

А. А. ДЖАФАРОВ

НОВЫЙ МЕТОД ПЕРЕСЧЕТА ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ ГОРНЫХ ПОРОД НА КОЛИЧЕСТВЕННО-МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

На современном уровне петрографических, минералогических и петрохимических исследований, крайне необходимым является знание истинного количественно-минералогического состава магматических и метаморфических горных пород. Существующие до сих пор методы пересчета химических анализов на количественно-минеральный состав на основании теоретических формул минералов допускают некоторые неизбежные ошибки, искажающие действительные количественные соотношения минералов в горных породах, поэтому автором в данной работе предлагается количественный подсчет минералов под микроскопом заменить химическим анализом данной породы, с последующим пересчетом результатов анализа на минеральный состав.

Предлагаемый метод пересчета химических составов горных пород на реальный минеральный состав позволяет:

1) установить количественные соотношения минералов как в полно-кристаллических, так и в эффузивных горных породах со стекловатой, микро и криптокристаллической основной массой.

2) определить количественные соотношения минералов, выражающиеся в весовых процентах 11 окислов горных пород, при помощи одного, двух или трех окислов, определенных химическим анализом;

3) избавиться от трудоемкой работы при проведении количественно-минерального подсчета под микроскопом;

4) снизить себестоимость силикатных анализов и подсчета минерального состава горных пород в шлифах.

Предварительные расчеты по силикатным химическим анализам, проведенные в Центральные лаборатории УГ СМ Арм. ССР в 1966 году показывают, что согласно представленному методу, ежегодная экономия составляет около 20,000 руб., что дает представление о практическом значении предложенного метода.

Некоторые замечания к существующим методам петрохимического пересчета

Как известно, методы петрохимических пересчетов подразделяются на 4 группы (Четвериков, 1956):

I. Пересчет на группы с одним типом формулы окисла (метод Ф. Ю. Левинсона-Лессинга).

II. Пересчет на характерные группы (метод «чисел» П. Ниггли и А. Н. Заварицкого).

III. Методы пересчета, основанные на вычислении количественных соотношений минералогических компонентов (метод CIPW, П. Ниггли, Е. А. Кузнецова и С. Д. Четверикова).

IV. Методы, основанные на сравнении объемных соотношений (кислородный метод Т. Барта).

С. Д. Четвериковым дается исчерпывающий анализ существующих петрохимических методов, вскрываются их положительные и отрицательные стороны и обосновывается эффективность каждого метода в процессе решения различных петрохимических вопросов.

Однако, при глубоком анализе существующих петрохимических методов можно убедиться в наличии еще не вскрытых недостатков, о чем нам хотелось бы отметить ниже:

1. Во многих методах петрохимического пересчета господствует идея «стандартизации»: т. е. в одних системах петрохимических пересчетов, химический анализ представляется как сумма в той или иной степени условных параметров (П. Ниггли, А. Н. Заварицкого), а в других—результаты химических анализов выражаются в виде несколько идеализированных составов определенных порообразующих минералов (П. Ниггли, CIPW и др.).

2. Методы построения петрохимических пересчетов являются по существу односторонними и механическими.

а) Односторонность методов обусловлена тем, что единственным источником для петрохимических пересчетов является химический анализ горных пород, т. е. сумма условных параметров или сумма сочетаний несколько идеализированных составов определенных порообразующих минералов. Разумеется, при решении петрохимических вопросов односторонне, без применения других способов, как например, оптического метода исследования, вероятность получения полноценных результатов имеет не только условный характер, но и ведет к ошибочным заключениям.

Как известно, химический состав горной породы отображает ее минеральный состав, однако эта закономерность не нашла отражения в принципиальных основах существующих методов петрохимического пересчета.

Нам кажется, будет ошибочным рассматривать роль химических и минералогических анализов отдельно, ибо химический состав целиком зависит от минерального состава горных пород.

Комплексное использование результатов химического и минерального состава горных пород является важным критерием, обеспечивающим достоверность результатов петрохимического пересчета.

б) Механический характер существующих методов петрохимичес-

кого пересчета заключается в том, что процесс пересчета не способствует установлению представительности используемых химических анализов.

Общеизвестно, что исследователя интересует, прежде всего, правильность результатов химических анализов. Практически трудно при всех обстоятельствах получить достоверные результаты химического состава горных пород, так как исключена возможность влияния многих факторов на определение весовых процентов того или иного окисла.

Нет сомнения, что некоторые методы химических анализов, определяющие весовые проценты того или другого окисла, еще недостаточно удовлетворяют требованиям петрохимии. Не во всех химико-аналитических лабораториях применяются прямые методы определения окислов и, особенно следовало бы подчеркнуть, определения окиси и закиси железа.

Нельзя согласиться с «допустимыми расхождениями», установленными для определения весовых процентов каждого окисла. Так например, для Na_2O и K_2O в зависимости от минерального состава горной породы, погрешность анализов принята в пределах 0,03—0,50%, а в среднем—0,10—0,30%. Это говорит о том, что количество полевых шпатов в породе должно колебаться от 5% (в кислых и щелочных породах) до 10—15% (в основных породах).

Все вышеприведенные факторы подтверждают, что лишь после тщательной проверки химических анализов их можно принять за основу при пересчетах, в противном случае можно допустить существенные ошибки.

3. Существующие методы петрохимических пересчетов, по характеру построений, являются весьма сложными, вследствие чего ограничивается их применение во многих петрохимических работах.

Известно, что в элементарном составе минералов, образовавшихся из магмы или в постмагматических условиях, наряду с главными минераллообразующими присутствуют также изоморфные элементы. Кроме того, количественное соотношение химических элементов, входящих в состав породообразующих минералов не постоянно и изменяется в зависимости от состава горной породы.

На составленных, по средним составам минералов, диаграммах (фиг. 1), для главных типов пород, легко заметить, что в фемических минералах (оливин пироксен и биотит), содержание окислов железа, магния и кремния незначительно, а в других случаях оно заметно изменяется при переходе от основных к кислым породам. В салических минералах—содержание окиси натрия в плагиоклазе и калия в ортоклазе увеличивается по мере перехода от основных (габбро) к кислым (гранит) и щелочным породам (нефелиновые снениты). Поэтому пересчеты химического анализа породы на количественно минеральный состав

с использованием теоретических формул минералов приводит к не избежным ошибкам.

Предлагаемый метод пересчета не только в известной мере устраняет недостатки существующих петрохимических пересчетов, но и представляет возможность получения близких к истинным данным о минеральном и химическом составах всех типов горных пород, кроме осадочных, которые могут быть использованы при физико-химическом анализе серии изверженных горных пород, при петрохимических исследованиях и классификации интрузивных, эффузивных и метаморфических горных пород; для установления истинного содержания минерала, как полезного ископаемого (апатит, сфен, рутил—в щелочных; магнетит, ильменит, хромит—в основных и ультраосновных горных породах) и т. д.

Основные принципы предлагаемого метода пересчета

Основным положением предлагаемого метода пересчета химического анализа породы на количественно-минеральный состав является переход от теоретических (стандартных) формул к реальным близким к истинным химическим составам породообразующих, вторичных и акцессорных минералов. Изоморфные примеси при пересчете не должны быть исключены из состава минералов, в противном случае из состава породообразующего минерала исключается больше, чем пять окислов, вследствие чего образуются излишки или недостачи того или иного окисла, что приводит к искажению количественных соотношений породообразующих минералов в горной породе.

При пересчете химического состава всех типов пород (интрузивных, эффузивных, метаморфических) нами рассчитаны средние составы для 270 породообразующих, акцессорных и постмагматических (вторичных) минералов, общим числом 1364. При этом использованы химические анализы (2622) породообразующих, акцессорных и вторичных минералов (П. Н. Чирвинский, 1953; В. Ф. Морковкина, 1964; У. А. Дир и др. 1965, 1966 и т. д.).

Таким образом, составлены таблицы в виде приложений* где можно подобрать близкие к истинным химические составы всех установленных под микроскопом минералов для данной горной породы, химический анализ которой пересчитывается на количественно-минеральный состав.

Содержание окислов в минерале приведено к 1,0%, т. е. сумма окислов, входящих в химический состав данного минерала составляет одну единицу.

Принцип построения метода пересчета обеспечивает контроль за

* В виду ограниченности объема статьи приложение средних составов минералов не приводится, однако при пересчетах предлагаемым методом можно пользоваться данными приводимыми в сводках П. Н. Чирвинского (1953), В. Ф. Морковкиной (1964), У. А. Дир и др. (1966).

результатами химического анализа с одной стороны и пересчета — с другой тем самым осуществляется двухсторонний контроль, т. е. оптический метод контролирует представительность результатов химического анализа, а последний проверяет и уточняет данные количественных соотношений минеральных компонентов горной породы.

Принцип определения количественных соотношений минералов основывается на математической достоверности получаемых результатов с помощью разработанных нами формул.

1. Формулы 1 и 2 дают возможность определить соотношения двух минералов (плагноклаз-ортоклаз или плагноклаз-биотит и т. д.).

$$M = - \frac{(A \cdot H_6) - (B \cdot H_a)}{(M_a \cdot H_6) - (M_6 \cdot H_a)} \quad (1)$$

М — первый минерал
 II — второй минерал
 А и В — окислы определенные химическим анализом

$$H = \frac{B - (M_6 \cdot M)}{M_6} \quad (2)$$

Ма, Мб — содержание окислов
 На, Нб — А и В в 1 % минералов
 М и Н.

2) При определении количественных соотношений минералов, нередко весовые количества второго окисла являются неизвестными. Так например, для определения количественных соотношений авгита и хлорита, на основании MgO необходимо определить весовое количество FeO, соответственно известному весовому количеству MgO. Для решения этой задачи следует применять следующую формулу (3)

$$H_{и} = \frac{O(CA_6 + CB_6)}{CA_a + CB_a} \quad (3)$$

Н_и — необходимое количество искомого окисла;

О — весовое количество окисла — известное (опред. хим. анализом)

А_а, А_б — Содержание окислов в минералах, что находится

В_а, В_б — из приложения;

С — соотношение минералов (А:В) (ориентировочно определяется под микроскопом).

3) В эффузивных породах состав плагноклаза во вкрапленниках и в основной массе, как обычно, отличаются между собой, до 10—12 и более номеров.

При таких обстоятельствах следует:

а) под микроскопом, хотя бы ориентировочно, установить количественное соотношение двух разных плагноклазов (1:1; 1:1,5 и т. д.).

При помощи формулы (4) определить общее количество плагноклаза:

$$Пл = \frac{Na \cdot \Sigma c}{\Sigma П_1 + \Sigma П_2} \quad (4)$$

Na — весовое количество окиси натрия;

П₁ — первая разновидность плагноклаза (напр. андезин)

P_2 —вторая разновидность плагиоклаза (напр. лабрадор)

Σ — $P_1 : P_2$

Σc —сумма соотношений P_1 и P_2 .

б) на основании формул (5 и 6) определяется количественное соотношение плагиоклазов P_1 и P_2 .

$$P_1 = \frac{Пл. \Sigma P_1}{\Sigma c} \quad (5) \quad \text{№ } Пл = \frac{CaO \times 100}{1,705 \times Na_2O + CaO} \quad (7)$$

$$P_2 = \frac{Пл. \Sigma P_2}{\Sigma c} \quad (6)$$

4) Состав—(№) плагиоклаза определяется по формуле (7)

Если в принципе существующих методов рассмотрение взаимосвязей между химическими компонентами породы, возможно только использование молекулярных или атомных соотношений элементов, то при предложенном методе, для точного вычисления минерального состава горных пород по данным их химических составов необходимо опираться на весовых процентах содержания окислов, поскольку при пересчете весовых содержаний на молекулярные, уменьшается точность работы и допускается затрата производительного времени.

Способ и порядок пересчета

1. Шлиф, из проанализированной горной породы, изучается под микроскопом. При этом необходимо: определить тип породы и ее полный минеральный состав с указанием, весьма ориентировочно, количественных соотношений породообразующих, акцессорных и постмаг-

2. В зависимости от характера минерального состава горной по-

матических (вторичных) минералов. .
породы, а следовательно от сочетаний породообразующих минералов, ход пересчета химического анализа может производиться в один или в два этапа.

Пересчет химического анализа для горных пород с несложным минеральным составом, производится в один этап (см. примеры), а с более сложным сочетанием минералов,—в два этапа (пример 2). При этом, первый этап пересчета, по существу, является предварительным определением количественных соотношений минералов, а во втором этапе—вводится уточнение (корректировка) к количественным соотношениям минералов, определенных при первом этапе.

3. Пересчет химического анализа следует начинать, обычно, с породообразующих минералов, но это не является общим правилом метода, ибо сам метод лишен «стандартных» форм построения.

П Р И М Е Р 1

Пересчет химического анализа гранита на минералы, согласно весовым процентам окислов— MgO , Na_2O , K_2O .

(Анализ заимствован из кн. «Химия земной коры»).

Условия и порядок пересчета

По результатам микроскопического исследования, гранит состоит из ортоклаза (около 40%), плагиоклаза (около 30%), биотита (4—5%), кварца (25—30%). Из акцессорных — магнетит (1%) и сфен (0,5%).

Как видно, гранит имеет не сложный минеральный состав, поэтому решение задачи изложено в одном этапе.

1. Находим из приложения химический состав породообразующих и акцессорных минералов, соответствующих граниту (см. табл. 1).

Пересчитываем количество биотита на основании MgO , определенного химическим анализом.

Таблица 1

Химический состав минералов, заимствованных из приложения

Окислы	Минералы—№ анализа в прил.			
	Биотит—470	Ортоклаз—645	Плагиоклаз—774	Сфен—1280
SiO_2	0,3683	0,6495	0,6224	0,3067
TiO_2	0,0115	—	—	0,3533
Al_2O_3	0,1693	0,1901	0,2307	0,0086
Fe_2O_3	0,0758	0,0029	0,0081	0,0128
FeO	0,1461	0,0008	—	0,0046
MnO	0,0048	—	—	0,0012
MgO	0,0928	0,0013	0,0016	—
CaO	0,0088	0,0058	0,0414	0,2778
Na_2O	0,0112	0,0292	0,0766	0,0019
K_2O	0,0815	0,1168	0,0144	0,0015
H_2O	0,0344	0,0035	0,0048	0,0015

а) Следует учесть, что окись магния, кроме биотита, принимает участие также в химическом составе ортоклаза и плагиоклаза, поэтому возникает необходимость, прежде всего, выделить долю MgO на образование полевых шпатов. Эта задача решается при помощи формулы (3).

$$Hи = \frac{O(CAб + CBб)}{CAа + CBа} \quad (3) \quad Hи = \frac{3,30(0,0016 + 0,0013)}{0,0766 + 0,0292} = 0,09 \text{ MgO}$$

$O = Na_2O = 3,30\%$ по дан. хим. анал.
 $A = \text{Пл}$
 $B = \text{Ор}$
 $a = Na_2O$ в 1% мин.
 $b = MgO$

$Aa = 0,0766$
 $Ab = 0,0016$
 $Ba = 0,0292$
 $Bb = 0,0013$

из табл. 1

$A : B = 1 : 1$ (ориент. под микр.)

б) 0,09% MgO выделяется из общего весового процента для образования полевых шпатов, а остальная часть MgO ($0,39 - 0,09 = 0,30\%$) пересчитывается на биотит.

в) Весовое количество биотита определяем:
 $0,30 : 0,0928 = 3,24$ (0,0928 содержание MgO в 1% биотита—из табл. 1).

г) Весовое количество биотита 3,24 умножаем по значениям всех окислов таблицы 1 и вносим в таблицу 2.

4. Определяем количественное соотношение ортоклаза и плагиоклаза по остаткам Na_2O и K_2O .

а) Как видно из таблицы 2, для преобразования 3,24% биотита израсходовано 0,04% Na_2O и 0,26% K_2O . Отсюда остаток щелочей устанавливается: $\text{Na}_2\text{O} - 3,33 - 0,04 = 3,29$; $\text{K}_2\text{O} - 5,50 - 0,26 = 5,24$.

б) Количественные соотношения ортоклаза и плагиоклаза определяем при помощи формулы 1 и 2.

$$\text{Ор} = \frac{(\text{Na} \times \text{Пк}) - (\text{K} \times \text{ПNa})}{(\text{ONa} \times \text{Пк}) - (\text{Ок} \times \text{ПNa})} \quad (1)$$

$$\text{Пл} = \frac{\text{Na} - (\text{ONa} \times \text{Ор})}{\text{ПNa}} \quad (2)$$

$$\text{Na}_2\text{O} = 3,29$$

$$\text{K}_2\text{O} = 5,24$$

$$\text{ONa} = 0,0292$$

$$\text{Ок} = 0,1168$$

$$\text{ПNa} = 0,0766$$

$$\text{Пк} = 0,0144$$

из табл. 1

$$\text{Ор} = \frac{(3,29 \times 0,0144) - (5,24 \times 0,0766)}{(0,0292 \times 0,0144) - 0,1168 \times 0,0766} = 41,50$$

$$\text{Пл} = \frac{3,29 - (0,0292 \times 41,50)}{0,0766} = 27,13$$

в) Весовое количество ортоклаза (41,50%) и плагиоклаза (27,13%) умножаем по значениям всех окислов таблицы 1 (№ ан. 645 и 774) и вносим в табл. 2.

5. Выводим итоги всех окислов по результатам трех минералов. т. с. (Би, Ор, Пл).

6. По данным микроскопического анализа, содержание сфена не превышает 0,50%.

Таблица 2

Пример 1 пересчета гранита

Минералы	Весовые % мине- ралов	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O
Биотит	3,24	1,18	0,04	0,55	0,25	0,47	0,02	0,30	0,04	0,04	0,26	0,10
Ортоклаз	41,50	26,96	—	7,89	0,12	0,03	—	0,05	0,24	1,21	4,85	0,15
Плагиоклаз	27,31	16,88	—	6,26	0,22	—	—	0,04	1,12	2,08	0,39	0,14
Итого	72,05	45,02	0,04	14,20	0,59	0,50	0,02	0,39	1,40	3,33	5,50	0,39
Сфен	0,50	0,15	0,18	—	—	—	—	—	0,14	—	—	—
Магнетит	0,75	—	—	—	0,51	0,24	—	—	—	—	—	—
Итого	73,30	45,17	0,22	14,20	1,10	0,74	0,02	0,39	1,54	3,33	5,50	0,39
Кварц	26,70	26,70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	100,0	71,87	0,22	14,20	1,10	0,74	0,02	0,39	1,54	3,33	5,50	0,39

а) Ориентировочное количество сфена (0,50%), определенное под микроскопом, умножаем по всем окислам таблицы 1 (№ ан. 1280) и вносим в таблицу 2.

7. Под микроскопом содержание магнетита несколько больше, чем сфена, однако не превышает 0,75 % (Fe_2O_3 —0,51, FeO —0,24 %).

8. Выводим итоги всех окислов и минералов (см. табл. 2).

9. Как видно из таблицы 2, общее количество минералов (биотит+ортоклаз+плагиоклаз+сфен+магнетит) равно 73,30 %.

Содержание кварца в граните, будет $100,00 - 73,30 = 26,70$, что представляет собой избыток кремнекислоты. 26,70 — кварца суммируем с общим количеством SiO_2 образовавшимся за счет Би, Ор, Пл, Сф (табл. 2).

ПРИМЕР 2

Пересчет химического анализа нефелинового сиенита на минералы: согласно весовым процентам окислов— MgO , Na_2O , K_2O .

(анализ заимствован из кн. В. Ф. Морковкиной «Химические анализы изверженных горных пород»).

Условие и порядок пересчета

В минеральном составе нефелинового сиенита под микроскопом определены: микроклин—(59,9%), альбит—(13,7%), роговая обманка—(14,6%), нефелин—(6,1%), вторичные минералы—карбонат, пирит, эпидот (5,7%), апатит.

Сочетание микроклина, альбита, нефелина и роговой обманки создает некоторое осложнение, поэтому задача решается в двух этапах.

I этап пересчета

1. Из приложения находим химический состав породообразующих и вторичных минералов.

2. Пересчитываем весовой процент роговой обманки на основании MgO , но так как MgO принимает участие также в химических составах альбита и нефелина, то выделяем необходимое количество MgO для образования указанных минералов при помощи формулы 3.

$$\begin{aligned} \text{Ни} &= \frac{\text{O}(\text{CAб} + \text{CBб})}{\text{CAа} + \text{CBа}} & \text{O} &= \text{Na}_2\text{O} = 6,11 \\ \text{Ни} &= \frac{6,11(2 \times 0,0009 + 0,004)}{2 \times 0,0964 + 0,1573} = 0,04\% \text{ MgO} & \text{Ни} &= \text{MgO?} \\ & & \text{А} &= \text{альбит} \\ & & \text{Б} &= \text{нефелин} \\ & & \text{а} &= \text{Na}_2\text{O} \text{ в } 1\% \\ & & \text{б} &= \text{MgO} \text{ мин} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Аа} &= 0,0964 \\ \text{Ab} &= 0,0009 \\ \text{Ба} &= 0,1573 \\ \text{Бб} &= 0,0004 \\ \text{А:Б} &= 2:1 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{из таблиц 3}$$

б) 0,04% MgO вычитаем из общего весового процента, а оставшее пересчитываем на роговую обманку $0,84 - 0,04 = 0,80\%$ MgO.

в) Из таблицы 3 находим содержание MgO в 1% роговой обманки. Это 0,0431. Разделяя весовой процент MgO (0,80%) на 0,0431 находим количество роговой обманки в породе: $0,80 : 0,0431 = 18,50$.

г) Количество роговой обманки (18,50%) умножаем по значениям всех окислов таблицы 3 (№ ан. 399) и вносим в таблицу 4).

4. Определяем количественное соотношение микроклина, альбита и нефелина.

а) Находим остаток Na_2O и K_2O после преобразования роговой обманки. Из таблицы 4 видно, что на долю роговой обманки израсходовано 0,63% Na_2O и 0,36% K_2O . Следовательно на долю полевых шпатов и нефелина приходится 5,48% Na_2O ($6,11 - 0,63$) и 5,09% K_2O ($5,45 - 0,36$).

б) Следует учесть, что Na_2O и K_2O принимают участие во всех трех минералах. Однако формулы 1 и 2 решают задачу с двумя неизвестными. Поэтому необходимо, во-первых: определить количество одного минерала, а затем двух. В данном примере наиболее правильно определить первым количество альбита, ибо как видно из таблицы 3, в нем содержание K_2O по сравнению с микроклином и нефелином минимальное (0,0151%). Чтобы решить эту задачу, нужно выделить при помощи формулы (3) необходимое количество Na_2O , соответствующее 5,09% K_2O для преобразования микроклина и нефелина.

$$\text{Ни} = \frac{\text{O}(\text{CAб} + \text{CBб})}{\text{CAа} + \text{CBа}} \quad (3)$$

$$\text{Ни} = \frac{5,09(5 \times 0,0239 + 0,1573)}{5 \times 0,1276 + 0,0545} = 2,03$$

$\text{O} = \text{K}_2\text{O} = 5,09$	$\text{Aа} = 0,1276$	} из таб. 1
$\text{Ни} = \text{Na}_2\text{O} = ?$	$\text{Ab} = 0,0239$	
$\text{A} = \text{микроклин}$	$\text{Ba} = 0,0545$	
$\text{B} = \text{нефелин}$	$\text{Bб} = 0,1573$	
$\text{a} = \text{K}_2\text{O}$ $\text{б} = \text{Na}_2\text{O}$	$\text{A} : \text{B} = 5 : 1$	

} в 1% мин

Таким образом, для образования микроклина и нефелина необходимо 2,03% Na_2O лишь при наличии 5,09% K_2O . Остальная часть, т. е. 3,45 Na_2O ($5,48 - 2,03$) приходится на определение альбита.

в) Количество альбита определяем путем деления 3,45% Na_2O на 0,0964. (из таблицы 3, что соответствует содержанию Na_2O в 1% альбита).

$$3,45 : 0,0964 = 35,79\%$$

Количество альбита (35,79%) умножаем по значениям всех окислов (табл. 3, ан. № 789), входящих в хим. состав альбита, и результаты вносим в табл. 4.

д) При помощи формулы 1 и 2 определяем количественное соотношение микроклина и нефелина.

$$\text{Op} = \frac{(\text{Na} \times \text{Hк}) - (\text{K} \times \text{HNa})}{(\text{ONa} \times \text{Hк}) - (\text{OK} \times \text{HNa})} \quad (1) \quad \text{Hф} = \frac{\text{K} - (\text{OK} \times \text{Op})}{\text{Hк}}$$

Окислы	Минералы—№ анализа в приложении				
	Нефелин—815	Альбит—789	Микроклин—668	Рог. обм.—399	Эпидот—1050
SiO ₂	0,4397	0,6495	0,6156	0,3919	0,4146
TiO ₂	—	—	—	0,0272	0,0015
Al ₂ O ₃	0,3289	0,2133	0,2160	0,0993	0,0053
Fe ₂ O ₃	0,0080	0,0006	—	0,0608	0,0186
FeO	—	—	—	0,2040	0,0044
MnO	—	—	—	0,0057	—
MgO	0,0004	0,0009	—	0,0431	0,0051
CaO	0,0042	0,0172	0,0151	0,0982	0,1766
Na ₂ O	0,1573	0,0964	0,0239	0,0338	0,0035
K ₂ O	0,0545	0,0151	0,1276	0,0192	0,0017
H ₂ O	0,0070	0,0072	0,0038	0,0164	,00657

Пример 2 пересчета нефелинового сиенита

Таблица 4

Этапы пересчета	Минералы	Весовой % мин.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
			—	—	—	—	—	—	0,84	—	6,11	5,45	0,15	—
I	Роговая обм.	18,50	7,25	0,50	1,84	1,12	3,77	0,11	0,80	1,82	0,63	0,36	—	0,30
	Альбит	35,79	23,25	—	7,63	0,02	—	—	0,03	0,62	3,45	0,54	—	0,25
	Микрокл.-перт.	32,14	19,79	—	6,94	—	—	—	—	0,49	0,77	4,10	—	0,12
	Нефелин	8,26	3,63	—	2,72	0,07	—	—	—	0,03	1,30	0,45	—	0,06
II	Итого	94,69	53,92	0,50	19,13	1,21	3,77	0,11	0,83	2,96	6,15	5,45	—	0,73
	Рог. обманка	18,80	7,37	0,51	1,87	1,14	3,84	0,11	0,81	1,85	0,63	0,36	—	0,31
	Альбит	35,38	22,98	—	7,55	0,02	—	—	0,03	0,61	3,41	0,53	—	0,25
	Микроклин-пертит	32,27	19,87	—	6,97	—	—	—	—	0,49	0,77	4,11	—	0,12
	Нефелин	8,26	3,63	—	2,72	0,07	—	—	—	0,03	1,30	0,45	—	0,06
	Итого	94,71	53,85	0,51	19,11	1,23	3,84	0,11	0,84	2,98	6,11	5,45	—	0,74
	Апатит	0,37	—	—	—	—	—	—	—	0,22	—	—	0,15	—
	Карбонат (кальцит)	1,79	—	—	—	—	—	—	—	0,99	—	—	—	—
	Пирит	0,63	—	—	—	0,30	—	—	—	—	—	—	—	—
	Эпидот	2,5	1,04	—	0,88	0,05	0,01	—	—	0,44	—	—	—	—
	Итого	100,0	54,89	0,51	19,99	1,58	3,85	0,11	0,84	4,63	6,11	5,45	0,15	CO ₂ =0,80 S=0,33

$$\text{Op} = \frac{(2,03 \times 0,0545) - (4,55 \times 0,1573)}{(0,0239 \times 0,0545) - (0,1276 \times 0,1573)} = 32,14$$

$$\text{Нф} = \frac{4,55 - (0,1276 \times 32,14)}{0,0545} = 8,26$$

$$\begin{array}{llll} \text{K}_2\text{O} = 4,55 & 5,45 - (0,36 + 0,54) & \text{ONa} = 0,0239 & \text{HNa} = 0,1573 \\ \text{Na}_2\text{O} = 2,03 & 6,11 - (0,63 + 3,45) & \text{Ок} = 0,1276 & \text{Нк} = 0,0545 \end{array}$$

е) количество микроклина (32,14%) и нефелина (8,26%) умножаем по значениям всех окислов таблицы 3 (ан., № 688 и 815) и вносим в таблицу 4.

5. Выводим итоги всех окислов по результатам четырех минералов (Ро, Ал, Мк, Нф). При этом, как видно из таблицы 4 появляется некоторый избыток Na_2O (0,04%) и недостача MgO (0,01%).

II этап пересчета

6. Второй этап пересчета, как отметили выше, вносит некоторую корректировку и уточняет количественные соотношения породообразующих минералов соответственно окислам MgO (0,84%), Na_2O (6,11%) и K_2O (5,45), определенных химическим анализом.

а) 0,01 MgO прибавляется на долю роговой обманки: $0,81 : 0,0431 = 18,80$.

б) 0,04% Na_2O снимается с альбита, следовательно $3,45 - 0,04 = 3,41 : 0,0964 = 35,38\%$.

в) при этом избыток K_2O равный 0,01% добавляется к микроклину, т. е. $4,10 + 0,01 = 4,11 : 0,1276 = 32,37\%$.

Естественно, изменение количественных соотношений минералов должно отразиться и на весовых процентах окислов указанных минералов, поэтому необходимо весовые количества Ро (18,80%), Ал (35,38%), Мк (32,37%), умножить по значениям всех окислов таблицы 3 (№ ан. 399, 789, 668) и результаты внести в таблицу 4.

г) Выводим итоги по всем окислам и породообразующим минералам (см. табл. 4).

7. Определяем количество апатита на основании P_2O_5 (0,15%).

а) Из приложения находим химический состав апатита (№ 1260), где 1% апатита содержит 0,4098 P_2O_5 и 0,5240 CaO .

Количество апатита определяется: $0,15 : 0,4098 = 0,37\%$.

8. Определяем количественное соотношение вторичных минералов (Кц, Пр, Эп). Общее количество их, как видно из таблицы 4, составляет 4,92%, т. е. $100,0 - (94,71 + 0,37) = 4,92$.

а) Весовое количество пирита устанавливается на основании S (0,33%) определенной химическим анализом. Из приложения находим химический состав пирита (№ ан. 1194) $\text{S} = 0,5261\%$, $\text{Fe} = 0,4611\%$ количество пирита определяется: $0,33 : 0,5261 = 0,63\%$.

0,63% пирита умножаем на 0,4611 и находим весовой процент железа (см. табл. 4).

б) Эпидот составляет 2—3% или в среднем 2,5%. Количество эпидота (2,5%) умножаем по всем окислам таблицы 3 (№ ан. 2050) и вносим в таблицу 4.

в) Карбонат (кальцит) в породе составляет 1,79% т. е. 4,92—(2,5+0,63).

Количество карбоната (1,79) умножаем на 0,5524 (содержание СаО 1% кальцита—№ ан. 1225 в прил.) и вносим в таблицу 4.

8. Вводим итоги всех окислов и минералов (табл. 4.).

ПРИМЕР 3

Пересчет химического анализа оливинового габбро на минералы, на основании MgO и Na₂O (№ ан. 303, заимствован из кн. В. Ф. Морковкиной «Хим. анализы изверженных горных пород».

Условия и порядок пересчета

Результаты исследования габбро под микроскопом показывают следующий минеральный состав: диопсид—37,8%, плагиоклаз—33,2% (№ 50—72), оливин—8,6%, роговая обманка—1,5%, серпентин—2,0%, тальк—1,3%, апатит—1,0%, магнетит—15,6%. Это сочетание минералов позволяет провести пересчет одним этапом.

1. Из приложения находим химический состав минералов, соответствующих оливиновому габбро (табл. 5).

2. Поскольку роговая обманка, серпентин и тальк в породе не имеют существенного значения, то количественные соотношения их можно принять согласно данных микроскопического определения, т. е. Ро—1,5%, Ср—2,0% и Тл—1,3%. Содержания указанных минералов умножаем по значениям всех окислов таблицы 5 (№ № ан. 375, 627, 616) и результаты вносим в таблицу 6.

3. Пересчитываем количественное соотношение диопсида и оливина на основании MgO определенной химическим анализом. При этом: а) следует вычесть израсходованные на Ро, Ср, Тл количества MgO из общего весового процента, т. е. 11,31—(0,28+0,71+0,40)=9,91% MgO.

б) При помощи формулы 3 находим необходимое количество FeO, соответствующее 9,91% MgO.

$$H_{и} = \frac{O(CA_6 + CB_6)}{CA_а + CB_а}$$

$$H_{и} = \frac{9,91(3 \times 0,0207 + 0,3391)}{3 \times 0,1760 + 0,2686} = 4,97$$

$$O = MgO - 9,91 \%$$

$$H_{и} = FeO - ?$$

$$A = Ди, B = Ол$$

$$a = MgO$$

$$б = FeO$$

$$A_а = 0,1760$$

$$A_б = 0,0207$$

$$B_а = 0,2686$$

$$B_б = 0,3391$$

в 1% минерала

$$A : B = 3 : 1$$

данные берем из таблицы 5

Таким образом, при наличии 9,91% MgO, для определения количественных соотношений диопсида и оливина необходимо 4,97% FeO.

а) Весовые проценты диопсида и оливина определяем при помощи формулы 1 и 2.

$$D_{\text{ди}} = \frac{(M \times O_{\text{Fe}}) - (Fe \times O_{\text{м}})}{(D_{\text{м}} \times O_{\text{Fe}}) - D_{\text{Fe}} \times O_{\text{м}}} \quad (1) \quad O_{\text{л}} = \frac{Fe - (D_{\text{Fe}} \times D_{\text{ди}})}{O_{\text{Fe}}} \quad (2)$$

$$D_{\text{ди}} = \frac{(9,91 \times 0,3391) - (4,97 \times 0,2686)}{(0,1760 \times 0,3391) - (0,0207 \times 0,2686)} = 37,43$$

$$O_{\text{л}} = \frac{4,97 - (0,0207 \times 37,43)}{0,3391} = 12,37 \%$$

$M = \text{MgO} = 9,91 \%$
 $Fe = \text{FeO} = 4,97 \%$
 $D_{\text{м}} = 0,1760$
 $D_{\text{Fe}} = 0,0207$
 $O_{\text{м}} = 0,2686$
 $O_{\text{Fe}} = 0,3391$

из табл. 5

г) Весовое количество диопсида (37,43%) и оливина (12,37%) умножаем по всем окислам таблицы 5 (№№ ан. 176 и 1) и результаты вносим в табл. 6.

4. Пересчитываем количество апатита путем деления весового процента P_2O_5 определенной химическим анализом (2,15%) на весовой % P_2O_5 в 1% минерала, т. е. 0,4072 (из табл. 5).

а) $2,15 : 0,4072 = 5,28 \%$.

б) Количество апатита (5,28%) умножаем по значениям других окислов (см. табл. 5, № ан. 1266) и вносим в таблицу 6.

5. Химическим анализом габбро определено CuO (2,48) и S (0,70%), что свидетельствует о присутствии минералов меди. Можно полагать, что халькопирит и тенорит.

а) Из приложения, в 1% халькопирита содержится: $S - 0,3550 \%$, $Cu - 0,3335 \%$, $Fe - 0,3136 \%$.

б) Весовой процент халькопирита находим: $0,70 : 0,3550 = 1,97 \%$.

в) Тенорит (CuO), это остаток CuO после преобразования халькопирита.

Как видно из таблицы 5, израсходованное количество, CuO для образования халькопирита составляет 0,79%, следовательно количество тенорита находим: $2,48 - 0,79 = 1,59 \%$.

6. Выводим итоги по 8 минералам. При этом общее весовое количество минералов составляет 88,80%.

7. Весовое количество титансодержащего магнетита (титаномангнетит) определяется:

$$100,00 - 88,80 = 11,20 \%$$

Это количество умножается по всем окислам указанных в таблице 5 № ан. 1172 и вносится в таблицу 6.

8. Выводим итоги всех окислов (см. табл. 6).

ПРИМЕР 4

Пересчет химического состава диацита на минералы, согласно весовому проценту K_2O .

Оксиды	Минералы—№ анализов в приложении							
	Ди—176	Ол—1	Пл—725	Рог. об.—375	Ср—627	Тл—616	Ап—1266	Мг—1172
SiO ₂	0,5057	0,3558	0,4383	0,4855	0,4254	0,6006	—	0,0048
TiO ₂	0,0018	0,0122	—	0,0070	—	—	—	0,0298
Al ₂ O ₃	0,0248	0,0092	0,3459	0,0838	0,0568	0,0160	0,0068	0,0002
Fe ₂ O ₃	0,0378	—	0,0097	0,0238	0,0106	—	0,0042	0,6340
FeO	0,0207	0,3391	—	0,0932	0,0074	0,0174	—	0,3225
MnO	0,0010	0,0035	—	0,0016	—	—	—	—
MgO	0,1760	0,2686	—	0,1520	0,3557	0,3083	0,0022	0,0039
CaO	0,2200	0,0090	0,1843	0,1159	0,0013	0,0040	0,5416	0,00023
Na ₂ O	0,0004	—	0,0071	0,0153	—	—	P ₂ O ₅ =0,4072	—
K ₂ O	0,0005	—	—	0,0016	—	—	F=0,0330	—
H ₂ O	0,0112	0,0031	0,0147	0,0177	0,1428	0,0537	Cl=0,0025	0,0025

Пример 3. Пересчет габбро

Таблица 6

Минералы	Весовые % мин.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
		—	—	—	—	—	—	11,31	—	0,19	—	2,15	—
Рог. обм.	1,50	0,83	—	0,13	0,03	0,14	—	0,23	0,17	—	—	—	0,03
Серпентин	2,00	0,95	—	0,11	0,02	0,02	—	0,71	—	—	—	—	0,28
Тальк	1,30	0,78	—	0,02	0,02	0,03	—	0,40	—	—	—	—	0,08
Диопсид	37,43	18,93	0,07	0,93	1,42	0,77	0,04	6,60	8,24	0,01	0,01	—	0,66
Оливин	12,37	4,40	0,15	0,11	—	4,19	0,04	3,32	0,15	—	—	—	0,04
Плагноклаз	25,36	11,11	—	8,77	0,25	—	—	—	4,67	0,18	—	—	0,37
Апатит	5,28	—	—	0,04	0,02	—	—	0,01	2,89	—	—	2,15	—
Халькопирит	1,97	—	—	—	—	0,75	—	S=0,70%	Cu=0,66%	—	Fe=0,61%	—	F=0,17
Тенорит	1,59	—	CuO=1,59	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	88,37	37,00	0,22	10,11	1,76	5,90	0,08	11,27	16,09	0,19	0,01	2,15	1,46
Магнетит	11,63	0,06	0,35	—	7,37	3,75	—	0,04	0,03	—	—	—	0,03
Итого	100,0	37,06	0,57	10,11	9,13	9,65	0,08	11,31	16,12	0,19	0,01	2,15	1,49

(анализ заимствован из кн. «Хим. состав изверженных и метаморфических пород Арм. ССР, № ан. 687).

Условия и порядок пересчета

Под микроскопом дацит характеризуется витрофировой структурой с гиалиновой основной массой. Состоит из плагиоклаза, биотита, кварца и стекла. Как видно, дацит обладает несложным минеральным составом, следовательно пересчет будет проводится одним этапом.

1. Из приложения выбираем химический состав плагиоклаза и биотита, соответствующих дациту (см. табл. 8).

2. Определяем количественные соотношения плагиоклаза и биотита на основании K_2O (1,37%).

а) Следует найти необходимое количество Na_2O , соответствующее 1,37% K_2O для образования указанных минералов. Эта задача решается по формуле 3.

$$N_{и} = \frac{O(Саб+СБб)}{Саа+СБа} \quad (3) \quad N_{и} = \frac{1,37(6 \times 0,0584 + 0,0080)}{6 \times 0,0094 + 0,0790} = 3,54$$

$$\left. \begin{array}{l} O = K_2O = 1,37 \\ N_{и} = Na_2O = ? \\ A - Пл \\ B - Би \\ C = A : B = 6 : 1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} Aa = 0,0094 \\ Ab = 0,0584 \\ Ba = 0,0790 \\ Bb = 0,0080 \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{из табл. 8} \\ \text{содерж. в 1\% мин.} \end{array}$$

б) Количественное соотношение плагиоклаза и биотита определяем при помощи формул 1 и 2.

$$Pl = \frac{(Na \times B_{к}) - (K \times B_{Na})}{(P_{Na} \times B_{к}) - (P_{к} \times B_{Na})} \quad (1) \quad Bi = \frac{K - (P_{к} \times Pl)}{B_{к}} \quad (2)$$

$$Pl = \frac{(3,54 \times 0,0790) - (1,37 \times 0,0080)}{(0,0584 \times 0,0790) - (0,0094 \times 0,0080)} = 59,20$$

$$Bi = \frac{1,37 - (0,0094 \times 59,20)}{0,0790} = 10,25$$

$$\left. \begin{array}{l} Na_2O = Na = 3,54 \\ K_2O = K = 1,37 \\ P_{Na} = 0,0584 \\ P_{к} = 0,0094 \\ B_{Na} = 0,0080 \\ B_{к} = 0,0790 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{из табл. 8} \end{array}$$

в) Весовые проценты плагиоклаза (59,20) и биотита (10,25%) умножаем по значениям окислов таблицы 8 (№ ан. 471 и 760) и результаты вносим в табл. 7.

Таблица 7

Пример 4. Пересчет дацита

Минералы	Весовой % мин.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,37	—
Биотит	10,25	3,54	0,36	1,66	0,35	2,04	0,03	0,84	0,11	0,08	0,81	0,30
Плагиоклаз	59,20	33,94	—	15,76	0,19	0,11	—	0,07	4,97	3,46	0,56	0,13
Кварц и стекло	30,55	30,55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого	100,0	68,03	0,36	17,42	0,54	2,15	0,03	0,91	5,08	3,54	1,37	0,43

Таблица 8

Химический состав минералов, заимствованных из прил.

Окислы	Минералы—№ ан. в прил.	
	Би—471	Пл. 760
SiO ₂	0,3464	0,5733
TiO ₂	0,0348	—
Al ₂ O ₃	0,1630	0,2663
Fe ₂ O ₃	0,0322	0,0033
FeO	0,1994	0,0019
MnO	0,0031	—
MgO	0,0823	0,0012
CaO	0,0103	0,0840
Na ₂ O	0,0080	0,0584
K ₂ O	0,0790	0,0094
H ₂ O	0,0288	0,0022
F	0,0169	—
BaO	—	0,0115

3. Определяем количество кварца и стекла, т. е. кристаллической и аморфной кремнекислоты, представляющей третий компонент минерального состава дацита.

$$100,00 (59,20 + 10,25) = 30,55$$

Количество кремния (30,55 %) вносим в таблицу 7.

4. Выводим итоги окислов в таблицу 7.

ПРИМЕР 5

Пересчет химического анализа базальта на минералы, согласно весовым процентам окислов SiO₂, MgO и Na₂O. (анализ № 1821 заимствован из кн. В. Ф. Морковкиной «Хим. анализ изверженных горных пород»).

Условия и порядок пересчета

Минеральный состав базальта, по результатам микроскопического исследования, представлен плагиоклазом (лабрадор), авгитом, гиперстеном, вулканическим стеклом, магнетитом, редко апатитом и пересчитывается одним этапом.

Пример 5. Пересчет базальта

Таблица 9

Минералы	Весовой % мин.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O
		52,53	—	—	—	—	—	4,18	—	3,14	—	0,20	—
Плагиоклаз № 56	62,71	34,20	—	17,76	0,58	—	—	0,12	6,78	3,06	0,45	—	—
Авгит	20,80	9,79	0,38	1,62	0,27	1,70	0,04	2,81	4,02	0,07	0,02	—	0,03
Гиперстен	4,18	2,27	—	0,11	0,02	0,37	—	1,25	0,10	0,01	—	—	0,04
Вулк. стекло	7,24	7,24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Апатит	0,49	—	—	—	—	—	—	—	0,29	—	—	0,20	—
Рудн.-титано-магнетит	4,58	0,02	—	—	—	3,14	—	—	—	—	—	—	—
	100,0	53,52	0,38	19,49	4,01	521	0,04	4,18	11,19	3,14	0,47	0,20	0,07

1. Из приложения выбираем хим. состав породообразующих и аксессуарных минералов соответствующих базальту. см. табл. 10.

2. Определяем весовое количество плагиоклаза на основании Na_2O .

Таблица 10

Химический состав минералов, заимствованных из прил.					
Окислы	Минералы—№ ан. в приложении				
	Пл—753	Ав—116	Гп—50	Ап—1266	Мг—1172
SiO_2	0,5454	0,4706	0,5420	—	0,0050
TiO_2	—	0,0182	0,0006	—	0,0003
Al_2O_3	0,2832	0,0777	0,0272	0,0068	0,0013
Fe_2O_3	0,0093	0,0130	0,0054	0,0042	0,6820
FeO	—	0,0815	0,0896	—	0,3110
MnO	—	0,0020	0,0011	—	0,0003
MgO	0,0020	0,1352	0,2983	0,0022	0,0009
CaO	0,1081	0,1933	0,0250	0,5416	—
Na_2O	0,0488	0,0033	0,0026	$\text{P}_2\text{O}_5=0,4072$ $\text{F}=0,0335 \text{ Cl}=0,0025$	
K_2O	0,0072	0,0011	—		
H_2O	—	0,0020	0,0082		

а) Весовой процент Na_2O химическим анализом определен 3,14%, однако часть его входит в химический состав авгита и гиперстена. Поэтому следует, прежде всего установить необходимое количество Na_2O , соответствующее 4,18 % MgO для образования минералов пироксена. Эта задача решается путем применения формулы (3).

$$\text{Нн} = \frac{\text{O}(\text{CAб} + \text{CBб})}{\text{CAа} + \text{CBа}} \quad (3)$$

$$\text{Нн} = \frac{4,18(5 \times 0,0033 + 0,0026)}{5 \times 0,1352 + 0,2983} = 0,08\% \text{ Na}_2\text{O}$$

$$\text{O} = \text{MgO} = 4,18\%$$

$$\text{Нн} = \text{Na}_2\text{O} = ?$$

$$\text{A} = \text{Ав} \quad \text{а} = \text{MgO}$$

$$\text{Б} = \text{Гп} \quad \text{б} = \text{Na}_2\text{O}$$

$$\text{A} : \text{Б} = 5 : 1$$

$$\text{Aа} = 0,1352$$

$$\text{AB} = 0,0033$$

$$\text{Ба} = 0,2983$$

$$\text{Бб} = 0,0026$$

из таб. 10

б) Установленное количество 0,08% Na_2O отнимается от общего количества Na_2O , т. е. $3,14 - 0,08 = 3,06\%$.

в) Весовое количество плагиоклаза определяем разделением 3,06 на количество Na_2O в 1% плагиоклаза, что берется из таблицы 10, т. е. $3,06 : 0,0488 = 62,71\%$.

г) Весовое количество плагиоклаза умножаем по всем окислам (ан. № 753 из табл. 10) и результаты вносим в таблицу 9.

3. Определяем количественное соотношение авгита и гиперстена на основании MgO и FeO .

а) Из общего весового процента MgO (4,18) вычитываем 0,12% MgO , израсходованное для преобразования плагиоклаза (см. табл. 9).

$$4,18 - 0,12 = 4,06\% \text{ MgO}$$

б) Необходимо найти также весовой процент второго окисла, т. е. FeO, соответствующий 4,06 MgO. Эту задачу решаем по формуле (3)

$$Hи = \frac{O(CAб + CBб)}{CAа + CBа} \quad (3)$$

$$Hи = \frac{4,06(5 \times 0,0815 + 0,0896)}{5 \times 0,1352 + 0,2983} = 2,07\% \text{ FeO}$$

А — Авгит
Б — гиперстен
а — MgO
б — FeO
О — MgO = 4,06
Ни — FeO = ?

Аа — 0,1352
Аа — 0,0815
Бб — 0,2983
Ба — 0,0896
С = А : Б = 5 : 1

в) Количественные соотношения указанных минералов определяем при помощи формулы 1 и 2.

$$Aв = \frac{(M \times \Gamma Fe) - (Fe \times \Gamma M)}{(Aм \times \Gamma Fe) - (AFe \times \Gamma M)} \quad (1) \quad \Gamma п = \frac{Fe - (AF \times Aв)}{\Gamma Fe} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} M &= 4,06 \\ Fe &= 2,07 \\ Aм &= 0,01352 \\ AFe &= 0,0815 \\ \Gamma M &= 0,2983 \\ \Gamma Fe &= 0,0896 \end{aligned} \quad \begin{aligned} Aв &= \frac{(4,06 \times 0,0896) - (2,07 \times 0,2983)}{(0,1352 \times 0,0896) - (0,0815 \times 0,2983)} = 20,80\% \\ \Gamma п &= \frac{2,07 - (0,0815 \times 20,80)}{0,0896} = 4,18\% \end{aligned}$$

г) Количество авгита (20,80%) и гиперстена (4,18%) умножаем по окислам таблицы 10 (см. ан. № 116 и 50) и результаты вносим в таблицу 9.

4. Весовой процент стекла устанавливаем вычитанием из общего весового процента кремнекислоты, определенной химическим анализом, количество кремнекислоты, израсходованное на образование плагиоклаза, авгита и гиперстена, т. е. $53,52 - (34,20 + 0,70 + 2,27) = 7,26$

5. Определяем весовой процент апатита на основании P_2O_5 (0,20%), определенной химическим анализом, путем деления 0,20% на 0,4072 (содержание P_2O_5 в 1% апатита — см. табл. 10, № ан. 1266).
 $0,20 : 0,4072 = 0,49\%$ апатита

6. Выводим итоги количеств всех минералов (Пл, Ав, Гп, Ап, Вс). Разница между суммарным количеством минералов и 100,0 будет соответствовать количеству рудного минерала (очевидно магнетиту).

$$100,0 - (62,71 + 20,80 + 4,18 + 7,24 + 0,49) = 4,58$$

Количество магнетита (4,58) умножается по окислам таблицы 10 (см. ан. № 1172) и результаты вносятся в таблицу 9.

7. Выводим итоги всех минералов и окислов таблицы 9.

ПРИМЕР 6

Пересчет химического анализа кварцево-слюдистого сланца на минеральный состав, на основании окислов MgO и K_2O .

(анализ заимствован из кн. «Хим. составы изв. и мет. горных пород Арм. ССР» № 1120).

Условие и порядок пересчета

Микроскопическое исследование кварцево-слюдистого сланца обнаруживает следующий минеральный состав: роговая обманка и кварц (породообразующие), мусковит и хлорит (вторичные) и гранат (акцессорные).

Сланец, как видно имеет не сложный минеральный состав, и поэтому пересчет возможен в одном этапе.

1. Из приложения выбираем химический анализ роговой обманки, мусковита, хлорита и граната. (см. табл. 12).

2. Учитывая то обстоятельство, что K_2O входит в состав роговой обманки мусковита (см. табл. 12), количественные соотношения этих минералов следует определить совместно и на основании K_2O и MgO .

а) Весовой процент K_2O , определенный химическим анализом равен 0,49%, однако весовой процент MgO нам неизвестен. При помощи формулы (3) находим необходимое количество MgO , соответствующее 0,49% K_2O .

$$H_{и} = \frac{O(CAб + CBб)}{CAa + CBa} \quad (3)$$

$$H_{и} = \frac{0,49(2,5 \times 0,1207 + 0,0170)}{2,5 \times 0,0036 + 0,0622} = 2,07\% \quad MgO$$

$$O = K_2O = 0,49\%$$

$$H_{и} = MgO = ?$$

$$A = Po \quad B = Mc$$

$$C = A : B = 2,5 : 1$$

$$a = K_2O \quad б = MgO$$

$$Aa = 0,0036$$

$$Ab = 0,1207$$

$$Ba = 0,0622$$

$$Bб = 0,0170$$

данные берутся из табл. 12

б) На основании весовых процентов K_2O (0,49%) и MgO (2,07%) определяем количественные соотношения Po и Mc . Задача решается при помощи формул 1 и 2.

Таблица 11

Пример 6. Пересчет кварцево-слюдистого сланца

Минералы	Весовой % мин.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	H_2O
		—	—	—	—	—	—	2,38	—	—	0,06	—
Рог. обманка	16,16	7,80	0,13	1,62	0,35	1,72	0,03	1,95	1,73	0,34	0,06	0,43
Мусковит	6,94	3,26	0,04	2,24	0,05	0,13	—	0,12	—	0,07	0,43	0,54
Хлорит	9,45	2,87	0,02	0,26	2,07	0,19	0,24	0,31	1,69	—	—	1,81
Гранат (альм.)	0,50	0,19	—	0,10	0,03	—	—	0,01	0,01	—	—	—
Итого	32,60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кварц	67,40	67,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всего	100,0	81,52	0,19	4,22	2,50	2,04	0,27	2,39	3,43	0,41	0,49	2,78

Химический состав минералов, заимствованных из приложения

Окислы	Минералы—№ ан. в прилож.			
	Ро—427	Хл—581	Мс—545	Гр(альм)—957
SiO ₂	0,4828	0,3040	0,4755	0,3826
TiO ₂	0,0080	0,0020	0,0064	—
Al ₂ O ₃	0,1000	0,0271	0,3245	0,1993
Fe ₂ O ₃	0,0220	0,2187	0,0076	0,0487
FeO	0,1065	0,0201	0,0185	0,2040
MnO	0,0017	0,0253	—	0,0004
MgO	0,1207	0,0328	0,0170	0,0394
CaO	0,1069	0,1784	0,0006	0,0202
Na ₂ O	0,0212	—	0,0105	—
K ₂ O	0,0036	—	0,0622	—
H ₂ O	0,0266	0,1916	0,0772	0,0054

$$Po = \frac{(M \times Mk) - (K \times Mm)}{(Pm \times Mk) - (Pk \times Mm)} \quad (1) \quad Mc = \frac{K - (Pk \times Po)}{Mk} \quad (2)$$

$$M = MgO = 2,07\% \quad K = K_2O = 0,49\% \quad Pk = 0,0036 \quad Pm = 0,1207 \quad Mk = 0,0622 \quad Mm = 0,0170$$

$$Po = \frac{(2,07 \times 0,0622) - (0,49 \times 0,0170)}{(0,1207 \times 0,0622) - (0,0036 \times 0,0170)} = 16,16\%$$

$$Mc = \frac{0,49 - (0,0036 \times 16,16)}{0,0622} = 6,94\%$$

из табл. 12

в) Количество роговой обманки (16,16%) и мусковита (6,94%) умножаем по всем окислам таблицы 12 (ан. № 527 и 545), результаты вносим в табл. 11.

3. Определяем количество хлорита на основании остатка MgO.

а) Остаток MgO находим: $2,38 - (1,95 + 0,12) = 0,31\%$ MgO.

б) Количество хлорита находим путем деления остатка MgO (0,31%) на количество MgO, содержащееся в 1% минерала, что берется из таблицы 12 (№ ан. 581). $0,31 : 0,0328 = 9,45\%$.

в) Количество хлорита (9,45%) умножается по всем окислам таблицы 12 (№ ан. 581) и вносится в таблицу 11.

4. Учитывая, что содержание граната в породе не превышает 0,50%, можно принять весовой процент граната за 0,50%.

Количество граната (0,50%) умножаем по всем окислам таблицы 12 (№ ан. 957) и результаты вносим в таблицу 11.

5. Выводим итоги весовых процентов минералов (Ро, Мс, Хл, Гр). Как это видно из таблицы 11 сумма равна 32,60%. Следовательно часть породы, т. е. $100,00 - 32,60 = 67,40$, представлена кварцем.

6. Выводим итоги весовых количеств всех минералов и окислов (см. табл. 11).

В заключение нашего сообщения, приводим сравнение результатов химических составов гранита, нефелинового сиенита, сиенита, габбро, дацита, базальта и кварцево-слюдистого сланца, полученных предл.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА

сравнения результатов химических составов гранита, нефелинового сиенита, габбро, базальта и сланца
полученных химическим анализом и предложенным методом

	№№ при- мера	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
Хим. состав по пересч.	1	71,87	0,22	14,20	1,10	0,74	0,02	0,39	1,54	3,33	5,50	0,39
Хим. состав по анализ.		72,86	0,22	13,94		2,02	0,03	0,39	1,41	3,33	5,50	0,30
Отклонение		-0,99	—	+0,26	—	-0,18	-0,01	—	+0,13	—	—	+0,09
Хим. состав по пересч.	2	54,89	0,51	19,99	1,58	3,85	0,11	0,84	4,63	6,11	5,45	1,87
Хим. состав по анализу		53,49	0,57	20,02	1,26	3,40	0,25	0,84	4,33	6,11	5,45	2,76
Отклонение		+1,40	-0,06	-0,03	+0,32	+0,44	-0,14	—	+0,30	—	—	-0,89
Хим. состав по пересчету	3	37,06	0,57	10,11	9,13	9,65	0,08	11,31	16,12	0,19	0,01	1,49
Хим. состав по анализу		37,02	0,59	10,75	5,57	10,03	0,19	11,31	17,07	0,19	0,12	1,46
Отклонение		-0,04	-0,02	+0,66	+3,56	+0,38	-0,11	—	-0,95	—	-0,11	+0,03
Хим. состав по пересчету	4	68,03	0,36	17,42	0,54	2,15	0,03	0,91	5,08	3,54	1,37	0,43
Хим. состав по анализу		67,16	0,22	17,19	0,81	0,87	0,04	0,91	3,69	4,14	1,37	0,70
Отклонение		+0,87	+0,14	+0,27	-0,27	-1,28	-0,01	—	+1,39	-0,60	—	-0,27
Хим. состав по пересчету	5	53,52	0,38	19,49	4,01	3,49	0,04	4,18	11,19	3,14	0,47	0,07
Хим. состав по анализу		53,52	0,63	19,16	5,99	2,34	0,14	4,18	8,87	3,14	0,80	—
Отклонение		—	-0,25	+0,33	-1,98	+1,15	-0,10	—	+2,32	—	-0,37	—
Хим. состав по пересчету	6	81,52	0,19	4,22	2,50	2,04	0,27	2,39	3,43	0,41	0,49	2,78
Хим. состав по анализу		83,00	0,41	5,11	4,20	2,58	0,10	2,38	0,63	0,82	0,49	1,00
Отклонение		-1,48	-0,22	-0,89	-1,70	-0,54	+0,17	+0,01	+2,80	-0,41	—	+1,78

женным методом пересчета и химическим анализом, что наглядно из сводной таблицы (табл. 13).

Отклонения между весовыми процентами окислов, определенных химическим анализом и пересчетом в подавляющем большинстве случаев, незначительны, однако в отдельных случаях наблюдается резкое несоответствие в окислах железа и кальция.

Не останавливаясь на причинах отклонения окислов железа и кальция, считаем необходимым отметить, что весовые проценты окислов полученные предложенным методом пересчета, полностью соответствуют результатам микроскопического исследования, т. е. минеральному составу горной породы.

Результаты пересчета, полученные предложенным методом, могут послужить основой для разработки рациональной системы петрохимических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

- Абовян С. Б., Багдасарян Г. П., Казарян Г. А., Карапетян К. И. — «Химические составы изверженных и метаморфических пород Армянской ССР». Изд. АН Арм. ССР, 1962 г.
- Бисьяневский Я. С. — «Универсальные таблицы для пересчета состава горных пород», Изд. «Наука» Узбекской ССР, Ташкент, 1965 г.
- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж. — «Породообразующие минералы». том 1, 2, 3, 4, 5. Изд. «Мир» Москва, 1965—1966 г.г.
- Заварицкий А. Н. — «Пересчет химических анализов изверженных горных пород». Госгеолтехиздат, Москва, 1960 г.
- Морковкина В. Ф. — «Химические анализы изверженных горных пород и породообразующих минералов». Изд. «Наука», Москва, 1964 г.
- Розенбуш Г., (под ред. и с дополнениями В. Н. Лодочникова) — «Описательная петрография». Гос. научно-техн. изд. Ленинград—1934 г.
- Четвериков С. Д. — «Руководство к петрохимическим пересчетам». Госгеолтехиздат, Москва, 1956 г.
- Чирвинский П. Н. — «Средний химический состав главных минералов изверженных, метаморфических и осадочных пород». изд. Харьковск. ГосУнт им. Горького, 1953 г.