

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД И ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ПЕРЕСЧЕТЫ

Химизм магматических пород

- Химизм горных пород изучает петрохимия.
- Химический состав дает наиболее полное представление о присутствии или отсутствии химических элементов в горной породе.
- Некоторые редкие элементы входят в состав обычных минералов в качестве изоморфной примеси, и присутствие их не может быть установлено без химического анализа.
- Для неполнокристаллических магматических пород, содержащих вулканическое стекло, химический состав является единственной характеристикой вещественного состава.
- Представление о химическом составе дают результаты полного количественного химического анализа.

ПЕТРОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- 1. Все магматические породы состоят, в сущности, только из девяти элементов: кислорода (O), кремния (Si), алюминия (Al), железа (Fe), магния (Mg), кальция (Ca), натрия (Na), калия (K) и водорода (H).
- 2. Их называют петрогенными или породообразующими элементами, в отличие от металлогенных элементов (медь, свинец и т.д.), входящих в состав руд.
- 3. Петрогенные элементы составляют до 99% земной коры.

Состав магматических пород в виде петрогенных оксидов

- 1. Обычно результат химического количественного анализа представляется в виде процентного содержания оксидов, сумма которых составляет 100%.
- 2. SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , H_2O в сумме в среднем составляют обычно 98%.
- 3. TiO_2 , MnO , P_2O_5 и CO_2 — около 1-1,5%.
- 4. Остальные оксиды - всегда менее 0,5%.
- 5. Магматическая горная порода не может иметь произвольный химический состав:
 - а) она всегда состоит из нескольких петрогенных элементов;
 - б) содержание любого из этих элементов колеблется в определенных пределах.

Содержание петрогенных оксидов в магматических породах

Оксиды	Содержание петрогенных оксидов		
	Среднее	Минимальное	Максимальное
SiO ₂	59,12	24	80
Al ₂ O ₃	15,34	0	20
Fe ₂ O ₃	3,08	0	15
FeO	3,80	0	15
MgO	3,49	0	30
CaO	5,08	0	17
Na ₂ O	3,84	0	14
K ₂ O	3,13	0	13

- 1. Не может быть магматической породы, содержащей SiO_2 меньше 24% и больше 80%.
- 2. Минимальное содержание SiO_2 характерно для мономинеральных оливиновых пород, которые одновременно содержат максимальное количество MgO (39%).
- 3. С уменьшением количества кремния, алюминия, натрия и калия, увеличивается содержание железа и магния.

- 1. Содержание SiO_2 в магматических породах уже более 150 лет тому назад положено в основу классификации этих пород.
- 2. Отсюда произошло название «кислые» породы, содержащие много SiO_2 .
- 3. «Основные» породы, содержащие много оснований (CaO , FeO , MgO и т.д.).
- 4. «Средние» - занимающие промежуточное положение между «кислыми» и «основными».

Классификация магматических пород по химическому составу

Группы магматических пород

- 1. По содержанию кремнезема выделяются группы:
 - а) кислые (более 65% SiO_2);
 - б) средние (53-65% SiO_2);
 - в) основные (44-52% SiO_2);
 - г) ультраосновные (менее 44% SiO_2).
- 2. Дополнительно различают «пересыщенные», «насыщенные» и «ненасыщенные» кремнеземом породы.
- 3. В пересыщенных присутствует избыток SiO_2 в виде кварца.
- 4. В насыщенных не может быть малокремнистых минералов (оливин, нефелин и лейцит), но может присутствовать кварц.
- 5. В ненасыщенных породах не бывает кварца, но есть малокремнистые минералы (оливин, нефелин и лейцит).

Цветной индекс магматической породы (М)

- Дополнительно в пределах групп по величине цветного индекса «М» (количество цветных минералов в горной породе в объемных процентах) выделяются породы:
 - 1) ультрамафические - $M > 70\%$;
 - 2) мафические - $70\% > M > 30\%$;
 - 3) мафи-салические - $30\% > M > 20\%$;
 - 4) салические - $M < 20\%$.

Ряды магматических пород

- Группы магматических пород по степени щелочности (сумма щелочей - $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) разделяются на три петрохимических ряда:
 - 1) нормальный;
 - 2) субщелочной;
 - 3) щелочной.

Группы и ряды магматических пород

Группы пород	Ряды по $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$		
	Нормальный ряд (%)	Субщелочной - плюмазитовый ряд (%)	Щелочной ряд (%)
Ультраосновные	0-1,5	-	1,5-20,2
Основные	0,5-4,5	3,0-8,0	5,0-20,0
Средние	3,0-7,5	5,0-12,0	7,0-22,0
Кислые	4,5-8,0	7,5-10,0	8,0-13,0

Химизм магматических пород по отношению $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$

- 1. Если это отношение меньше единицы, значит, часть Al_2O_3 вместе с частью CaO входит в состав плагиоклазов.
- Такие породы называются известково-щелочными (нормальными).
- 2. Если это отношение больше единицы, значит, избыток щелочей входит в состав цветных минералов.
- Такие породы называют щелочными.

Определение границ между петрохимическими рядами по минеральному составу

- Для определения границ между петрохимическими рядами по щелочности используется содержание породообразующих минералов-индикаторов (фельдшпатоидов, калиевых полевых шпатов, щелочных пироксенов и амфиболов).
- Породам нормального ряда свойственно отсутствие фельдшпатоидов (нефелина, кальсилита, лейцита, анальцима, содалита и т.д.) и щелочных темноцветных минералов.
- Калиевые полевые шпаты в породах нормального ряда характерны только для кислых разновидностей.
- Средние и основные породы, в которых появляются аномально кислые плагиоклазы и (или) калиевые полевые шпаты, а также недосыщенные SiO_2 темноцветные минералы (титансодержащие пироксены, субщелочные амфиболы) должны относиться к субщелочному ряду.
- К щелочному ряду относятся магматические породы, содержащие фельдшпатоиды и (или) щелочные темноцветные минералы – щелочные пироксены и амфиболы.
- В ультраосновных породах вместо фельдшпатоидов могут появляться минералы группы мелинита – «недосыщенные SiO_2 пироксены».

Серии магматических пород

- В пределах петрохимических рядов важное петрологическое значение имеет разделение магматических пород по типу щелочности с использованием отношения $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ на следующие серии:
 - натриевую,
 - калиево-натриевую,
 - калиевую.

Серии пород

Группы магматич. пород	Серии по $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$		
	Натриевая	Калиево-натриевая	Калиевая
Ультраосновные	-	1-4	<1
Основные	>4	1-4	<1
Средние	>3	0,6-3,0	<0,6
Кислые	>1	0,3-1,0	<0,3

Семейства и виды магматических пород

- 1. Распределение магматических пород по группам (по кремнекислотности) и по петрохимическим рядам (по степени щелочности) позволяет выделять семейства горных пород.
- 2. Для этого используется бинарная TAS (total – alkali – silica) - диаграмма ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$).
- 3. Дальнейшее деление семейств на виды и разновидности горных пород производится на основе количественно-минерального состава, петрохимических, структурных особенностей.
- 4. Виды плутонических пород зависят от реального минерального состава, выраженного в объемных процентах.

- 1. Резко преобладают в природе породы нормального ряда.
- 2. Реже встречаются породы плюмазитового и агпайтового рядов.
- 3. Для пород нормального и плюмазитового рядов характерны некоторые общие особенности в соотношении главных породообразующих оксидов.
- 4. При увеличении SiO_2 уменьшается содержание оксидов двух валентных оснований (FeO , MgO , CaO)
- 5. При увеличении SiO_2 повышается содержание щелочей.

1. SiO₂ –

- а) самостоятельные минералы (кварц, тридимит, кристабалит);
- б) составная часть светлоокрашенных и темноцветных минералов.

2. Al₂O₃ –

- а) редко – самостоятельный минерал корунд;
- б) в составе алюмосиликатов (полевых шпатов, фельдшпатоидов);
- в) небольшое количество в составе амфиболов, пироксенов, слюд.

3. FeO и Fe₂O₃ –

- а) небольшое количество магнетита;
- б) главная часть темноцветов.

4. MgO - в составе темноцветов.

5. CaO –

- а) в составе анортитовой молекулы плагиоклазов;
- б) в составе пироксенов и амфиболов.

6. Na₂O –

- а) в состав альбитовой молекулы плагиоклазов и анортоклаза;
- б) в составе фельдшпатоидов;
- в) небольшое количество входит в состав амфиболов и эгирина.

7. K₂O –

- а) в составе калиевых полевых шпатов;
- б) в составе фельдшпатоидов;
- в) в составе слюд.

Наиболее важные классификации учитывают минеральный состав магматических пород

- 1. Магматические породы разделены на 8 групп.
- 2. Каждая группа объединяет интрузивные, гипабиссальные и эффузивные породы, имеющие сходный минеральный состав.
- 3. Названия групп двойные (название главных интрузивных и эффузивных разновидностей, например, группа габбро-базальтов).
- 4. Границы групп определяются присутствием или отсутствием одного из главных минералов.
- 5. Важным признаком является состав плагиоклаза.
- 6. Феррические и калиевые минералы имеют определенные соотношения (эвтектика).
- 7. В составе пород одной группы количественные соотношения минералов колеблются в определенных пределах.
- 8. Из-за сложности обстановки кристаллизации магмы возможны отклонения от норм, и возникают разности с переходным составом.

Восемь групп магматических пород (по А.Н. Заварицкому):

- 1. Группа перидотитов (гипербазиты, ультрамафиты).
Эффузивных пород очень мало.
По содержанию SiO_2 породы являются ультраосновными.
- 2. Группа габбро-базальтов (мафиты, базиты).
По содержанию SiO_2 породы являются основными.
- 3. Группа диоритов-андезитов (средне-кремнекислые).
По содержанию SiO_2 породы являются средними.
- 4. Группа гранитов-риолитов и гранодиоритов-дацитов (кремнекислые).
По содержанию SiO_2 породы являются кислыми.
- 5. Группа сиенитов-трахитов.
По содержанию SiO_2 породы являются средними (средне-кремнекислыми).
- 6. Группа нефелиновых сиенитов-фонолитов.
Некоторые породы группы по содержанию SiO_2 являются средними, некоторые – основными.
- 7. Группа щелочных габброидов.
Некоторые породы группы по содержанию SiO_2 являются основными, некоторые – ультраосновными.
- 8. Группа несиликатных магматических пород.
Главные минералы не относятся к классу силикатов и алюмосиликатов.

Особенности номенклатуры

- 1. Вулканические породы не делятся на кайнотипные и палеотипные, такие разновидности устраняются.
- 2. Термины «порфир» и «порфирит» сохраняются только в названиях гипабиссальных пород, имеющих порфировую или порфировидную структуру.
- 3. Для обозначения вулканогенных пород с преобладанием стекла в основной массе к названию породы добавляется приставка «гиало»- (например, гиалобазальт).
- 4. Если минералы и стекло в вулканогенных породах интенсивно изменены, в их названиях используется приставка «мета»- (например, метабазальт).

Особенности номенклатуры интрузивных пород

- 1. Для каждой группы характерен определенный номер плагиоклаза и феррические минералы, связанные с плагиоклазом в соответствии с реакционными рядами Боуэна.
- 2. Соотношение калиевых и феррических минералов закономерно изменяется при переходе от одной группы к другой.
- 3. Если в породе содержание калиевых минералов превышает норму, характерную для группы, порода будет называться лейкократовой,
- а если норму превышает количество феррических минералов — меланократовой.
- 4. Изменение состава одного минерала связано с изменением состава других минералов, ассоциирующих с ним *(в породах группы габбро-базальтов, содержащих ромбический пироксен, номер плагиоклаза будет больше, чем у породы, содержащей моноклинный пироксен).*

Переходные разности

- 1. Между группами существуют постепенные переходы (*габбро-диорит, грано-сиенит, диорито-сиенит*). Промежуточные породы могут возникать между группами, расположенными на диаграмме рядом.
- 2. Между удаленными друг от друга группами промежуточных пород не бывает.
- 3. Исключение составляет группа сиенитов-трахитов, имеющая переходы к группе гранитов-риолитов, нефелиновых сиенитов-фонолитов и габбро-базальтов.

Порфир и порфирит

- 1. Термином «порфир» обозначают породы с порфировой (порфиритовой) структурой, в составе которых в качестве главного минерала присутствует калиевый полевой шпат (*гранит-порфир, сиенит-порфир*).
- 2. Термином «порфирит» обозначают породы с порфировой (порфиритовой) структурой, в составе которых нет калиевого полевого шпата (*базальтовый порфирит, диорит-порфирит, андезитовый порфирит*).

Особенности гипабиссальных (жильных) пород и их номенклатура:

- 1. Гипабиссальные (жильные) породы залегают в виде мелких интрузивных тел, располагающихся, как правило, вблизи крупных интрузивных массивов.
- 2. Долериты и диабазы встречаются, как правило, самостоятельно и не связаны с интрузиями.
- 3. Гипабиссальные (жильные) породы более кристаллизованы, чем эффузивные представители, но менее, чем интрузивные.
- 4. Они имеют обычно микрозернистую, мелкозернистую и порфировидную структуру.
- 4. В зависимости от минерального состава гипабиссальные породы подразделяются на:
 - а) асхистовые (нерасщепленные);
 - б) диасхистовые (расщепленные).
-

Асхистовые породы

- 1. По минеральному составу полностью соответствуют интрузивным аналогам, отличаются только структурой.
- 2. Имеют те же названия, что и интрузивные аналоги, но с прибавлением «микро» для микрозернистых разновидностей и слов «порфир» и «порфирит» для разновидностей с порфировидными структурами (*микрогранит, микрогаббро, микрогранит-порфир, микрогаббродор-порфирит*).

Диахистовые породы

- 1. По минеральному составу не имеют аналогов среди интрузивных представителей своей группы.
- 2. Они содержат повышенное количество калийных или феррических минералов (расщепление интрузивной породы на темные и светлые составные части).

Лейкократовые диасхистовые породы

- 1. Лейкократовые диасхистовые породы представлены аплитами и пегматитами.
- 2. **Аплиты** состоят из одних калиевых минералов и имеют мелкозернистую структуру (*диорит-аплит, сиенит-аплит*).
- 3. Гранит-аплит, как самый распространенный из аплитов называется аплит.
- 4. **Пегматиты** состоят, главным образом, из калиевых минералов, имеют крупно- и гиганто-зернистую структуру (*сиенит-пегматит, габбро-пегматит*).
- 5. Гранит-пегматит называется просто пегматит.
- 6. Для пегматитов характерно присутствие викарирующих минералов, содержащих летучие компоненты.

Меланократовые диасхистовые породы

- 1. Меланократовые диасхистовые породы - (лампрофиры) встречаются в группе сиенитов-трахитов, диоритов-андезитов, габбро-базальтов и щелочных габброидов.
- 2. Они характеризуются низким содержанием SiO_2 при сравнительно высоком содержании щелочных металлов, магния и железа.
- 3. Самым распространенным цветным минералом является слюда, затем в порядке убывания стоят роговая обманка, пироксен.
- 4. Оливин встречается в виде примеси.
- 5. Может присутствовать кварц.
- 6. Для лампрофиров характерен идиоморфизм цветных минералов.
- 7. При наличии порфировидной структуры в виде фенокристаллов присутствуют только цветные минералы (лампрофировая структура).

Классификация лампрофиров

Название	Преобладающие минералы		Группа пород, с которыми связан лампрофир
	Салические	Фемические	
Минетта	Калиевый полевой шпат	Биотит	Сиенитов-трахитов
Вогезит	Калиевый полевой шпат	Роговая обманка, иногда авгит	Сиенитов-трахитов
Керсантит	Плагиоклаз	Биотит	Диоритов-андезитов
Спессартит	Плагиоклаз	Роговая обманка, иногда диопсид	Диоритов-андезитов
Исит	Плагиоклаз	Роговая обманка	Габбро-базальтов
Гареваит	Плагиоклаз	Диопсид и оливин	Габбро-базальтов
Камптонит	Плагиоклаз	Щелочные амфиболы и пироксены	Щелочных габброидов
Мончикит	Анальцим	Щелочные амфиболы и пироксены	Щелочных габброидов
Альнеит	Мелилит	Биотит, оливин, авгит	Щелочных габброидов

Минеральный состав магматических пород

- 1. Минеральный состав породы зависит от валового химического состава и от условий образования.
- 2. Магматические породы, имеющие одинаковый химический состав, могут состоять из различных минералов, если они образовались в различных условиях.
- 3. Например, эффузивные породы, состоящие из энстатита и плагиоклаза, имеют такой же химический состав, как и интрузивные породы, состоящие из роговой обманки.
- 4. Это объясняется возможной реакцией:
роговая обманка → энстатит + плагиоклаз.
- 5. Лейцитовый базальт соответствует по химическому составу слюдяному сиениту.

Представительство минералов в магматических породах

- 1. Минеральный состав магматической породы определить проще, чем ее химический состав.
- 2. В зернистых разностях минералы различимы без микроскопа.
- 3. Для характеристики минерального состава, важно не только из каких минералов состоит порода, но и каково содержание этих минералов.
- 4. В состав магматических пород входит несколько десятков минеральных видов.
- 5. Средний состав магматических пород следующий:
 - полевые шпаты – 65% (из них 50% - калиево-натриевые полевые шпаты и 15% - плагиоклазы);
 - кварц – 10-14%;
 - пироксены – 10-12%;
 - слюды – 4-5%;
 - амфиболы – 2-3%;
 - нефелин – менее 1%;
 - магнетит, апатит и другие минералы – 5-6%.

Разделение минералов по их значению в магматической породе

- 1. Главные минералы.
- 2. Второстепенные минералы.
- 3. Акцессорные минералы.
- 4. Викарирующие минералы.
- 5. Случайные минералы.

Главные минералы

- 1. Содержатся в магматической породе в количестве более 5%, присутствуют в ней постоянно и определяют ее название.
- 2. Так кварц – это главный минерал для гранита, поскольку отвечает всем трем перечисленным признакам.
- 3. Также кварц – это главный минерал для кварцевого диорита. Если кварц исчезнет из породы, то она станет называться диоритом.

Второстепенные минералы

- 1. Содержатся в породе в количестве менее 5%, присутствуют в породе непостоянно и не определяют ее название.
- 2. Так в диорите тоже может находиться кварц в количестве до 5%, а может и не находиться.
- 3. От этого диорит не перестает быть диоритом, но если кварца больше 5%, то это уже кварцевый диорит.

По составу главные и второстепенные минералы делятся на две группы

- **1. Цветные или феррические**
(оливин, пироксены, амфиболы, слюды),
они содержат значительное количество железа
и магния;
- **2. Бесцветные или силикатные**
(кварц, полевые шпаты, фельдшпатоиды),
они содержат много кремния и алюминия,
а металлы представлены преимущественно
кальцием, натрием и калием.

Акцессорные, викарирующие, случайные минералы

- **1. Акцессорные минералы** присутствуют в породе постоянно в виде отдельных минеральных зерен или обособленных агрегатов в количестве до 1% каждый.
- **2. Викарирующие минералы** в определенном типе магматической породы вытесняют или заменяют главные минералы, хотя обычно являются второстепенной, несущественной примесью (например, мусковит, турмалин в гранитах).
- **3. Случайные минералы** попадают в породу случайно в виде посторонней примеси. Они не магматического происхождения и содержатся в незначительном количестве.

Разделение минералов по происхождению

- 1. Первичные (магматические) минералы.
- 2. Реакционные (эпимагматические) минералы.
- 3. Вторичные минералы.
- 4. Ксеногенные минералы.

Первичные (магматические) и реакционные (эпимагматические) минералы

- **1. Первичные (магматические) минералы** образуются во время кристаллизации, до полного затвердевания горной породы.
- **2. Реакционные (эпимагматические) минералы** образуются при реакции первичных минералов или с магматическим расплавом, или с пневматолитами и гидротермальными растворами, содержащимися в той же магме (ромбический пироксен, образует иногда реакционную кайму вокруг оливина; ортоклаз – продукт реакционного взаимодействия лейцита с расплавом).
- 3. Образование пневматолитовых и гидротермальных минералов происходит при участии летучих компонентов (H_2O , F, B, Cl, CO_2 , SO_2 , OH и др.) после того, как порода нацело закристаллизовалась например:
 - а) мусковит, топаз, турмалин, флюорит и другие минералы, замещают полевые шпаты при процессах грейзенизации;
 - б) канкринит и содалит образуются при воздействии на нефелин CO_2 и SO_3 ;
 - в) серпентин, замещает оливин и энстатит в перидотитах и оливинитах.

Вторичные минералы

- Это продукты выветривания магматических пород, воздействия метаморфизма и т.д.
- Они могут являться продуктами изменения первичных минералов и новообразованиями (например минералы, заполняющие миндалины в эффузивных породах).
- Степень интенсивности развития вторичных минералов различна: от замещения первичных составных частей породы по трещинкам и краям до образования по ним полных псевдоморфоз.

Ксеногенные минералы

- 1. Захвачены магмой из вмещающих пород.
- 2. Это обычно случайные минералы и не связаны с процессом кристаллизации магмы.
- 3. Они могут возникнуть в породе за счет частичной или полной ассимиляции обломков посторонних пород – ксенолитов.
- 4. Ксеногенные минералы весьма мало распространены в магматических породах и обычно не учитываются при их систематике.

Петрохимические пересчеты

- 1. Важнейшей характеристикой вещественного состава породы является ее общий химический состав в виде процентных содержаний (по массе) ее главных оксидов: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , H_2O^+ , H_2O^- (соответственно вода кристаллизационная, выделяющаяся при прокаливании выше 110°C , и вода гигроскопическая, выделяющаяся при нагревании до 110°C).
- 2. В отдельных случаях также определяются CO_2 , Cl , F , S , Cr_2O_3 , V_2O_3 , NiO , CoO , CuO , BaO , Li_2O , C , NH_3 с точностью до 0,01%.

Принципы петрохимических пересчетов

- 1. Способы петрохимических пересчетов стали разрабатываться еще в позапрошлом веке применительно к магматическим породам с целью создания их классификации и в основу каждого из них положен один из трех принципов группировки оксидов.
- 2. **Первый принцип** основан на объединении оксидов по валентности катионов.
Он положен в основу метода Ф.Ю. Левинсона-Лессинга.
- 3. **Второй принцип**- объединение оксидов по их роли в построении пороодообразующих минералов.
Он получил применение в методах А. Озанна, А.Н. Заварицкого.
- 4. **Третий принцип** – объединение оксидов в группы, соответствующие составам наиболее часто встречающихся стандартных минералов.
На нем основаны нормативно-молекулярный метод П. Ниггли, метод американских петрографов В. Кросса, Дж. Иддингса, Л. Пирсона и Г. Вашингтона, а также методы Е.А. Кузнецова и С.Д. Четверикова.

- 1. Для выполнения петрохимического пересчета по любому из существующих методов предварительно необходимо пересчитать процентные содержания по массе главных оксидов или отдельных элементов в молекулярные или атомные количества с помощью специальных таблиц (Заварицкий, 1960; Четвериков, 1956) или путем деления процентных содержаний на формульные массы (ф.м.) соответствующих оксидов и атомные массы элементов:
SiO₂ -60,06; TiO₂ – 79,90; Al₂O₃ – 101,94; Fe₂O₃ – 159,68;
FeO – 71,94; MnO – 70,93; MgO – 40,32; CaO – 56,08;
Na₂O – 61,994; K₂O – 94,20; P₂O₅ – 142,04; BaO – 153,4;
Li₂O – 30,88; S – 32,06; SO₃ – 80,06; SrO – 103,63; F – 19,0;
Cl – 35,36; Cr₂O₃ – 152,02; CO₂ – 44,0; C – 112,01; NiO – 74,71;
CoO – 74,93; CuO – 79,54; NH₃ – 17,01; ZrO₂ – 123,22.
- 2. Для удобства полученные цифры нужно умножить на 1000, а для определения атомных количеств отдельных химических элементов необходимо молекулярное количество соответствующего оксида поочередно умножать на количество атомов элементов в его химической формуле.

Нормативный метод Кросса, Иддингса, Пирсона и Вашингтона (CIPW)

- 1. В огромном большинстве случаев состав минералов образующих породу, в точности известен, а в зависимости от условий образования породы одинакового химического состава могут иметь разный минеральный состав и наоборот.
- 2. Поэтому при сравнении химических составов пород их состав можно выразить в виде смеси соединений определенного химического состава – «нормативных минералов» или «нормативных минеральных молекул», отличающихся по своему составу от «реальных», то есть реально существующих в природе минералов, а рассчитанный таким образом состав называется виртуальным.
- 3. Список стандартных минералов существует.
- 4. Используя химические формулы стандартных минералов, можно сосчитать количество нормативных ортоклаза, анортита, гиперстена и т.д.

Нормативно-молекулярный метод

П. Ниггли

- 1. Метод предложен в 1937 г.
- 2. Он основан на использовании современных кристаллохимических формул минералов, что позволяет увязывать данные количественных оптических определений и подсчетов породообразующих минералов в шлифах с результатами химических анализов пород.
- 3. При пересчете используются атомные количества катионов отдельных элементов путем умножения молекулярных количеств на количество катионов в химической формуле.
- 4. Благодаря этому возможно получение нескольких вариантов минерального состава исследуемой породы и установление ее магматического, метаморфического или метасоматического происхождения.

Метод А.Н. Заварицкого

- По особенностям химического состава все магматические породы делятся на три типа:
- 1) породы нормальные (известково-щелочные), в которых молекулярные количества $\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$;
- 2) породы, пересыщенные глиноземом (плюмазитовые), в которых молекулярное количество $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$;
- 3) породы, пересыщенные щелочами (агпаитовые), в них молекулярные количества $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$.
- Наиболее распространенными среди них являются породы нормального состава – 74%, агпаитовые породы составляют 14%, плюмазитовые – около 12% всех магматических пород.

Метод А.Н. Заварицкого

- 1. Молекулярные количества P_2O_5 , H_2O , Cl , F , S , CO_2 в расчет не принимаются.
- 2. Молекулярные количества MnO , CoO , NiO присоединяются к FeO , Cr_2O_3 – к Fe_2O_3 , Li_2O – к K_2O , BaO – к CaO .
- 3. В основу пересчета положена связь химического состава изучаемой магматической породы с ее минеральным составом.
- 4. Наиболее существенными признаками, характеризующими химико-минеральный состав породы, являются:
 - а) соотношение между феррическими и феррическими минералами;
 - б) избыток или недостаток кремнезема, в зависимости от которого в породе появляются такие симптоматические минералы, как кварц, оливин или фельдшпатоиды (нефелин, лейцит);
 - в) отношение щелочных полевых шпатов к анортиту или, в случае щелочных пород, - к эгирину;
 - г) особенности алюмосиликатов (полевых шпатов, фельдшпатоидов) и простых силикатов (амфиболов, пироксенов, оливина).
- 5. В результате пересчета главнейшие особенности химико-минерального состава магматических пород выражаются в виде числовой характеристики, состоящей из четырех основных параметров, шести дополнительных и числа Q , указывающего на избыток или недостаток кремнезема.