных магматических комплексов.

Усл. обозн. см. рис. 3, а

кварц-полевошпатовых сростаний можно рассматривать в качестве петрологических критериев глубинности магматических образований.

2. Кристаллизация вкрапленников плагиоклазов в четвертичных эффузивах Камчатки, по-видимому, происходит в приповерхностных условиях при давлении воды от 0 до 1,5—2 кбар.

3. Диаграммы соотношений модальных и нормативных составов плагиоклазов могут быть использованы при генетической интерпретации кристаллических включений в вулканических породах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакуменко И. Т., Коляго С. С., Соболев В. С. Проблема интерпретации термометрических исследований стекловатых включений в минералах и первые результаты проверки на искусственных включениях. — «Докл. АН СССР», 1967, т. 175, № 5, с. 1127—1130.
2. Высокоглиноземистый базальт, механизм его плавления и кристаллизации на больших и малых глубинах. — «Геохимия», 1971, № 9, с. 1027—1040 с ил. Авт.: Н. И. Хитаров, А. Б. Слуцкий, В. А. Пугин, И. А. Солдатов.
3. Грин Т. Х. Экспериментальные исследования генезиса анортозитов при высоких давлениях. — В кн.: Петрология верхней мантии. М., «Мир», 1968, с. 228—255 с ил.
4. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., Изд-во АН СССР, 1955. 479 с. с ил.
5. Коэн Л. Х., Ито К., Кеннеди Дж. К. Плавление и фазовые соотношения в безводных базальтах при давлении до 40 кб. — В кн.: Происхождение главных серий изверженных пород по данным экспериментальных исследований. Л., «Недра», 1970, с. 53—91 с ил.
6. Лебедев А. П. Плагиоклазы четвертичных лав Алагеза. — «Труды ин-та Геол. наук АН СССР Петр. сер.», 1938, № 4, вып. 5, с. 13—29 с ил.
7. Лодочников В. Н. Главнейшие породообразующие минералы. М., Гостеолтехиздат, 1955. 248 с. с ил.
8. Марфунин А. С. Полевые шпаты — фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение. — «Труды Ин-та геол. рудн. м-ний, петрог. минерал. и геохим.», 1962, вып. 78, 275 с. с ил.
9. Панов Е. Н. Опыт статистического исследования взаимозависимости состава и величины выделений плагиоклаза в изверженных горных породах. — «Труды всесоюз. науч.-исслед. Геол. ин-та. Нов. сер.», 1963, т. 96, с. 165—185 с

10. Рашин Г. А. О колебаниях в составе плагиоклазов в андезито-базальтовых породах. — «Зап. всесоюз. минерал. об-ва», 1962, вып. 3, с. 271 — 290 с ил.
11. Розенбуш Г. Описательная петрография. М., Горгеонефтеиздат, 1934. 719 с. с ил.
12. Серебряков В. А. О происхождении мирмекитов. — «Зап. всесоюз. минерал. об-ва. Сер. 2», 1963, вып. 1, с. 98 — 103 с ил.
13. Соболев Р. Н. О генезисе мирмекитов. — «Вестник Моск. ун-та», 1958, № 4 с. 131 — 136 с ил.
14. Гернер Ф., Ферхуген Дж. Петрология изверженных и метаморфических пород. М., Изд-во иностр. лит., 1961. 592 с. с ил.
15. Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные горные породы, М., «Мир», 1970. 547 с. с ил.
16. Хитаров Н. И., Нагапетян Л. Б., Лебедев Е. Б. Кристаллизация расплава дацитового состава в условиях давления водяного пара от 500 до 3000 кг/см<sup>2</sup>. — «Геохимия», 1969, № 1, с. 8 — 13 с ил.
17. Хитаров Н. И., Нагапетян Л. Б., Лебедев Е. Б. Особенности кристаллизации кислых расплавов (экспериментальное исследование). — «Геохимия», 1969, № 3, с. 273 — 287 с ил.
18. Шилин Н. Л. Оценка температуры и давления, существующих при формировании двухфазовых гипабиссальных тел (Центральная Камчатка). В кн.: Магма малоглубинных камер. М., «Наука», 1970, с. 53 — 67 с ил.
19. Kudo A. M., Weill D. F. An igneous plagioclase thermometer. *Contr. Mineral. and Petrol.*, 1970, v. 25, No 1.
20. Pittman A. J. Use of zoned plagioclase as indicator of provenance. *J. Sediment. Petrol.*, 1963, v. 35, No 2.
21. Piwinski A. J. Experimental studies of igneous rock series, Central Sierra Nevada Batholith, California. *J. Geol.*, 1968, v. 76, No 5.
22. Piwinski A. J., Wyllie P. J. Experimental studies of igneous rock series: a zoned pluton in the Wallowa Batholith, Oregon. *J. Geol.*, 1968, v. 76, No 2.
23. Piwinski A. J., Wyllie P. J. Experimental studies of igneous rock series: felsic body suite from the Needle Point Pluton, Wallowa Batholith, Oregon. *J. Geol.*, 1970, v. 78, No 1.