

© Д.чл. УАГН О.К. Иванов

РАЦИОНАЛЬНАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМАТИКА ОРТОМАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Уральский Институт минерального сырья, г.Екатеринбург

© Ivanov O.K.

THE RATIONAL CHEMICAL SYSTEMATICS OF ORTHOMAGMATIC ROCKS

Автореферат

Предлагается использовать для систематики ортомагматических горных пород общую диаграмму в координатах сумма оксидов железа, магния и кальция или сумма оксидов щелочей в мас.% и сумма кремнезема и глинозема, в мас.%. Эти параметры более соответствуют структуре силикатных расплавов, отвечающих по составу ортомагматическим горным породам и разному поведению двух структурных групп в расплавах разного состава. Предложенная систематика позволяет упростить разделение групп ортомагматических горных пород по границам 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 % суммы кремнезема и глинозема. Предлагается разделение ортомагматических горных пород на группы, названные по содержанию основных элементов – ультрамафические (ультрамафиты) (Mg, Fe) с 30-50 мас.% суммы $SiO_2 + Al_2O_3$, мафические (мафиты) с 50–60% тех же компонентов, сиалические (сиалиты) с 60–70 % , мезосиалические (мезосиалиты) с 70–80 %, ультрасиалические (ультрасиалиты) (Si, Al) с 80–90 мас.% и кремнистые (силиты) с 90–100 % суммы глинозема и кремнезема. Разделение на ряды по содержанию суммы оксидов щелочей или суммы оксидов железа, магния и кальция производится по содержанию этих компонентов кратным 5, 10, 15 и 20%, соответственно, на низкощелочные (нормальные) с 0–5 % суммы щелочей, мезощелочные с 5–10 % , щелочные (10–15 %) и ультращелочные с 15–25 % суммы щелочей породы. Отсюда выделяются общие для вулканитов и плутонитов семейства ортомагматитов по тем же границам с двойными наименованиями. Например, семейство щелочного мафита или в виде содержания суммы кремнезема 50-60%, сумма щелочей 10-15% или в виде названий конкретных семейств отдельно для вулканитов и плутонитов. Внутри семейств возможно выделение видов отдельно для вулканитов и плутонитов в рамках, принятых в современной петрографии. Четкие границы видов даны на примере группы андезитов-диоритов (мезосиалитов). Выделенные границы семейств и видов отличаются четкими границами, а виды легко диагностируются по данным химического анализа.

Ключевые слова: Систематика, классификация, ортомагматические, горные породы.

Современная систематика ортомагматических горных пород отличается достаточной простотой, удобностью и общепринятостью, по сравнению с ранее предложенными, [3, 10, 11] но содержит в себе некоторые терминологические и логические противоречия, а именно:

- 1) Несмотря на общий чисто химический подход к систематике на основе TAS диаграммы, предпочтение при диагностике отдается почему-то минералогическому составу, который в вулканитах, например, может совсем не реализовываться. Это странное сочетание химического и минералогического подхода в современных классификациях является следствием первоначальных минералогических методов диагностики горных пород и, особенно, великолепно разработанного во второй половине XIX столетия микроскопического метода.
- 2) Такие термины, как «ультраосновные», «основные», «средние» и «кислые» породы не всегда соответствуют современным представлениям о кислотности, основности и щелочности пород.
- 3) Термины «кислая щелочная» порода или «ультраосновная щелочная» порода попросту абсурдны и понятны только петрографам, которые понимают под ними не то что пишут, а породы содержащие т.н. «щелочные» минералы, как например, нефелин, лейцит и т.д. Почему-то альбит и микроклин щелочными минералами не считаются.
- 4) В современных классификациях не учитываются данные о структуре силикатных расплавов, отвечающих по составу ортомагматическим породам и отражающих, в конечном счете, их потенциальный минералогический состав, обусловленный, в том числе, и скоростью кристаллизации [4].
- 5) Границы типов семейств пород на TAS диаграмме расплывчатые и перекрывающиеся, что не дает простой возможности установить с какой породой или семейством имеешь дело. Особенно неудачна диаграмма, приведенная в «Петрографическом кодексе», где границы семейств практически не обозначены [11].

Практические требования к петрографической систематике

Мы считаем, что для рациональной системы определения групп, семейств и видов пород, не только геологами, но и любыми специалистами, имеющими дело с магматическими горными породами, необходимы достаточно простые действия, а именно:

1. Использование только общей для плутонов и вулканитов химической классификации для диагностики, по крайней мере, семейств горных пород.
2. Принятие четких границ между группами, рядами, семействами и видами ортомагматических горных пород.
3. Использование простых и рациональных химических критериев разделения пород.
4. Максимальное сохранение устоявшихся петрографических терминов.

Выбор параметров генеральной диаграммы

При выборе параметров диаграммы для разделения ортомагматических горных пород, по нашему мнению, решающее значение имеет химический состав породы, а, следовательно, состав и структура материнских силикатных расплавов. Согласно современным исследованиям силикатный расплав состоит из двух главных структурных элементов – катионов-модификаторов и анионов-комплексобразователей [1, 2]. От их содержания и соотношения зависят многие физические свойства расплава – вязкость, текучесть, температура кристаллизации и т.д., а также потенциальный состав кристаллизующихся минералов [4]. К катионам-модификаторам относятся K, Na, Mg, Ca, Fe и другие. К элементам образующим анионы-комплексобразователи Si, Al, образующие комплексы - $[\text{SiO}_4]^{4-}$, $[\text{Si}_2\text{O}_6]^{4-}$, $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$, $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{2-}$, и так далее, $[\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8]^{2-}$, $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^{1-}$ и т.д., аналогичные комплексы Ti, Zr, а также $[\text{CO}_3]^{2-}$, $[\text{PO}_4]^{2-}$, $[\text{SO}_4]^{2-}$, $[\text{BO}_3]^{1-}$, S, F, Cl. Строго говоря, к анионам следует относить Fe^{3+} или Fe_2O_3 . Однако, его учет невозможен, так как многие континентальные вулканиты подвергаются при извержении интенсивному окислению кислородом воздуха, что существенно меняет первичную картину. Во-вторых, некоторые геологические

процессы, например, постмагматическая перекристаллизация приводят к увеличению содержания трехвалентного железа, как например, в пердунитах [5]. В третьих, некоторые наложенные процессы, например, серпентинизация ультраосновных пород приводит к резкому увеличению содержания трехвалентного железа, которое не всегда учитывается при пересчетах анализов [13]. Это дает основание оставить окисное железо в группе катионов.

Таким образом, наиболее общими параметрами (координатами) диаграммы могут быть только две группы структурных элементов расплава – катионы и анионы.

Для простоты расчетов и построений взяты сумма оксидов катионов в мас.% и сумма оксидов анионов $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$ в мас.% (рис.1).

Ввиду того, что отношения обеих групп компонентов образуют линейную зависимость, она слабо информативна. Для ее уточнения необходимы дополнительные диаграммы.

В обычных силикатных породах среди катионов четко выделяется две группы – щелочи- Na и K и щелочно-земельные элементы – Mg, Ca и Fe. В ортомагматических горных породах их поведение имеет обратную зависимость (рис.2). Следовательно, для использования можно брать любую группу компонентов или сумму щелочей, как это сделано в TAS диаграмме или сумму щелочно-земельных элементов. Среди анионов также выделяется два ведущих компонента. Это SiO_2 , а также близкие к нему TiO_2 , ZrO_2 и Al_2O_3 . Присутствие глинозема не учитывается на TAS диаграмме, хотя его содержание в горных породах может быть достаточно высоким (до 30 мас. %). На диаграмме $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ наблюдается сначала асимметричное увеличение содержания глинозема в области до 45 – 55 % кремнезема, затем постепенное падение (рис. 3). Т.е. мы не можем использовать тот или иной компонент, так как между ними нет прямой зависимости. Следовательно, вторым параметром должно быть не содержание кремнезема или глинозема, а сумма этих компонентов. Именно этим отличается наша диаграмма от TAS диаграммы. При этом для упрощения возьмем только значимые анионы – SiO_2 и Al_2O_3 . На такой диаграмме максимум содержания глинозема сместится вправо (рис. 4).

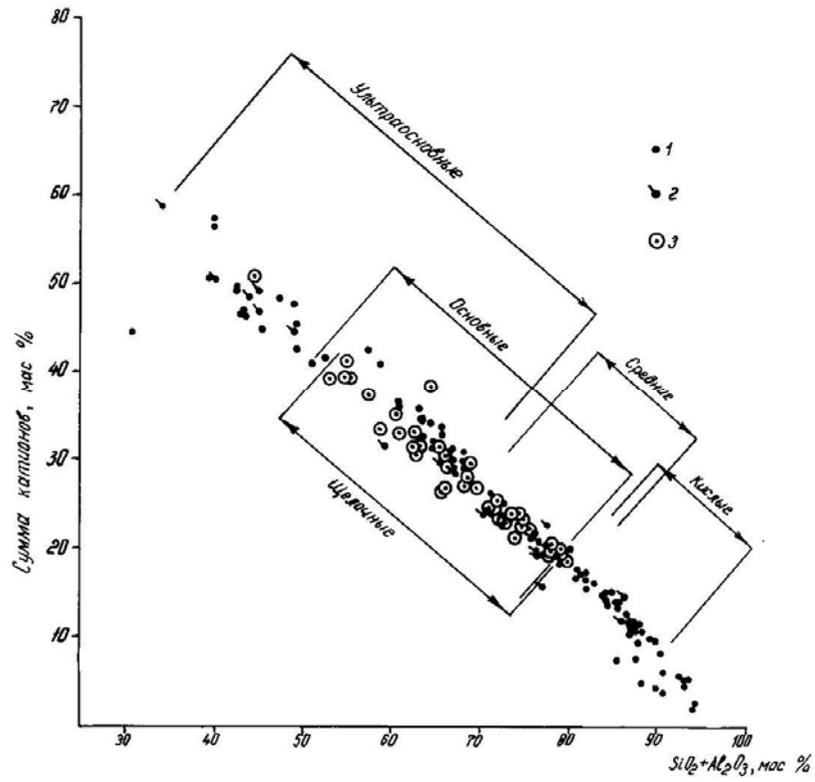


Рис.1. Соотношение суммы катионов и суммы анионов в ортомагматических горных породах и их сравнение с группами на TAS диаграмме.

Условные обозначения: 1 – нормальные породы, 2 – субщелочные, 3 – «щелочные».

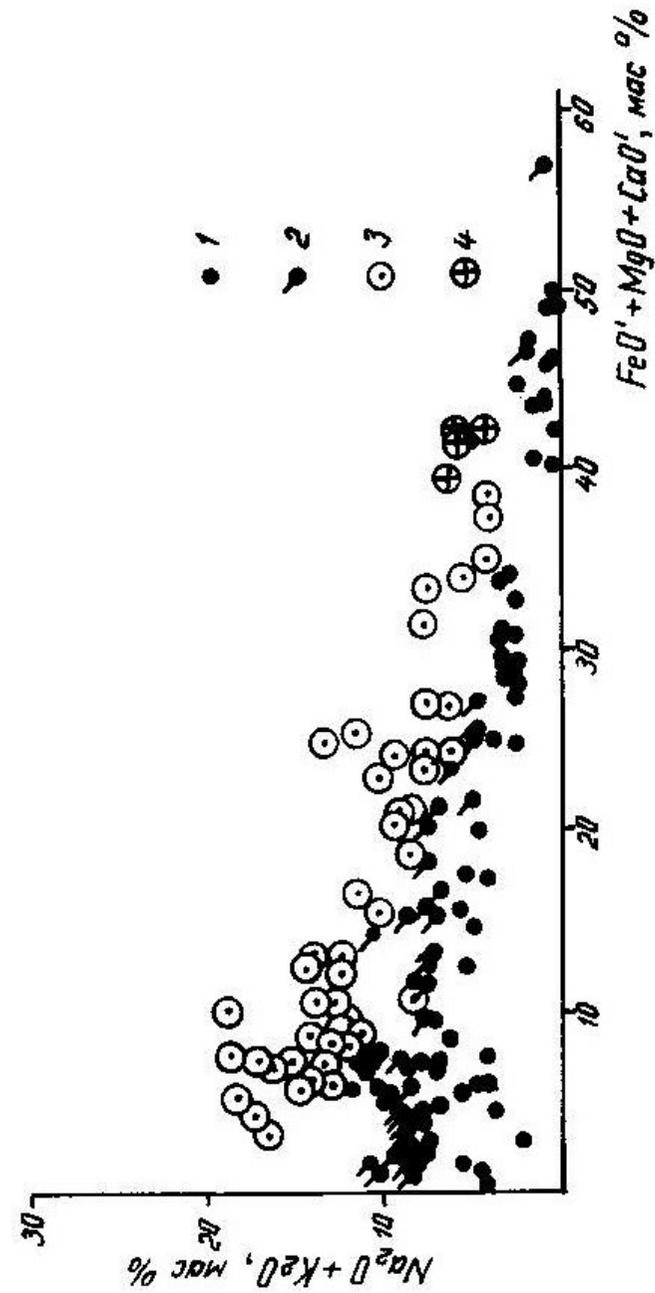


Рис.2. Соотношение содержаний $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ мас. % и $\text{FeO}' + \text{MgO} + \text{CaO}$, мас. % Условные обозначения: 1 – нормальные по щелочности породы, 2 – субщелочные, 3 – «щелочные», 4 – мелилитсодержащие.

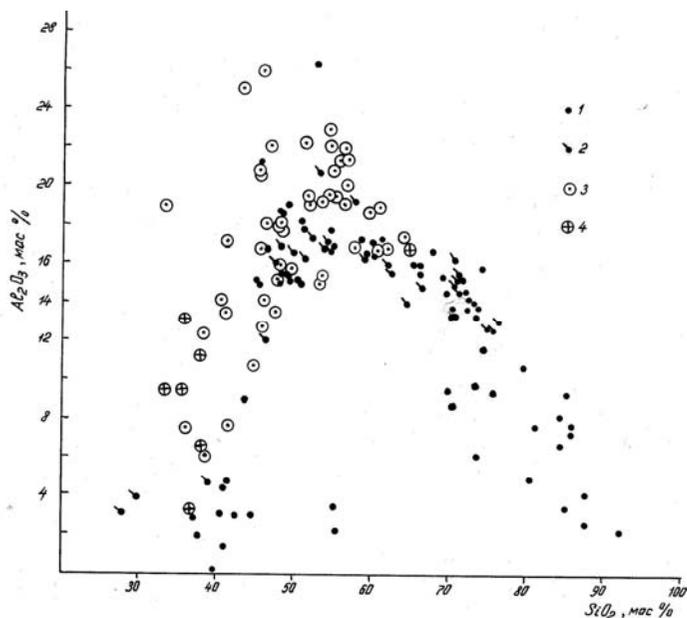


Рис. 3. Соотношение содержаний Al_2O_3 и SiO_2 в мас. %.
Условные обозначения как на рис. 2.

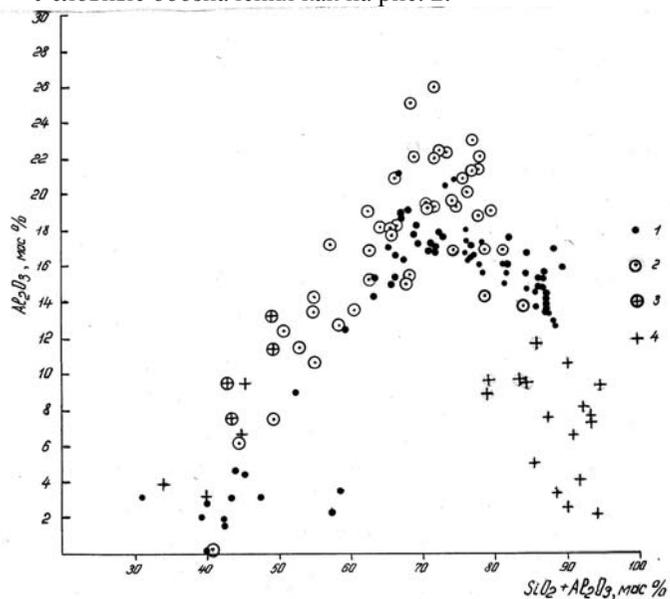


Рис. 4. Соотношение содержаний Al_2O_3 и $SiO_2 + Al_2O_3$ в мас. %.

Продолжение подписи к рис. 4.

Условные обозначения: 1 – нормальные и субщелочные породы, 2 – «щелочные», 3 – мелилитсодержащие, 4 – кариты и мокрушиты.

Генеральная диаграмма

На диаграмму (рис. 5) вынесены фигуративные точки, отражающие типичные химические анализы представителей всех видов ортомагматических горных пород, приведенные в сводке «Магматические горные породы» (1983) под редакцией О.А.Богатикова [10]. Исключены данные из раздела по пироксенитам и горнблендитам, как некорректно отнесенные к ортомагматическим породам. Анализы новых видов ультракислых пород, не учтенных в сводке или появившихся после этой работы, даны по [9, 6, 7]. На диаграмме фигуративные точки расположены достаточно закономерно с четким разделением «щелочных», субщелочных и нормальных пород. Однако выделять на ней ультраосновые, основные, средние и кислые породы после введения глинозема уже нельзя. С целью упрощения предлагается выделять группы пород по границам содержания суммы кремнезема и глинозема в 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100%. Предлагается называть эти группы по ведущим элементам как **ультрамафические (ультрамафиты)** (Mg, Fe), содержащие 30 – 50 мас.% суммы кремнезема и глинозема, **мафические (мафиты)** (Mg, Fe) 50 – 60 %, **сиалические (сиалиты)** (Si, Al) с 60 – 70 мас. % суммы кремнезема и глинозема, **мезосиалические (мезосиалиты)** 70 – 80 %, **ультрасиалические (ультрасиалиты)** (Si, Al) 80 – 90 % и **кремнистые (силиты)** содержащие 90 – 100 мас. % суммы кремнезема и глинозема. Разделение на горизонтальные ряды по содержанию суммы оксидов щелочей (или суммы оксидов железа, магния и кальция) производится по содержаниям этих компонентов кратным 5, 10, 15 и 20%. Это, соответственно, **низкощелочные (нормальные)** породы с 0- 5 мас.% суммы щелочей, **мезощелочные** с 5 – 10 мас. % , **щелочные** с 10 – 15 % и **ультращелочные** породы с 15 – 20 мас.% суммы щелочей. Отсюда появляются общие для вулканитов и плутонитов **семейства** ортомагматитов по тем же границам с двойным наименованием, например, *низкощелочной ультрама-*

фит, ультращелочной мезосиалит и т.д. Для упрощения группы можно называть не предложенными выше терминами, а по названиям семейств нормальных пород, например группа андезита-диорита для мезосиалитов.

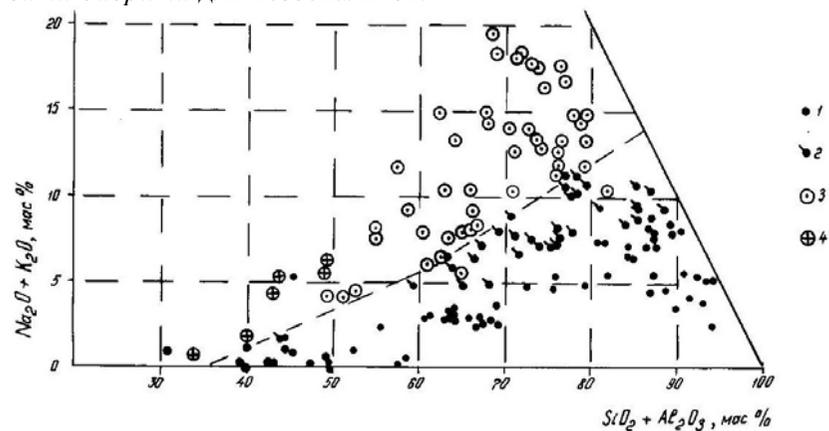


Рис. 5. Общая диаграмма соотношения содержаний $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ мас. %. Условные обозначения: 1 – нормальные по щелочности породы, 2 – субщелочные, 3 – «щелочные», 4 – мелилит-содержащие. Диагональная линия разделяет б. «щелочные» породы от субщелочных.

Выделение конкретных семейств магматических пород сделано отдельно для вулканитов и плутонитов (рис. 6). С увеличением содержания щелочей добавляется соответствующее прилагательное для базовой нормальной породы, а не дается новое название. Например, нормальной по щелочности породой является базальт и семейство базальта с содержанием 0-5 % суммы щелочей. Тогда при содержании суммы щелочей 5-10 мас. % будет семейство трахибазальтов, при содержании 10-15 мас. % семейство щелочных базальтов и при содержании суммы щелочей 15-20 мас. % семейство ультращелочных базальтов (тавитов). Для плутонических пород этой группы при содержании 0-5 мас. % суммы щелочей семейство габбро, 5-10 % - семейство мезощелочного габбро (тешенита), 10-15 % щелочей семейство щелочного габбро (ийолита), 15-20 % щелочей семейство ультращелочного габбро (уртита). Неизбежным следствием такого подхода будет то, что нефелин, лейцит и анальцитсодержащие породы будут выделяться в основном на

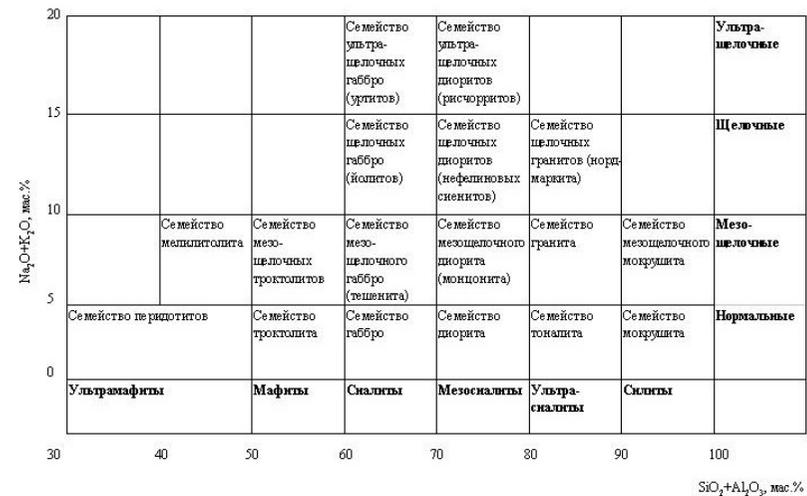
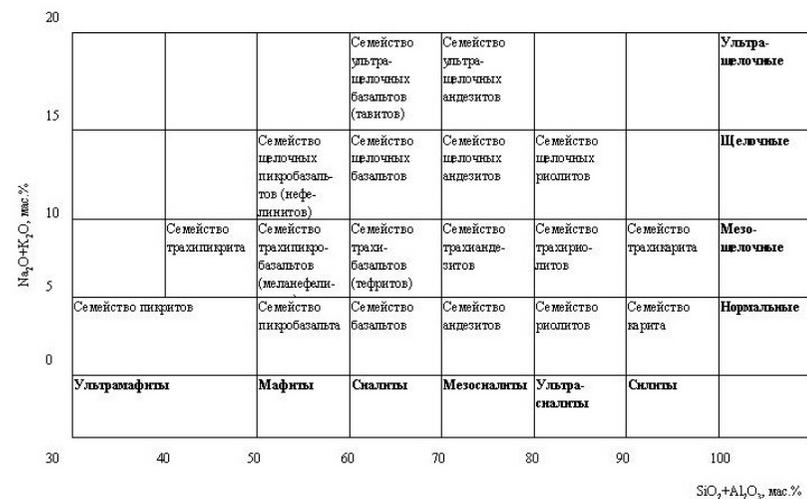


Рис. 6. Общая систематика семейств вулканических (а) и плутонических (б) ортомагматических горных пород.

уровне видов. Однако, эмпирическая граничная линия разделяющая безнефелиновые и нефелинсодержащие породы может быть вынесена на диаграммах.

Опыт выделения видов на диаграмме

В настоящее время многие виды образуют перекрывающиеся поля без четких границ. Очевидно, что в этой области необходимо упорядочивание границ и терминов. При этом многие виды перейдут в разряд петрографических разновидностей. В данной работе мы проведем выделение видов на примере группы андезитов-диоритов.

Группа андезита-диорита практически совпадает с группой средних пород. Для большей очевидности на нашу диаграмму были вынесены фигуративные точки всех химических анализов средних пород на TAS диаграмме в работе [10] (рис. 7-8). При этом часть анализов расположилась за пределами группы андезитов диоритов, но зато в ней оказалась часть пород, относившихся ранее к группе базальтов (гиперстеновые базальты). С целью формализации границы между видами приняты по 70, 75 и 80 мас. % кремнезема и глинозема и по 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 и 20 мас. % суммы щелочей. В результате среди семейств *вулканитов* выделены следующие виды (рис. 9-10):

В семействе андезитов:

Андезибазальты с содержанием	SiAl	70 - 75 %	NaK	2,5 - 5 %
Бониниты	“	“ 70 - 72,5%	“	2,5 - 5 %
Андезит	“	“ 75 - 80 %	“	2,5 - 5 %.

В семействе трахиандезибазальта:

Трахиандезибазальт с содержанием	SiAl	70- 75 %	NaK	5- 7,5 %
Латит	“	“ “	“	7,5 - 10%
Трахиандезит	“	“ 75 - 80 %	“	5 - 7,5%
Трахит	“	“ 75 - 80 %	“	7,5- 10 %

В семействе щелочных андезитов:

Фонолит	“	SiAl 70 -75 %	NaK	10 -15 %
Щелочной трахит	“	“ 75 - 85 %	“	10 -12,5 %
Нефелиновый трахит	“	“ 75 - 85 %	“	12,5- 15 %

В семействе ультращелочных андезитов:

Ультращелочной фонолит	“	SiAl 70 -75 %	NaK	15 - 20 %
Лейкофонолит	“	“ 75 - 80 %	“	

Лейцитовый фонолит “ “ 75 - 80 %, K* 15 - 20 %

Для *плутонитов*

В семействе диоритов выделяются виды:

Диорит с содержанием	SiAl*	70 - 75 %	NaK*	2,5- 5 %
Кварцевый диорит	“	“ 75 - 80 %	“	2,5 - 5 %

В семействе мезощелочного диорита:

Субщелочной диорит	“	SiAl 70 - 75 %	NaK	5 - 7, 5 %
Монзонит	“	“ 70 - 75 %	“	7,5 - 10 %
Субщелочной кварцевый диорит	“	“ 75 - 80 %	“	5 - 7,5 %
Кварцевый монзонит	“	“ 75 - 80 %	“	7,5 - 10 %

В семействе щелочного диорита:

Тенсбергит	“	SiAl 70 - 75 %	NaK	10 - 12,5 %
Луяврит	“	“ 70 - 75 %	“	12,5 - 15 %
Сиенит	“	“ 75 - 80 %	“	10 - 12,5 %
Сиенит лейцитовый	“	“ 75 - 80 %	“	12,5 - 15%

В семействе ультращелочного сиенита:

Науяит	“	SiAl 70 - 75 %	NaK	15 - 17,5 %
Рисчоррит	“	“ 70 - 75 %	“	17,5 - 20 %
Рисчоррит калиевый	“	“ 70 - 75 %	K	17,5 - 20 %
Псевдолейцитовый рисчоррит	“	“ 75 - 80 %	K	15 - 20 %
Ультращелочной сиенит(?)	“	“ 75 - 80 %	NaK	15 - 20 %

Исключение из систематики. Анортозиты слагают поле в интервале 79-82 % SiAl и 3-6 % NaK.

По такой же методике возможно уточнение границ видов горных пород в остальных группах.

Требования к химическим анализам и их обработке

Новый подход диктует более строгие требования, предъявляемые к химическим анализам. Первое - это выполнение стандартного спектра анализируемых компонентов силикатного анализа. Обычно это SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Cr₂O₃, Fe₂O₃, FeO, NiO, MgO, MnO, CaO, Na₂O, K₂O, H₂O⁺, H₂O⁻, P₂O₅, V₂O₅, CO₂, но они могут быть уточнены. Второе - пересчет анализов со снятием наложенных слабых метаморфических явлений, таких как серпентинизация в ультрамафитах или пумпеллитиза-

* Под SiAl понимаются SiO₂+ Al₂O₃, мас. %, под NaK – Na₂O+K₂O, мас. %, под K – K₂O, мас. %.

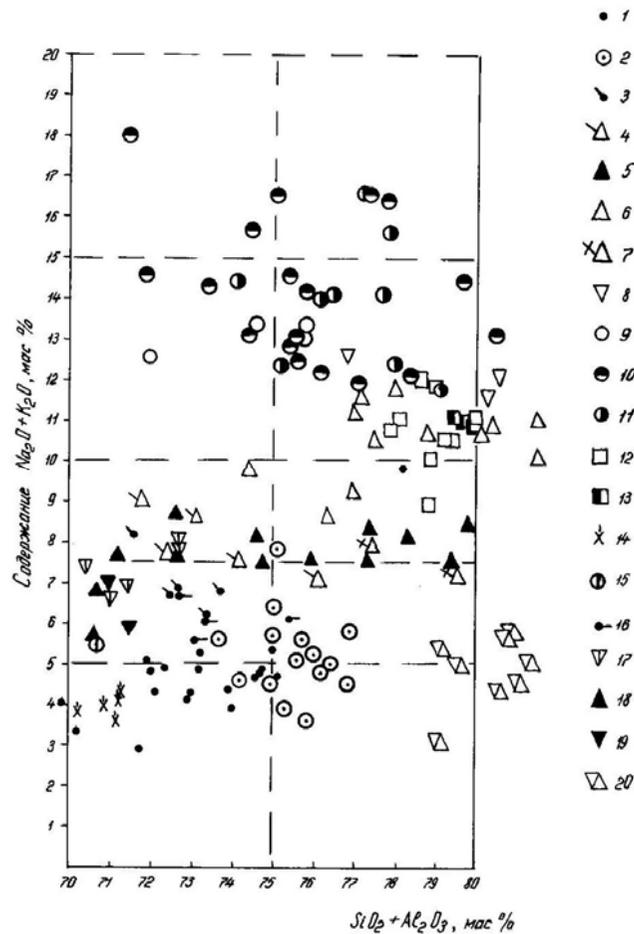


Рис. 7. Положение видов вулканических средних пород на диаграмме $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$, мас.%. Все анализы и терминология взяты по [10]. Условные обозначения: 1 – андезибазальты, табл. 110, 2 – андезиты, табл. 111, 3 – трахиандезибазальты, табл. 117, 4 – латиты, табл. 118, 5 – трахиандезиты, табл. 119, 6 – трахиты, табл. 120, 7 – кварцевые латиты, с.432, 8 – щелочные трахиты, табл. 135, 9 – фонолиты, табл. 136, 10 – фонолит, табл. 137, 11 – лейцитовый фонолит, табл. 139, 12 – щелочной трахиандезит, табл. 195, 13 – пантеллерит, табл. 198, 14 – гиперстенный базальт, табл. 60, 15 – субщелочной оливиновый дейкобазальт, табл. 82, 16 – субщелочной лейкобазальт, табл. 84, 17 – муджирит, табл. 88, 18 – трахибазальт, табл. 91, 19 – шошонит, табл. 94, 20 – анортозиты, табл. 77.

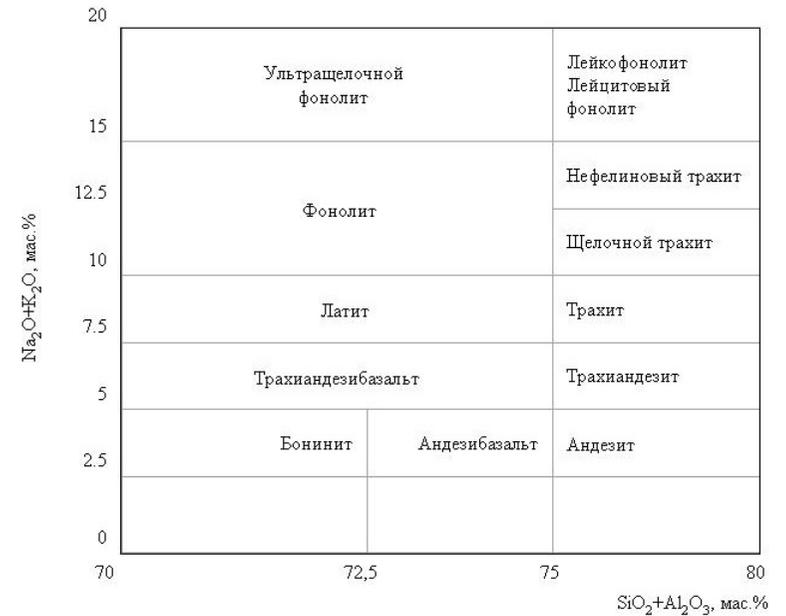


Рис. 8. Предлагаемая систематика видов группы андезитов (мезосиалитов) на виды.

ция в габброидах. В обоих случаях вода, а иногда CO_2 , являются привнесенными компонентами, которые следует исключить по общепринятым методикам. При серпентинизации появляется окисное железо, которое также следует перевести в закисное. И т.д. После этого необходим пересчет анализа на 100% для вынесения данных на диаграмму.

Что же нового дает новая диаграмма

Новая диаграмма и новая номенклатура ортомагматов позволяют, по нашему мнению:

1. Существенно упростить и сделать более единообразной систематику ортомагматов.
2. Дают возможность достаточно точно и просто определить семейства и виды магматических пород по химическому анализу
3. Упрощает классификацию и терминологию магматических пород.

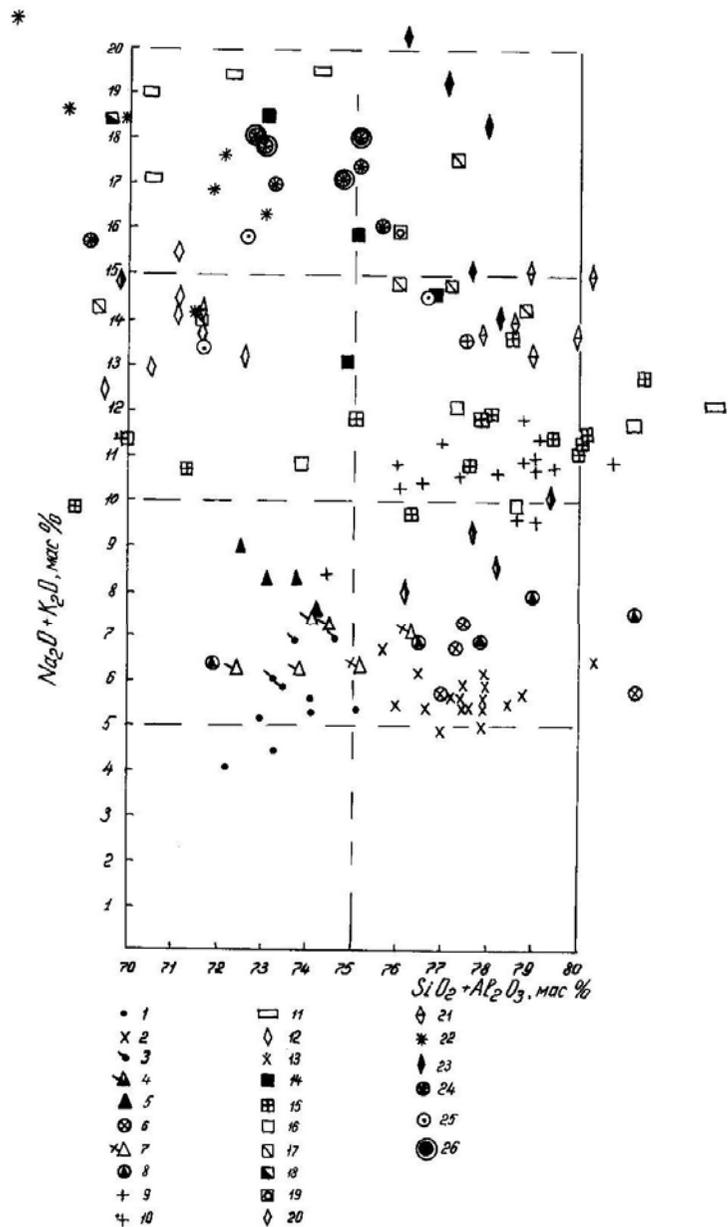


Рис. 9. Положение видов plutонических средних пород на диаграмме $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$, мас.%. Все анализы и названия видов пород по [10].

Продолжение подписи к рис.9.

Условные обозначения: 1 - диориты, табл. 114, 2 - кварцевые диориты, табл. 116, 3 - субщелочные диориты, табл. 122, 4 - монцодиориты, табл. 124, 5 - монцониты, табл. 126, 6 - субщелочные кварцевые диориты, табл.128, 7 - кварцевые монцодиориты, с. 453 , 8 - кварцевые монцониты, табл. 131, 9 - сиениты, табл.133, 10 - щелочнополевошпатовые сиениты, табл. 134 , 11 - уртиты, табл. 28, 12 - щелочной микроклин-альбитовые граниты, табл. 206, 13 - (гиперстеновые базальты, табл. 60), 14 - полевошпатовые уртиты, табл. 100, 15 - щелочные сиениты, табл. 141, 16 - тенсбергиты, табл. 142, 17 - фельдшпатоидные сиениты среднего состава, табл. 144, 18 - фельдшпатоидные сиениты основного состава, табл. 144, 19 – фойяиты, табл. 145, 20 – луавриты, табл. 146, 21 – миаскиты, табл. 147, 22 – науяиты, табл. 149, 23 – псевдолейцитовые сиениты, табл. 148, 24 – риччорриты, табл. 150, 25 - сэрнеиты, табл.149, 26 – риччорриты обогащенные калием, табл. 150.



Рис. 10. Предлагаемая систематика группы диоритов (мезосиалитов) на виды.

4. Исключают нелепые термины «ультраосновная щелочная порода» или «кислая щелочная порода». Исключено понятие «щелочная порода» в обычном минералогическом понимании, так как она не совпадает с реальной щелочностью породы, хотя бы в понимании Ф.Ю.Левинсон-Лессинга [8]. Тем не менее, на диаграмме выделена эмпирическая линия, отделяющая нефелин- и лейцитсодержащие магматические породы от безнефелиновых.

В идеале, конечно, лучше пользоваться пересчетами на катионы и в группу анионов включать все, в том числе, TiO_2 , ZrO_2 , V_2O_5 , P_2O_5 . Однако это усложнит задачу и не даст возможности использовать многие старые анализы горных пород.

Разумеется, практическое использование предложений возможно только после обсуждения их специалистами-петрографами, уточнения и принятия их Петрографическим Комитетом, который, однако, пока не подает признаков жизни.

Литература

1. Ванюков А.В., В.Я.Зайцев. Теория пирометаллургических процессов. М.: Металлургия. 1973. 504с.
2. Есин О.А., П.В.Гельд. Физическая химия пирометаллургических процессов. М. Металлургиздат. 1962-1966.
3. Ефремова С.В. История создания классификации и номенклатуры магматических горных пород// Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография. М.: Недра. 1983. С.5 – 20.
4. Иванов О.К. Скорость кристаллизации – как фактор минералообразования// Теория минералогии. Т.2. Сыктывкар. УрО РАН. 1991. С. 5 – 6.
5. Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала// Екатеринбург. Уральский ун-т. 1997. 487с.
6. Иванов О.К. Мокрушит – новая ультракислая кварцевая порода с кумулятивной структурой// Уральский геологический журнал. 1999. №3(9). С.55 –70.
7. Иванов О.К. К систематике ультракислых магматических горных пород// Уральский геологический журнал 2000. №6 (18). С.39-41.
8. Левинсон-Лессинг Ф.Ю. К вопросу о химической классификации изверженных горных пород// Тр. СПб общ. естествоиспытателей. Т.27. Вып.1.
9. Конев А.А., Г.Д.Феокистов. Ультракислые щелочные гранитоиды: некоторые вопросы генезиса// Петрология. 1998. Т.6.№1. С.70 – 78.
10. Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография. Ч.1, 2. М.: Наука.1983. 767с.
11. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические породы. СПб. ВСЕГЕИ. 1995. 127с. Под ред.Н.П.Михайлова.

12. Поляков В.Л. О суперпозиции и принципе простоты в петрографии// Петрография на рубеже XXI века: Итоги и перспективы. Т.1. Материалы 2го Всероссийского петрографического совещания. Сыктывкар. 2000. С. 167 – 170.

13. Соболев Н.Д. К петрохимии ультраосновных горных пород// Геохимия. 1959. № 8.