

В. П. АВИДОН

**КОЭФФИЦИЕНТЫ
ДЛЯ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ
И ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ
ПЕРЕСЧЕТОВ**

В. П. АВИДОН

КОЭФФИЦИЕНТЫ
ДЛЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ
И ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ
ПЕРЕСЧЕТОВ

8595



Москва «Недра» 1976



Авидон В. П. Коэффициенты для минералогических и петрохимических пересчетов. М., «Недра», 1976. 160 с.

Книга содержит коэффициенты для пересчета результатов химических и минералогических анализов, выраженных в процентах, в формульные и атомные количества. Приведено более 1200 пересчетных коэффициентов, в том числе более 80 для химических элементов, более 150 для окислов, около 500 для различных минералов и химических соединений, а также более 250 коэффициентов для вычисления числа атомов катионов в элементарной и окисной форме и др. Указаны области применения и даны рекомендации по использованию коэффициентов для пересчетов. Приведены примеры пересчетов, применяемых в минералогии, петрографии, при оценке качества минерального сырья.

Работа рассчитана на геологов, минералогов, петрографов, геохимиков и других специалистов, занимающихся обработкой аналитических данных по минералам и горным породам, в том числе и по различным видам минерального сырья.

Табл. 59, ил. 12, список лит. — 44 назв.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1968 и 1970 гг. издательством «Недра» были опубликованы две работы автора «Таблицы для пересчета весовых процентных содержаний окислов в формульные и атомные (ионные) количества» и «Таблицы для пересчета формульных количеств минералов в весовые проценты». Эти таблицы предназначались для различных пересчетов в минералогии, петрографии при разработке технологических схем обогащения и переработке различных видов минерального сырья и др.

В дальнейшей работе автор пришел к выводу, что все эти вычисления можно производить с помощью коэффициентов, применение которых позволяет определять параметры для любых процентных содержаний химических элементов, их окислов, природных минералов и искусственных соединений, не прибегая к интерполяции и с интересующей исследователя точностью (до $n \cdot 10^{-6}$). Коэффициенты особенно удобны при массовой обработке анализов, в том числе с использованием вычислительной техники. Они удобны также для единичных расчетов, когда просто умножают данное процентное содержание на соответствующий коэффициент.

В основу расчета коэффициентов и изданных таблиц положены международные атомные массы химических элементов, утвержденные в 1960 г. (Астахов, 1968). Это позволяет при вычислениях получать идентичные результаты. Для всех приведенных в работе химических элементов и соединений в соответствующей графе таблиц даны их атомные или формульные массы.

Методы петрохимических пересчетов в книге не рассмотрены, так как они освещены в многочисленной литературе и хорошо известны.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОРМУЛЬНЫХ И АТОМНЫХ КОЛИЧЕСТВ ПРИ ПОМОЩИ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Одним из исходных положений при расчетах химических формул различных веществ, при петрохимических пересчетах и при некоторых способах оценки минеральных видов сырья является пересчет химических анализов в формульные и атомные количества. Это вызвано тем, что результаты химического анализа, выраженные в процентах окислов или элементов, не позволяют учесть всестороннюю взаимосвязь между компонентами анализируемого вещества.

В химии различают формулы простейшие (эмпирические), истинные (молекулярные) и структурные, а в минералогии — простейшие и структурные (кристаллохимические). Простейшие и истинные формулы не отвечают современным представлениям о природе химических соединений, поэтому реальный смысл имеют структурные формулы. Способы их записи весьма разнообразны.

В настоящее время наиболее распространены способы записи структурных формул минералов: упрощенные способы Ф. Махачки, В. С. Соболева, Д. П. Сердюченко, а для отражения химического состава горных пород — способы Т. Барта и Ю. В. Казицына, В. А. Рудника. Эти способы применяются при изучении метаморфических и метасоматически измененных пород. Они позволяют произвести количественный учет привноса и выноса веществ измененных пород и удобны при геохимических исследованиях. Используя различные виды записи формул, необходимо помнить следующие положения.

1. Символ любого элемента в формуле, помимо качественного, имеет и количественное значение. Он представляет собой 1 г-атом соответствующего элемента. Поэтому с помощью формул можно выполнять расчеты, приводящие к определению количественных отношений между элементами в соединениях или при химических реакциях. Такие расчеты называются стехиометрическими. Пользуясь этими расчетами при химических реакциях, можно определить ряд важных количественных величин. Например, если взять химическое уравнение реакции между натрием и хлором: $2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$, то из уравнения видно, что два атома натрия реагируют с одной молекулой хлора и образуют хлорид натрия, что $2 \times 23 = 46$ г натрия соединились с $2 \times 35,5 = 71$ г хлора, образовав 117 г хлорида натрия, и что объем хлора, вступивший в реакцию (при 0° и 1 кгс/см²), согласно закону Авогадро, равен 22,4 л.

2. Если число молекул (N) в 1 моле равно $6,023 \cdot 10^{23}$, то и 1 г-атом любого элемента содержит такое же число атомов. Следовательно, можно найти массу атома m (в граммах), разделив его атомную массу на число Авогадро. Для атома водорода $m = 1,008 : 6,023 \cdot 10^{23} = 1,673 \cdot 10^{-24}$ г.

3. У большинства минералов кристаллическая решетка не относится к молекулярному типу и в них нет реальных молекул, а при расчетах приме-

гают к определению суммы атомных масс соединения в соответствии с его химической формулой; эту сумму правильнее называть формульной массой соединения.

Как известно, при образовании природных или искусственных веществ действуют химические законы: закон сохранения массы, установленный М. В. Ломоносовым и А. Л. Лавуазье; закон постоянства состава открытый Ж. Л. Прустом в 1799 и закон кратных отношений — Дальтоном в 1803 г. Изучение действия закона постоянства состава и закона кратных отношений позволило Д. Дальтону в 1805 г. сформулировать атомную теорию. Так, например, объяснить, почему в сульфиде железа 4 г S соединяются с 7 г Fe, можно, если предположить, что число атомов серы в 4 г серы равно числу атомов железа в 7 г железа. По закону сохранения массы масса сульфида железа будет равна $7+4=11$ г, а процентные содержания железа и серы в соединении — 63,64 Fe и 36,36 S.

Если процентные содержания железа и серы разделить на их атомные массы, мы найдем относительные количества атомов железа и серы, прореагировавшие между собой $Fe=1,139481$; $S=1,133911$.

Чтобы не иметь дробных чисел, полученные величины следует умножить на 1000, тогда относительное количество атомов равно Fe—1139, а S—1134. Некоторое расхождение в величине относительных количеств атомов, или, как принято говорить, атомных количеств, может быть объяснено наличием погрешностей при анализе. Отношение $Fe:S=1:1$. Зная это отношение, можно написать химическую формулу сульфида железа FeS.

Из примера ясно, что процентные содержания железа и серы не отражают какой-либо взаимосвязи, а их атомные количества дают лишь возможность установить величину атомных отношений и вывести химическую формулу соединения. Если делить процентные содержания окислов, образующих соединение, или процентные содержания минералов, входящих в состав горной породы, на их формульные массы, мы также будем получать их относительные количества. В этом случае частное от деления называют формульным количеством окисла или минерала для данного его процентного содержания.

Таким образом, атомные или формульные количества простых или сложных веществ представляют собой частное от деления их процентных содержаний на атомные или формульные массы, а для веществ молекулярного строения — на молекулярные массы. Очевидно, если для веществ, характеризующихся молекулярным строением, в соответствующих случаях применять термины «формульная масса» и «формульное количество», ошибки не будет, хотя в этих терминах есть различие.

Вычисление атомных или формульных количеств, как отмечалось, является одним из исходных положений при минерало-

гических, петрохимических и других расчетах. Такой расчет, если нет соответствующих таблиц (Авидон, 1968; 1970), довольно трудоемок и часто приводит к нежелательным ошибкам. Различного рода просчеты могут иметь место и при работе с таблицами, особенно тогда, когда приходится производить интерполяцию для дробных процентных содержаний компонентов.

Техника пересчета процентных содержаний элементов, окислов или минералов в атомные или формульные количества может быть значительно облегчена, если пересчеты производить при помощи вычисленных коэффициентов. Предлагаемый нами способ особенно удобен при массовых пересчетах, он не требует интерполяций при наличии дробных значений процентных содержаний компонентов и позволяет исследователю получать величины атомных и формульных количеств с точностью $n \cdot 10^{-6}$. Эта точность коэффициентов при пересчетах дает наиболее достоверные значения формульных и атомных количеств при округлении последней значащей цифры.

Коэффициенты (K) для пересчета процентных содержаний элементов, окислов и минералов в атомные и формульные количества представляют собой численные значения атомных и формульных количеств, соответствующие 100%-ному содержанию данного элемента, окисла или минерала. Следовательно, атомное или формульное количество для данного процентного содержания элемента или соединения будет равно соответствующей части этого коэффициента.

Например, требуется определить расчетный коэффициент для SiO_2 и формульное количество для 55,1% SiO_2 . Если формульная масса $\text{SiO}_2 = 60,09$, то формульное количество, соответствующее 100%-ному содержанию этого окисла, будет $100 : 60,09 = 1,664170$, а формульное количество для 55,1% SiO_2 равно

$$\begin{aligned} 100\% \text{ SiO}_2 &— 1,664170 \\ 55,1\% \text{ SiO}_2 &— x \\ x &= \frac{55,10 \times 1,664170}{100} = 0,916958 = 0,917. \end{aligned}$$

Умножим полученную величину для удобства на 1000. Тогда формульное количество для 55,1% $\text{SiO}_2 = 917$. Следовательно, для определения формульного количества данного процентного содержания какого-либо компонента необходимо процентное содержание этого компонента умножить на соответствующий коэффициент и отделить необходимое число знаков. Например, требуется определить формульное количество для 30,4% Al_2O_3 , если $K = 0,980777$ (см. с. 110). Получим: $30,4 \times 0,980777 = 0,298156 = 0,298 \times 1000 = 298$.

Требуется найти формульное количество, отвечающее 45,28% SiO_2 . Если формульное количество брать по таблице,

необходима интерполяция; работая же с вычислительной техникой, достаточно умножить данный процент на $K=1,664170$ и записать полученное значение с интересующей исследователя точностью: $45,28 \times 1,664170 = 0,753536 = 0,754 \times 1000 = 754$.

Определить атомное количество для $3,636\%$ Zn, если $K=1,529520$. Это будет $3,636 \times 1,529520 = 0,056613 = 0,056 \times 1000 = 56$.

Если при расчетах необходимо знать атомные количества катионов и анионов в окисле, поступают следующим образом. Для определения атомных количеств катионов формульное количество данного окисла умножают на число атомов катиона, а для определения атомного количества анионов — на число атомов аниона (чаще кислорода). Так, для SiO_2 , TiO_2 , MgO , CaO при определении атомного количества катионов множитель будет равен 1; для Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O — 2 и т. д. При определении атомного количества анионов (кислорода) для SiO_2 , TiO_2 множитель равен 2; MgO , CaO , Na_2O — 1 и для Al_2O_3 , Fe_2O_3 — 3.

Вычисление атомных количеств катионов в окисле можно также производить с помощью коэффициентов (см. с. 125). Для этого процентное содержание окисла умножают на соответствующий коэффициент. Например, требуется определить с помощью коэффициента атомное количество железа для $35,62\%$ Fe_2O_3 . В этом случае $K=1,252348$, а атомное количество катиона: $35,62 \times 1,252348 = 0,446086 = 0,446 \times 1000 = 446$.

Эту же величину атомного количества железа мы получим, если умножим вычисленное формульное количество Fe_2O_3 на 2. Так, формульное количество для $35,62\%$ Fe_2O_3 , определяемое с помощью коэффициента, равно: $35,62 \times 0,626174 = 0,223043$, тогда атомное количество железа будет: $0,223043 \times 2 = 0,446086 = 0,446 \times 1000 = 446$.

Отметим, что коэффициенты для определения атомных количеств анионов мы не высчитывали. При необходимости их можно рассчитать, как и любые другие коэффициенты для соединений, отсутствующих в настоящей работе.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ И ПРИМЕРЫ ПЕРЕСЧЕТА

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний химических элементов и их окислов, процентных содержаний минералов окисной и бескислородной форм в атомные и формульные количества, а также коэффициенты для вычисления числа атомов могут быть применены при расчетах различных химических формул природных и искусственных соединений; при петрохимических расчетах и литологических исследованиях (например, при определении минеральных типов глин и соотношений формульных количеств и формульных масс различных окислов); при геохимических исследованиях, связанных с определением привноса и выноса веществ в горных породах; для определения степени миграции элементов между зонами, образовавшимися на керамических изделиях и футеровках различных обжиговых печей в период длительного воздействия на них высоких температур; для определения степени огнеупорности глин и других целей.

Коэффициенты для вычисления формульных количеств кислородных и бескислородных соединений по их процентным содержаниям позволяют определять количественный химический состав минералов, горных пород, оптимальный химический состав керамических и цементных сырьевых смесей для получения изделий заданного минерального состава.

Геологу, занимающемуся оценкой качества минерального нерудного сырья, такие расчеты нужны, чтобы с помощью химических анализов и диаграмм фазового равновесия систем, которые рекомендуется брать из литературных источников (Эйтель, 1962 и др.), произвести соответствующие расчеты и получить представление о качественных особенностях разведанного сырья и его пригодности для производства керамических и других силикатных изделий. Геолог может также определить оптимальный химический состав сырьевой смеси, необходимый для получения силикатных изделий заданного минерального состава. Сравнивая расчетный состав с данными среднего химического состава изучаемого вида сырья по выработкам, блокам или по всему месторождению, можно сделать вывод о степени

их сходства или различия и решить, какие виды сырья и какого качества еще необходимы для получения оптимального химического состава шихты. При этом, естественно, предполагается, что при керамических испытаниях технологическая схема производства изделий будет разработана технологом.

Аналогичные расчеты может также производить и геолог, изучающий руды металлических полезных ископаемых. В частности, можно определить теоретический состав компонентов, входящих в состав тех или иных минералов. Имея данные о фактическом и теоретическом содержании минералов, можно ввести поправочные коэффициенты, с помощью которых, не прибегая к химическим анализам проб, произвести расчеты их количественных значений. Естественно, что степень достоверности коэффициентов должна быть подтверждена представительным количеством химических анализов.

Ниже даны некоторые примеры пересчетов химических анализов с помощью коэффициентов, применяемых в минералогии, литологии, петрохимии, геохимии, при геологоразведочных работах, производстве вяжущих веществ, а также керамическом и металлургическом производстве.

Примеры пересчетов, применяемых в минералогии

Расчет химических формул кислородных и бескислородных минералов

Рассчитаем химическую формулу кислородных минералов: периклаза, шпинели и микроклина, а также бескислородных — бурнонита.

Пример 1. Минерал содержит Mg — 60,32% и O — 39,68%. Химическая формула минерала рассчитывается следующим образом.

Из таблиц (см. с. 111) берем коэффициенты соответствующих элементов, которые равны: для Mg — 4,111842 и для O — 6,250000. Находим атомные количества элементов умножением их процентных содержаний на коэффициенты

$$\text{Mg} \rightarrow 60,32 \times 4,111842 = 2,480263 \times 1000 = 2480;$$

$$\text{O} \rightarrow 39,68 \times 6,250000 = 2,480000 \times 1000 = 2480.$$

Определяем соотношение компонентов для вывода химической формулы. В данном случае это соотношение равно 1 : 1 и, следовательно, химическая формула будет MgO. Она соответствует минералу периклазу.

Пример 2. Химическим анализом установлено процентное содержание элементов в минерале Mg — 17,09; Al — 37,93 и O — 44,98. Определим химическую формулу минерала.

Для этого сначала возьмем из таблицы (см. с. 111) значения

коэффициентов: Mg — 4,111842; Al — 3,706449 и O — 6,250000.
Затем определим атомные количества элементов

$$\text{Mg} \rightarrow 17,09 \times 4,111842 = 0,702714 \times 1000 = 703;$$

$$\text{Al} \rightarrow 37,93 \times 3,706449 = 1,405856 \times 1000 = 1406;$$

$$\text{O} \rightarrow 44,98 \times 6,250000 = 2,811250 \times 1000 = 2811$$

и отношения атомных количеств 1 : 2 : 4. Следовательно, химическая валовая формула может быть записана $\text{Mg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_4$, а в виде окислов — $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Как известно, эта формула соответствует магнезиальной шпинели.

Пример 3. Требуется определить формулу микроклина (в виде окислов) по химическому составу, приведенному в табл. 1.

Таблица 1

Окислы	Массовая концентрация, %	Коэффициенты для пересчета	Формульные количества ($\times 1000$)	Отношения
SiO_2	64,7	1,664170	1077	6
Al_2O_3	18,4	0,980777	180	1
K_2O	16,9	1,061571	179	1
	100,0			

Отношение окислов после некоторых округлений равно: 1 : 1 : 6, а формула микроклина будет иметь вид: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$.

Пример 4. Химический анализ минерала бурнонита приведен в табл. 2. Требуется определить его формулу.

По величинам коэффициентов атомных отношений (табл. 2) можно написать следующую формулу бурнонита: PbCuSbS_3 .

Таблица 2

Элементы	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация в %, приведенная к 100	Коэффициенты для пересчета	Атомные количества ($\times 1000$)	Отношения
Pb	42,75	42,89	0,482602	207	1
Cu	12,77	12,81	1,573812	202	1
Sb	24,76	24,84	0,821288	204	1
S	19,40	19,46	3,118568	607	3
Сумма . .	99,68	100,00			

Расчет состава минералов по химическим формулам

Расчет состава минералов по их химическим формулам будет дан для лавсонита, сассолина (борной кислоты) и нефелина. Каждый пример характеризуется своеобразным условием и

приемом расчета. Напомним, что расчетные коэффициенты элементов, окислов или минералов представляют собой соответствующие «количества», отвечающие их 100%-ному содержанию. Если коэффициент умножают на процент компонента, то получают атомные или формульные количества, а если умножают соответствующие коэффициенты на атомные или формульные массы, то определяют их массовую концентрацию в процентах. Эти положения можно проследить по приводимым ниже примерам.

Пример 1. Определить теоретический состав лавсонита, имеющего формулу $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Для этого минерала коэффициента пересчета в таблице нет.

Подсчитаем формульную массу лавсонита, как сумму формульных масс окислов, образующих его

$$\begin{aligned} \text{CaO} &\rightarrow 56,08 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 101,96 + 2\text{SiO}_2 \rightarrow 120,18 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 36,032 = \\ &= 314,252. \end{aligned}$$

Затем вычислим расчетный коэффициент минерала, который будет равен $100 : 314,252 = 0,318216$. Умножением формульных масс окислов на расчетный коэффициент определим процентные содержания окислов, входящих в состав минерала. Правильность расчета проверим, сложив полученные значения процентов. Сумма должна быть равна 100%.

$$\begin{aligned} \text{CaO} &\rightarrow 56,08 \times 0,318216 = 17,85\% \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &\rightarrow 101,96 \times 0,318216 = 32,45\% \\ 2\text{SiO}_2 &\rightarrow 120,18 \times 0,318216 = 38,24\% \\ 2\text{H}_2\text{O} &\rightarrow 36,032 \times 0,318216 = 11,47\% \\ &\hline &100,01\% \end{aligned}$$

Расхождение на 0,01% связано с округлением при определении формульных масс окислов и расчетного коэффициента*.

Пример 2. Химическая формула сассолина (борной кислоты) $\text{B}[\text{OH}]_3$. Определить процентные содержания входящих в него компонентов (В, О, Н).

Подсчитаем формульную массу минерала:

$$\text{B} \rightarrow 10,82 + 3(\text{O} \rightarrow 16 + \text{H} \rightarrow 1,008) = 10,82 + 48 + 3,024 = 61,844.$$

Вычислим расчетный коэффициент: $100 : 61,844 = 1,616972$.

Определим процентные содержания элементов умножением атомной массы элемента на коэффициент:

$$\text{B} \rightarrow 10,82 \times 1,616972 = 17,50\%;$$

$$\text{O} \rightarrow (16 \times 3) \times 1,616972 = 48 \times 1,616972 = 77,61\%;$$

$$\text{H} \rightarrow (1,008 \times 3) \times 1,616972 = 3,024 \times 1,616972 = 4,89\%.$$

* Далее в тексте причины аналогичных расхождений указываться не будет.

Проверим правильность расчета суммированием полученных результатов: $17,50\% + 77,61\% + 4,89\% = 100\%$.

Пример 3. Из формулы нефелина $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ясно, что окислы относятся, как 1:1:2. Выведем эти отношения, используя коэффициент минерала, который равен 0,351961 (см. с. 118).

Определим процентные содержания окислов, образующих минерал, умножая формульные массы окислов на коэффициент. Формульные массы окислов следует брать из таблиц (см. с. 110):

$$\text{Na}_2\text{O} \rightarrow 61,98 \times 0,351961 = 21,81\%;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 101,96 \times 0,351961 = 35,89\%;$$

$$2\text{SiO}_2 \rightarrow 60,09 \times 2 = 120,18 \times 0,351961 = 42,30\%.$$

Проверим правильность расчета суммированием полученных процентных содержаний окислов $21,81\% + 35,89\% + 42,30\% = 100\%$.

Определим формульные количества окислов. Для этого умножим процентные содержания на соответствующий коэффициент окисла (см. с. 110)

$$\text{Na}_2\text{O} \rightarrow 21,81 \times 1,613372 = 0,351876 \times 1000 = 352;$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 35,89 \times 0,980777 = 0,352001 \times 1000 = 352;$$

$$\text{SiO}_2 \rightarrow 42,30 \times 1,664170 = 0,703944 \times 1000 = 704.$$

Отношения формульных количеств окислов, образующих минерал 1:1:2.

При расчете были установлены и процентные содержания окислов, образующих нефелин. Если обратить внимание на полученные значения формульных количеств окислов 0,352 и 0,704, то ясно, что расчетный коэффициент при определении процентных содержаний окислов является одновременно и единицей расчета. Аналогично можно определить и химический состав бескислородных соединений. Такие расчеты будут даны в других разделах настоящей работы.

Примеры пересчетов, применяемых в литологии

Различные методы литологического анализа и в том числе химический анализ применяются при решении различных литологических проблем, в частности при расшифровке условий образования и выяснении закономерностей изменения состава осадочных пород в пространстве, при расчленении и сопоставлении толщ, при изучении кор выветривания, выявлении закономерностей распределения полезных ископаемых.

Результаты химического анализа можно использовать для расчета химических формул литологических разновидностей толщ или отдельных их частей по методу Т. Барта и структурных формул глинистых минералов; для определения величин

соотношений формульных количеств окислов или атомных количеств элементов и т. д. С подобными расчетами можно ознакомиться в работах С. Д. Четверикова (1956), И. Д. Борнеман-Старынкевич (1964) или в работе В. П. Авидона (1968) и др.

Расчет химического состава коры выветривания по данным минерального состава

Пример. Определить химический состав коры выветривания на диоритах, исходя из ее минерального состава: гидромусковит 45%, каолинит 25%, пеннин 5%, кальцит 10%, кварц 10%, микроклин 5%. Все расчетные данные приведены в табл. 3, которая заполняется снизу вверх и справа налево*.

Из таблиц коэффициентов для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества (см. с. 115) берем соответствующие коэффициенты и записываем в табл. 3. Затем умножением процентного содержания минерала на его коэффициент находим формульные количества минералов, соответствующие их массовой концентрации в процентах. Полученные значения формульных количеств являются единицами расчета (см. табл. 3). Так, для кальцита единицей расчета будет: $10 \times 0,999091 = 0,999091 \times 1000 = 100$.

Как видно из формулы кальцита ($\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$), на его образование необходимо формульное количество $\text{CaO} = 100$ и формульное количество $\text{CO}_2 = 100$. Эти значения записывают в графу «Кальцит» в строки CaO и CO_2 .

Аналогично находим формульные количества окислов, образующих тот или иной минерал. Из табл. 3 видно, что если в формуле минерала перед окислом нет численного коэффициента, то формульное количество является единицей расчета, если же у окисла есть коэффициент, то формульное количество, отвечающее единице расчета, умножают на этот коэффициент. Так, для микроклина формульные количества $\text{K}_2\text{O} = 9$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9$, а для $6\text{SiO}_2 = 6 \times 9 = 54$.

Найденные формульные количества суммируем по вертикальным графам и горизонтальным строкам. Соответствующие суммы записываем опять же в табл. 3. При проверке расчет считается правильным, если сумма формульных количеств всех окислов равна сумме формульных количеств минералов. В данном примере сумма равна 1765.

Теперь находим процентные содержания каждого окисла. Они могут быть взяты из работы В. П. Авидона (1968) или найдены умножением формульного количества окисла на его формульную массу. Формульные массы окислов можно взять из соответствующей графы таблиц коэффициентов (см. с. 110). Так, для SiO_2 при величине формульного количества 792 и фор-

* В дальнейшем аналогичные таблицы будут заполняться так же.

Таблица 3

Окислы	Массовая концентрация в % в пересчете на 100	Массовая концентрация, %	Сумма формульных количеств ($\times 1000$)	Гидромусковит $0,5K_2O \cdot H_2O \times 3Al_2O_3 \times 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \times 2H_2O$	Пеннин $3MgO \cdot 2FeO \times Al_2O_3 \times 3SiO_2 \cdot 4H_2O$	Кальцит $CaO \cdot CO_2$	Кварц SiO_2	Микроклин $K_2O \cdot Al_2O_3 \times 6SiO_2$
SiO ₂	47,41	47,59	792	354	194	24	—	166	54
Al ₂ O ₃	29,56	29,67	291	177	97	8	—	—	9
MgO	0,97	0,97	24	—	—	24	—	—	—
CaO	5,59	5,61	100	—	—	—	100	—	—
CO ₂	4,38	4,40	100	—	—	—	100	—	—
FeO	1,15	1,15	16	—	—	16	—	—	—
K ₂ O	3,66	3,67	39	30	—	—	—	—	9
H ₂ O	1,12	1,12	59	59	—	—	—	—	—
H ₂ O	6,18	6,20	344	118	194	32	—	—	—
Сумма	100,02	100,38	1765	738	485	104	200	166	72
Единица расчета				59	97	8	100	166	9
Коэффициент для пересчета				0,130111	0,387339	0,161563	0,999091	1,664170	0,179630
Минеральный состав, %			100	45	25	5	10	10	5

мальной массе 60,09 процентное содержание $\text{SiO}_2 = 0,792 \times 60,09 = 47,59\%$; для оксония (гидроксония) $\text{H}_2\text{O} = 0,059 \times 19,024 (3 \times 1,008 + 16) = 1,12\%$ и т. д. Сумма процентных содержаний окислов составляет 100,38%, а пересчитанная на 100% дает 100,02%.

Отметим, что для пересчета химического состава на сумму 100% содержание каждого окисла умножаем на 100 и делим на сумму содержаний окислов, входящих в расчет. Так, пересчитанное содержание для

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{29,67 \times 100}{100,38} = 29,56\%.$$

Привести химический состав к 100% можно также с помощью коэффициента, который в данном случае равен $100 : 100,38 = 0,996214$. Для Al_2O_3 массовая концентрация, приведенная с помощью коэффициента к 100%, будет составлять: $29,67 \times 0,996214 = 29,56\%$.

Таков один из возможных вариантов применения пересчетных коэффициентов минералов в литологии.

Примеры пересчетов, применяемых в петрохимии

Одна из важнейших задач петрохимических методов пересчета — выяснение закономерных соотношений породообразующих окислов в магматических породах или выяснение закономерностей перемещения вещества при формировании метаморфических, метасоматически измененных пород или при рудообразовании. В этих случаях петрохимические пересчеты сливаются с геохимическими, так как геохимия дает методы для выяснения особенностей миграции вещества в природе, в том числе и между контактирующими друг с другом геологическими образованиями.

При изучении горных пород большей частью их химические анализы пересчитывают на минералы или другие цифровые параметры. При этом начальной стадией пересчета является нахождение формульных или атомных количеств, соответствующих процентным содержаниям окислов или элементов породе. Вычисление формульных или атомных количеств, как уже было показано, удобно производить с помощью коэффициентов.

С различными методами петрохимических пересчетов можно ознакомиться в трудах А. Н. Заварицкого (1960) и С. Д. Четверикова (1956). Здесь же приведен один из методов петрохимических пересчетов — расчет химического состава горных пород по данным минерального состава. Следует напомнить, что количественный минеральный состав горных пород, определенный под микроскопом, дается в объемных процентах, поэтому его необходимо пересчитать на массовую концентрацию в процентах. Для этого объемный процент каждого минерала

умножают на его плотность; полученные относительные массовые количества пересчитывают в массовую концентрацию в процентах. Техника такого пересчета будет показана ниже. Здесь же отметим, что плотности главных минералов изверженных пород можно брать по таблицам П. Н. Чирвинского (1953 г.), помещенным в настоящей работе.

Определение химического состава гранитоида по данным минерального состава

Пример. Определить химический состав гранитоида с помощью коэффициентов по его минеральному составу, установленному микроскопическими исследованиями (в об. %): плагиоклаз (альбит) — 46,9; кварц — 28; роговая обманка — 14,1; биотит — 11.

Для этого прежде всего объемные проценты пересчитывают в массовую концентрацию в процентах (табл. 4), умножая

Таблица 4

Минералы	Объемные, %	Плотность	Относительные массы минералов	Массовая концентрация, %
Плагиоклаз	46,9	2,68	125,69	45,17
Кварц	28,0	2,65	74,20	26,66
Роговая обманка	14,1	3,25	45,82	16,47
Биотит (флогопит)	11,0	2,96	32,56	11,70
Сумма	100,0		278,27	100,00

объемные проценты на значения плотности минералов. Полученные относительные массы минералов также пересчитывают в массовую концентрацию в процентах. Пересчет можно произвести при помощи коэффициента $K = 100 : 278,27 = 0,359363$.

Массовые концентрации в процентах определяем умножением относительной массы минерала на коэффициент. Так, процентное содержание плагиоклаза будет равно $125,69 \times 0,359363 = 45,17\%$. Аналогично определяем процентное содержание и для других минералов. Полученные данные записываем в табл. 5 (графа «Минеральный состав»).

Из таблиц (см. с. 115) коэффициентов для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества берем соответствующие коэффициенты и заносим их также в табл. 5. Теперь умножением процентного содержания минерала на его коэффициент находим формульные количества минералов, соответствующие их массовой концентрации в процентах. Так как полученные значения формульных количеств

являются единицами расчета, их записывают в соответствующую строку табл. 5. По формульному количеству минерала определяем формульные количества окислов, образующих минерал. Найденные формульные количества суммируем по вертикали и горизонтали и записываем в табл. 5.

Таблица 5

Окислы	Массовая концентрация в % в пересчете на 100	Массовая концентрация, %	Сумма формульных количеств ($\times 1000$)	Плагиоклаз (альбит) $\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$	Роговая обманка (антофиллит) $7\text{MgO} \times 8\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$	Биотит (флогопит) $\text{K}_2\text{O} \times 6\text{MgO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Кварц SiO_2
SiO_2	72,92	72,83	1212	516	168	84	444
Al_2O_3	10,21	10,20	100	86	—	14	—
MgO	9,32	9,31	231	—	147	84	—
Na_2O	5,34	5,33	86	86	—	—	—
K_2O	1,32	1,32	14	—	—	14	—
H_2O	0,88	0,88	49	—	21	28	—
Сумма	99,99	99,87	1692	688	336	224	444
Единица расчета ($\times 1000$)				86	21	14	444
Коэффициент для пересчета				0,190664	0,128045	0,119810	1,664170
Минеральный состав, %			100	45,17	16,47	11,70	26,66

Проверим расчет. Для этого суммируем формульные количества всех окислов, и эта сумма должна быть равна сумме формульных количеств минералов (см. табл. 5). Затем определяем процентные содержания каждого окисла, которые могут быть найдены по таблицам или умножением формульного количества окисла на его формульную массу. Формульные массы окислов, как уже отмечалось, можно взять из соответствующей графы таблиц коэффициентов. Сумма найденных массовых концентраций в процентах окислов должна быть равна 100%. Если она меньше или больше, то ее можно привести к 100%.

Находим коэффициент для приведения суммы окислов к 100%: $K = 100 : 99,87 = 1,001302$. Умножением данного процента на коэффициент определяем приведенную массовую концентрацию в процентах окислов. Так, для SiO_2 приведенный процент



будет равен $72,83 \times 1,001302 = 72,92$. Аналогично вычисляем остальные окислы.

Следует отметить, что если среди расчетных коэффициентов минералов необходимого соединения нет или если теоретический состав минерала исследователя не удовлетворяет, то нужную формулу минерала и расчетный коэффициент выводят самостоятельно.

Примеры пересчетов, применяемых в геохимии

Примеры, приводимые ниже, поясняют ход пересчета химических анализов измененных горных пород с целью вывода их химических формул и количественного привноса и выноса веществ.

Пример. По данным химических анализов свежего базальта, корки выветривания (5 мм), прилегающей к базальту, и бокситовой зоны коры выветривания* (рис. 1) вывести химические формулы пород, определить величины привноса и выноса элементов, составить диаграмму изменения состава базальта при выветривании. Исходные данные приведены в табл. 6.

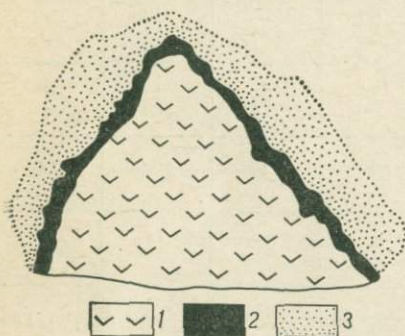


Рис. 1. Базальтовый валун с бокситовой оторочкой

1 — свежий базальт; 2 — корка выветривания (5 мм), прилегающая к базальту; 3 — бокситовая зона (по В. П. Петрову)

Процентные содержания окислов с помощью коэффициента приводим к 100%. Для этого массовую концентрацию в процентах окисла умножаем на коэффициент, который для свежего базальта равен $100 : 99,93 = 1,000700$; для корки выветривания — $100 : 99,96 = 1,000400$; для бокситовой зоны — $100 : 100,18 = 0,998203$.

Из таблицы коэффициентов для вычисления атомных количеств и числа атомов химических элементов (см. с. 126) берем соответствующие значения R_0 и записываем их в табл. 6.

Вычисляем коэффициенты для расчета числа атомов в окислах при значении плотности пород 3,07; 2,8; 2,4 умножением R_0 на соответствующую плотность. Так, для Al_2O_3 $R_0 = 118,152244$, а коэффициенты для расчета числа атомов катионов будут при плотности 3,07 — 362,727389; 2,8 — 330,826283; 2,4 — 283,565386. Аналогично находим коэффициенты для каждого окисла и записываем их в табл. 6.

Теперь с помощью коэффициентов определяем число атомов (N) катионов в $10\,000 \text{ \AA}^3$ породы. Для этого процентное содер-

* Химические анализы взяты из работы В. П. Петрова (1967).

Таблица 6

Окислы	Свежий базальт		Корка выветривания, прилегающая к базальту (5 мм)		Бокситовая зона коры выветривания		Коэффициенты для расчета числа атомов (N) в 10 000 Å³ породы при плотности:	
	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	1	3,07
	1		2		3		1	
SiO ₂	50,55	50,59	20,13	20,14	4,12	4,11	100,239616	307,735621
TiO ₂	1,64	1,64	4,12	4,12	2,03	2,03	75,386706	231,437187
Al ₂ O ₃	15,26	15,27	25,00	25,01	47,39	47,30	118,152244	362,727389
Fe ₂ O ₃	4,54	4,54	25,69	25,70	16,70	16,67	75,433929	231,582162
FeO	6,22	6,23	3,02	3,02	1,61	1,61	83,832958	257,367181
MgO	5,80	5,80	1,60	1,60	1,49	1,49	149,389897	458,626984
CaO	7,14	7,15	Не определялось	—	0,32	0,32	107,407281	329,740353
Na ₂ O	2,75	2,75	0,71	0,71	0,3	0,3	194,359698	596,684273
K ₂ O	3,05	3,05	0,25	0,25	0,07	0,07	127,885335	392,607978
H ₂ O+	0,87	0,87	13,81	13,82	24,86	24,82	668,672331	2052,824056
H ₂ O-	2,11	2,11	5,63	5,63	1,29	1,29	668,672331	2052,824056
Сумма	99,93	100,00	99,96	100,00	100,18	100,01		

Окислы	Коэффициенты для расчета числа атомов (N) в $10\,000\text{ \AA}^3$ породы при плотности:		Число атомов (N) в $10\,000\text{ \AA}^3$ породы					
	2, 8	2, 4	катионов			кислорода		
	2	3	1	2	3	1	2	3
SiO ₂	280,670925	240,575078	155,68	56,53	9,89	311,36	113,06	19,78
TiO ₂	211,082777	180,928094	3,80	8,70	3,67	7,60	17,40	7,34
Al ₂ O ₃	330,826283	283,565386	55,39	82,74	134,13	83,08	124,11	201,20
Fe ₂ O ₃	211,215001	181,041430	10,51	54,28	30,18	15,76	81,42	45,27
FeO	234,732282	201,199099	16,03	7,09	3,24	16,03	7,09	3,24
MgO	418,291712	358,535753	26,60	6,69	5,34	26,60	6,69	5,34
CaO	300,740387	257,777474	23,58	—	0,82	23,58	—	0,82
Na ₂ O	544,207154	466,463275	16,41	3,86	1,40	8,20	1,93	0,70
K ₂ O	358,078938	306,924804	11,97	0,90	0,21	5,98	0,45	0,10
H ₂ O+	1872,282527	1604,813594	17,86	258,75	398,31	8,93	129,37	199,15
H ₂ O-	1872,282527	1604,813594	43,31	105,41	20,70	21,65	52,70	10,35
Сумма			381,14	584,95	607,89	528,77	534,22	493,29

Примечание. В этой таблице 1, 2 и 3—номера образцов.

жание окисла умножаем на соответствующий коэффициент. Например, для Al_2O_3 свежего базальта эта величина будет равна

$$15,27\% \times 362,727389 = 55,39 \text{ атома Al.}$$

Вычисляем число атомов (N) кислорода умножением числа атомов катиона на количество кислорода в формуле окисла, приходящееся на 1 атом катиона. Так, число атомов кремния, титана умножаем на 2, потому что по формуле их окислов на каждый атом кремния и титана приходится два атома кислорода. Число атомов алюминия и трехвалентного железа умножаем на 1,5. Число атомов двухвалентных элементов (Fe^{+2} , Mg, Ca и др.) умножаем на 1. Для щелочных элементов (Na, K и др.) принимаем множитель 0,5.

При определении количества атомов (ионов) кислорода, связанного с водородом, считают, что весь водород связан в гидроксильные группы или что в минералах имеются сформированные молекулы воды. В первом случае количество кислорода, связанного с водородом, будет равно полному количеству атомов водорода, а во втором — половинному. В большинстве случаев применяют первый вариант, так как почти во всех минералах горных пород водород входит в гидроксильные группы и реже в кристаллизационную воду (цеолиты, гипс и некоторые другие сульфаты). При составлении формул пород гидроксильные группы причисляют к ионам кислорода. Этот прием допустим, так как считается, что гидроксильная группа в кристаллической решетке минерала занимает тот же объем, что и один ион кислорода. Допускается также в формулах пород ионы водо-

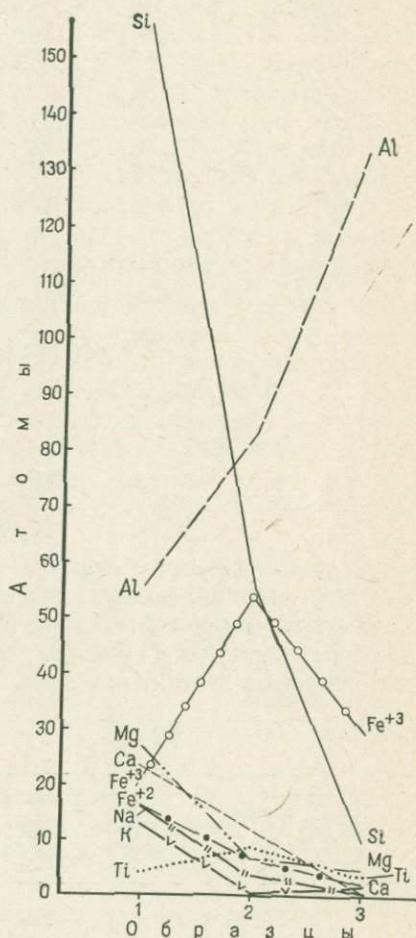


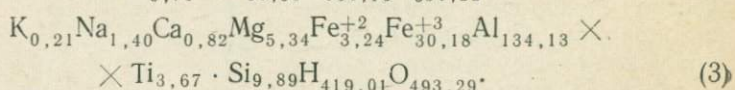
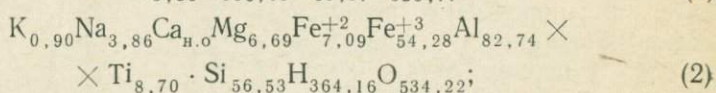
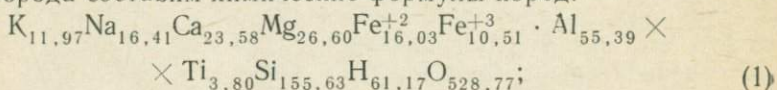
Рис. 2. Диаграмма изменения состава базальта при выветривании:

1 — свежий базальт; 2 — корка выветривания (5 мм), прилегающая к базальту; 3 — бокситовая зона коры выветривания

рода включать в общий ряд ионов (атомов). В этом случае ставят у кислорода суммарный коэффициент, полученный при расчетах. Если расчеты ведутся по методу Т. Барта, то в аналогичных случаях у кислорода ставят коэффициент 1600, который указывает на число ионов кислорода в стандартной ячейке. При других вариантах расчета по методу Т. Барта сумма коэффициентов при ОН и кислороде должна быть равна 1600 — их атомы заключают в квадратные и круглые скобки $[O_{1552}(OH)_{48}]_{1600}$.

В рассматриваемом примере принимается, что минералы, образующие породы, особенно породы образцов 2 и 3 (см. табл. 6), имеют сформированные молекулы воды; поэтому при расчете числа атомов кислорода, связанного с водородом, взят множитель 0,5 и в формулах пород ион водорода вынесен в общий ряд элементов. Коэффициенты при водороде суммарные. Они получены при соответствующих пересчетах процентных содержаний H_2O^+ и H_2O^- .

Определим по соответствующим графам сумму катионов и анионов (кислорода). По найденному числу атомов катионов и кислорода составим химические формулы пород:



Сравнив формулу свежего базальта с формулами измененных его зон, определим по разности чисел атомов элементов количество вынесенных или привнесенных веществ. В нашем примере формулы (1) и (3) дают следующие значения миграции основных катионов:

Вынос		Принос
K — 11,76 атома	Mg — 21,26 атома	Fe ⁺³ — 19,57 атома
Na — 15,01 »	Fe ⁺² — 12,79 »	Al — 78,74 »
Ca — 22,76 »	Si — 145,78 »	Ti — 0,13 »
Всего	— 229,36 атома	Всего +98,44 атома

Из приведенного расчета видно, что при выветривании базальта преобладает вынос вещества и происходит концентрация алюминия, трехвалентного железа и в небольшом количестве титана.

Составляем диаграмму изменения состава базальта при выветривании (рис. 2). Диаграмма с достаточной четкостью отражает направление миграции элементов.

Определение процентного содержания катионов в окислах и миграции элементов в зонах лунного реголита

В настоящее время в практике геологоразведочных работ широко применяются геофизические методы определения химического состава руд и горных пород. Результаты таких исследований дают в процентных содержаниях отдельных элементов, которые часто пересчитывают в окислы. Такие пересчеты легко провести с помощью коэффициентов.

Пример 1. Состав лунных пород, который определялся методом α -активации на аппаратах «Сервейор-5», «Сервейор-6», «Сервейор-7» (в пересчете на окислы), приведен в табл. 7. Вычислить процентные содержания катионов, положенных в основу расчета, и количество кислорода, необходимое для образования каждого окисла.

Для этого из соответствующей таблицы (см. с. 110) берем коэффициенты для пересчета процентных содержаний окислов в формульные количества и записываем в табл. 7. Далее определяем единицы расчета умножением процентных содержаний окислов на коэффициенты. Находим процентное содержание катионов, умножая единицы расчета на атомную массу определяемого катиона. Например, для анализов алюминия на аппарате «Сервейор-5» будем иметь: $0,141231 \times (26,98 \times 2) = 7,62\%$, а кислород $0,141231 \times (16 \times 3) = 6,78\%$.

Проверим расчет: $7,62 + 6,78 = 14,4 \text{ Al}_2\text{O}_3$. Следовательно, вычисления произведены правильно.

Пример 2. Химический состав горных пород Луны, доставленных на Землю «Луной-16» из Моря Изобилия, приведен в табл. 8 в порядке стратифицированного разреза: базальт →

Таблица 7

Окислы	Сервейор-5	Сервейор-6	Сервейор-7	Коэффициенты для пересчета	Единицы расчета	
	1	2	3		1	2
SiO ₂	46,4	52,5	49	1,664170	0,772175	0,873689
Al ₂ O ₃	14,4	13	18,5	0,980777	0,141231	0,127500
MgO	4,4	5	7,5	2,480159	0,109127	0,124008
FeO	12,1	14,5	6,5	1,391788	0,168406	0,201809
CaO	14,5	12,5	14,0	1,783167	0,258559	0,222896
K ₂ O	0,5	0,5	1,0	1,061571	0,005308	0,005308
Na ₂ O	0,6	2	3,5	1,613372	0,009680	0,032267
TiO ₂	7,6	—	—	1,251564	0,095119	—
Сумма	100,5	100,0	100,0			

Окислы	Единицы расчета	Содержания катионов, %			Содержания кислорода, %		
		1	2	3	1	2	3
SiO ₂	0,815443	21,69	24,54	22,91	24,71	27,96	26,09
Al ₂ O ₃	0,181443	7,62	6,88	9,79	6,78	6,12	8,71
MgO	0,186012	2,65	3,02	4,52	1,75	1,98	2,98
FeO	0,090466	9,41	11,27	5,05	2,69	3,23	1,45
CaO	0,249643	10,36	8,93	10,01	4,14	3,57	3,99
K ₂ O	0,010616	0,42	0,42	0,83	0,08	0,08	0,17
Na ₂ O	0,056468	0,45	1,48	2,60	0,15	0,52	0,90
TiO ₂	—	4,56	—	—	3,04	—	—
Сумма		57,16	56,54	55,71	43,34	43,46	44,29

Примечание. В этой таблице 1, 2 и 3—номера анализов.

→зоны реголита Г, В, Б. А. Требуется определить привнос и вынос катионов в зонах реголита.

Результаты химического анализа пород приводим к 100% (см. табл. 8). Определяем коэффициенты для расчета числа атомов (N) в $10\,000\text{ \AA}^3$ породы при плотности 3,07; 1,2; 1,17. Для этого коэффициент при плотности I умножим на соответствующую плотность породы (табл. 9). Затем вычислим число атомов (N) в $10\,000\text{ \AA}^3$ породы. Для этого процентное содержание окислов умножим на соответствующий коэффициент при данной плотности горной породы.

Разновидность пород	I	II	III	IV	V
Плотность породы, г/см ³	3,07	1,2	1,2	1,17	1,17
Коэффициент для приведения к 100%	0,996810	1,009795	0,999171	1,006441	1,006694

Находим привнос и вынос катионов в разновидностях пород I и II; II и III; III и IV; IV и V, а также I и V (см. табл. 8). Результаты вычислений показывают, что общее направление миграции в породах I и II, I и V характеризуется выносом, а в зонах реголита II и III; III и IV; IV и V—как слабо пульсирующая. Здесь имеет место в небольших количествах как привнос, так и вынос катионов. Миграция катионов (см. табл. 8) идет по схеме: для Si, Sr, Zr—вынос→привнос→вынос→привнос→вынос; для Ti, Ca, K, S—вынос→вынос→привнос→вынос→вынос; для Al, Mg—вынос→привнос→вынос→вынос→вынос; для Fe⁺², Mn—вынос→вынос→вынос→привнос→вынос. Анализируя табл. 8, можно сделать вывод о своеобразии динамики лунного «выветривания»: материнская порода—

Таблица 8

Химический состав горных пород						Массовая концентрация, приведенная к 100%				
Окислы	Базальтовая порода	Зоны реголита				I	II	III	IV	V
		Г	В	Б	А					
	I	II	III	IV	V					
SiO ₂	43,8	41,3	42,5	41,2	41,7	43,660	41,705	42,465	41,465	41,979
TiO ₂	4,9	3,42	3,30	3,46	3,39	4,884	3,453	3,297	3,482	3,413
Al ₂ O ₃	13,65	15,15	15,45	15,40	15,32	13,606	15,298	15,437	15,499	15,423
FeO	19,35	16,90	16,30	16,55	16,80	19,288	17,066	16,286	16,657	16,912
MgO	7,05	8,60	8,96	8,82	8,73	7,028	8,684	8,953	8,877	8,788
CaO	10,40	12,55	12,42	12,80	12,20	10,367	12,673	12,410	12,882	12,282
Na ₂ O	0,33	0,28	0,36	0,36	0,37	0,329	0,283	0,360	0,362	0,372
K ₂ O	0,15	0,10	0,10	0,12	0,10	0,150	0,101	0,100	0,121	0,101
MnO	0,20	0,22	0,20	0,20	0,21	0,199	0,222	0,200	0,201	0,211
Cr ₂ O ₃	0,28	0,26	0,30	0,25	0,31	0,279	0,263	0,300	0,252	0,312
ZrO ₂	0,04	—	0,013	—	0,015	0,040	—	0,013	—	0,015
S	0,17	0,25	0,18	0,20	0,19	0,169	0,252	0,180	0,201	0,191
Сумма	100,32	99,03	100,083	99,36	99,335	99,999	100,000	100,001	99,999	99,999

Химический состав горных пород	Число атомов (N) в 10 000 А ³ породы					Привнос (+) и вынос (-) катионов				
	I	II	III	IV	V	I и II	II и III	III и IV	IV и V	I и V
SiO ₂	134,357	50,166	51,080	48,630	49,233	-84,191	+0,914	-2,450	+0,603	-85,124
TiO ₂	11,303	3,124	2,983	3,071	3,010	-8,179	-0,141	+0,088	-0,061	-8,293
Al ₂ O ₃	49,353	21,690	21,887	21,426	21,320	-27,663	+0,197	-0,461	-0,106	-28,033
FeO	49,641	17,168	16,384	16,338	16,588	-32,473	-0,784	-0,046	+0,250	-33,053
MgO	32,232	15,568	16,050	15,516	15,360	-16,664	+0,482	-0,534	-0,156	-16,872
CaO	34,184	16,334	15,995	16,188	15,434	-17,850	-0,339	+0,193	-0,754	-18,750
Na ₂ O	1,963	0,660	0,840	0,823	0,846	-1,303	+0,180	-0,017	+0,023	-1,117
K ₂ O	0,589	0,155	0,153	0,181	0,151	-0,434	-0,002	+0,028	-0,030	-0,438
MnO	0,519	0,226	0,204	0,200	0,210	-0,293	-0,022	-0,004	+0,010	-0,309
Cr ₂ O ₃	0,679	0,250	0,285	0,234	0,289	-0,429	+0,035	-0,051	+0,055	-0,390
ZrO ₂	0,060	—	0,008	—	0,009	-0,060	+0,008	-0,008	+0,009	-0,051
S	0,975	0,568	0,406	0,442	0,420	-0,407	-0,162	+0,036	-0,022	-0,555
Сумма	315,855	125,909	126,275	123,049	122,870	-189,946	-1,450 +1,816	-3,571 +0,345	-1,129 +0,950	-192,985

Оксиды	Коэффициенты для расчета числа атомов (N) в 10 000 Å ³ породы при плотности			
	1	3.07	1.2	1.17
SiO ₂	100,239616	307,735621	120,287539	117,280351
TiO ₂	75,386706	231,437187	90,464047	88,202446
Al ₂ O ₃	118,152244	362,727389	141,782693	138,238125
FeO	83,832958	257,367181	100,599550	98,084561
MgO	149,389897	458,626984	179,267876	174,786179
CaO	107,407281	329,740353	128,888737	125,666519
Na ₂ O	194,359698	596,684273	233,231638	227,400847
K ₂ O	127,885335	392,607978	153,462402	149,625842
MnO	84,908376	260,668714	101,890051	99,342800
Cr ₂ O ₃	79,244814	243,281579	95,093777	92,716432
ZrO ₂	48,883324	150,071805	58,659989	57,193489
S	187,843825	576,680543	225,412590	219,777275

базальт — характеризуется выносом всех катионов; в зонах реголита происходит как привнос, так и вынос. Общее направление этого процесса — базальт (I) → зона А (V) — характеризуется выносом 193 катионов.

Примеры пересчетов, применяемых при геологоразведочных работах

Здесь даны способы пересчета по коэффициентам процентных содержаний киновари и других минералов на металл и определение минерального типа глин по их валовому химическому составу. Читателю рекомендуется также ознакомиться с некоторыми пересчетами, помещенными в работе В. П. Авидона (1970).

Пересчет процентных содержаний киновари на металл

При поисковых и геологоразведочных работах на металл геолог всегда располагает данными количественно-минералогических, химических и металлометрических анализов, которые служат основой при составлении шлиховых, металлометрических и других специализированных карт. На шлиховых картах условными знаками показывают содержание минералов, а на металлометрических — металлов. Как известно, эти карты между собой не сопоставимы, но если процентное содержание данного минерала в пробе пересчитать с помощью соответствующего коэффициента в формульное количество, а затем умножить найденное количество на атомную массу металла, то найдем его теоретическое содержание в пробе.

Пример 1. Минералогическим анализом установлено, что в тяжелой фракции шлиховой пробы содержится 2,125% кино-

Анализируя табл. 8, можно сделать вывод о своеобразии динамики лунного «выветривания»: материнская порода —

вари. Требуется определить теоретическое содержание металла в пробе.

По таблице (см. с. 121) находим коэффициент для пересчета процентных содержаний киновари в формульные количества $K=0,429782$. Определяем формульное количество (единицу расчета) минерала, отвечающее 2,125% киновари: $2,125 \times 0,429782 = 0,009133$. Затем находим процентное содержание металла умножением формульного количества на атомную массу ртути, равную 200,61: $0,009133 \times 200,61 = 1,83217113 = 1,832\%$.

Пример 2. Масса тяжелой фракции шлиха после промывки 20 кг породы составила 2000 г, а масса киновари в шлихе — 500 мг. Определить процентное содержание ртути и серы.

Определяем процентное содержание киновари в тяжелой фракции шлиха:

$$\begin{array}{l} 2000 \text{ г} - 100\% \\ 0,5 \text{ г} - x \end{array} \quad x = 0,025\% \text{ киновари.}$$

Пересчитаем процентное содержание минерала в формульное количество: $0,025\% \times 0,429782 = 0,000107$. Теперь найдем процентное содержание ртути и серы. Для этого умножим формульное количество минерала на атомную массу ртути и серы:

$$0,000107 \times 200,61 = 0,02146527 = 0,0215\% \text{ Hg};$$

$$0,000107 \times 32,066 = 0,003431062 = 0,0034\% \text{ S.}$$

При решении аналогичных задач следует учитывать, что состав природной киновари, как указывает А. А. Сауков и Н. А. Озерова (1965), несколько отличается от теоретического (86,21% Hg; 13,79% S). Так, в киновари Никитовского месторождения содержание ртути изменяется в пределах 82,28—85,57% и серы — 13,94—14,01%. Следовательно, зная теоретическое содержание ртути и серы в киновари и их среднее фактическое содержание для некоторого числа проб изучаемого месторождения, можно найти поправочный коэффициент и произвести соответствующий пересчет для проб, не подвергавшихся анализу. Например, для киновари Никитовского месторождения при содержании ртути 82,28% поправочный коэффициент будет равен $82,28 : 86,21 = 0,954$, а фактическое содержание металла в пробе при теоретическом его содержании 0,0215% составит: $0,0215 \times 0,954 = 0,0205110 = 0,0205\%$.

Заметим, что при значительном числе проб технику пересчета процентных содержаний минерала на металл можно упростить. Для этого в соответствующий пересчетный коэффициент следует ввести значение атомной массы элемента. Здесь коэффициенты для пересчета киновари будут иметь следующие значения

$$\text{Hg} \rightarrow 0,429782 \times 200,61 = 86,218567;$$

$$\text{S} \rightarrow 0,429782 \times 32,066 = 13,781390.$$

С помощью приведенных коэффициентов рассчитаем содержание ртути и серы в пробах, содержащих 0,025; 2,125 и 8,876% киновари:

- | | | |
|----|---|--|
| 1) | $0,025 \times 86,218567 = 0,021555 = 0,0216\% \text{ Hg}$ | |
| | $0,025 \times 13,781390 = 0,003445 = 0,0034\% \text{ S}$ | |
| | $0,0250\% \text{ киновари}$ | |
| 2) | $2,125 \times 86,218567 = 1,832245 = 1,832\% \text{ Hg}$ | |
| | $2,125 \times 13,781390 = 0,292855 = 0,293\% \text{ S}$ | |
| | $2,125\% \text{ киновари}$ | |
| 3) | $8,876 \times 86,218567 = 7,652760 = 7,653\% \text{ Hg}$ | |
| | $8,876 \times 13,781390 = 1,223236 = 1,223\% \text{ S}$ | |
| | $8,876\% \text{ киновари}$ | |

Эти расчеты следует считать верными, потому что в каждом примере сумма процентных содержаний ртути и серы равна процентному содержанию киновари в пробе. Сравнивая результаты пересчетов 1 и 2 с результатами пересчетов, при которых брались формульное количество минерала и атомная масса, мы видим их хорошую сходимость. Небольшое расхождение в содержании ртути достигает 0,0001%, (0,0215% и 0,0216%), что связано с округлением цифр. Следовательно, при соответствующих вычислениях нужно обращать внимание на величины таких отклонений и брать полученное произведение с необходимой для исследователя точностью.

Ниже приводим несколько аналогичных примеров, но с некоторыми вариантами условий расчета, с целью ознакомления читателя со спецификой выполняемых в этих случаях вычислений.

Пример 3. Минералогическими исследованиями свинцово-сурьмяных руд установлено наличие минерала бурнонита (сульфосоля) в количестве 8,4%. Химическая формула минерала имеет два вида записи $2\text{PbSCu}_2\text{SSb}_2\text{S}_3^*$ и PbCuSbS_3 . Требуется определить: коэффициенты для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества; теоретические содержания образующих минерал элементов; процентные содержания элементов в 8,4% минерала.

Берем по соответствующим таблицам (см. с. 113) атомные массы элементов, образующих соединение $\text{Pb} \rightarrow 207,21$; $\text{Cu} \rightarrow 63,54$; $\text{Sb} \rightarrow 121,76$ и $\text{S} \rightarrow 32,066$.

Суммируем соответствующее количество элементов и определяем формульную массу минерала по виду записи химической формулы. Для формулы $2\text{PbSCu}_2\text{SSb}_2\text{S}_3$ формульная масса будет равна:

* Коэффициенты в первой формуле можно сократить на два, получив вторую формулу, но для расчетов в примере сохраняются оба вида записи.

$$\begin{aligned}
 1) \quad & 2\text{Pb} \rightarrow 207,21 \times 2 = 414,42 \\
 & 2\text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 2 = 127,08 \\
 & 2\text{Sb} \rightarrow 121,76 \times 2 = 243,52 \\
 & 6\text{S} \rightarrow 32,066 \times 6 = 192,396 \\
 & \hline
 & \qquad \qquad \qquad 977,416.
 \end{aligned}$$

Для формулы PbCuSbS_3 формульная масса составит:

$$\begin{aligned}
 2) \quad & \text{Pb} \rightarrow 207,21 \times 1 = 207,21 \\
 & \text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 1 = 63,54 \\
 & \text{Sb} \rightarrow 121,76 \times 1 = 121,76 \\
 & 3\text{S} \rightarrow 32,066 \times 3 = 96,198 \\
 & \hline
 & \qquad \qquad \qquad 488,708.
 \end{aligned}$$

Теперь определяем коэффициенты для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & 100:977,416 = 0,102311; \\
 2) \quad & 100:488,708 = 0,204621.
 \end{aligned}$$

Следует обратить внимание на то, что формульные массы минералов и значения их расчетных коэффициентов (учитывая вид записи формул) находятся в обратной и кратной числу элементов зависимости $488,708 \times 2 = 977,416$ и $0,102311 \times 2 = 0,204622$. Используя найденные коэффициенты как единицы расчета, найдем процентные содержания элементов для различной записи химических формул:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & 2\text{Pb} \rightarrow 207,21 \times 2 = 414,42 \times 0,102311 = 42,40\% \\
 & 2\text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 2 = 127,08 \times 0,102311 = 13,00\% \\
 & 2\text{Sb} \rightarrow 121,76 \times 2 = 243,52 \times 0,102311 = 24,91\% \\
 & 6\text{S} \rightarrow 32,066 \times 6 = 192,396 \times 0,102311 = 19,68\% \\
 & \hline
 & \qquad \qquad \qquad 99,99\%;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \quad & \text{Pb} \rightarrow 207,21 \times 1 = 207,21 \times 0,204621 = 42,40\% \\
 & \text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 1 = 63,54 \times 0,204621 = 13,00\% \\
 & \text{Sb} \rightarrow 121,76 \times 1 = 121,76 \times 0,204621 = 24,91\% \\
 & 3\text{S} \rightarrow 32,066 \times 3 = 96,198 \times 0,204621 = 19,68\% \\
 & \hline
 & \qquad \qquad \qquad 99,99\%.
 \end{aligned}$$

Затем определяем процентные содержания элементов в 8,4% бурнонита, находящегося в пробе. Для этого вычисляем коэффициент пересчета для двух видов формул при 8,4% минерала:

$$\begin{aligned}
 1) \quad & 8,4 \times 0,102311 = 0,008594; \\
 2) \quad & 8,4 \times 0,204621 = 0,017188.
 \end{aligned}$$

При умножении суммы атомных масс на коэффициент пересчета получаем массовую концентрацию в процентах (табл. 10).

Элементы	1		2	
	Сумма атомных масс	Массовая концентрация, %	Сумма атомных масс	Массовая концентрация, %
Pb	414,42	3,56	207,21	3,56
Cu	127,08	1,09	63,54	1,09
Sb	243,52	2,09	121,76	2,09
S	192,396	1,65	96,198	1,65
Сумма		8,39		8,39

Из сделанных расчетов ясно, что от вида записи химической формулы минерала количественные значения образующих его элементов не зависят. По данным этих расчетов можно определить, какую долю в изучаемой пробе занимает каждый из элементов минерала. Для этого находим соответствующий расчетный коэффициент $K=100:8,39=11,918951$. Используя этот коэффициент, определим относительные содержания каждого элемента:

$$\text{Pb} \rightarrow 3,56 \times 11,918951 = 42,431 = 42,43\%$$

$$\text{Cu} \rightarrow 1,09 \times 11,918951 = 12,992 = 12,99\%$$

$$\text{Sb} \rightarrow 2,09 \times 11,918951 = 24,911 = 24,91\%$$

$$\text{S} \rightarrow 1,65 \times 11,918951 = 19,666 = 19,67\%$$

$$\underline{\underline{100,00\%}}$$

Полученные относительные содержания элементов в пробе бурнонита близки к процентным содержаниям настоящего расчета и, следовательно, подтверждают правильность произведенных вычислений.

Пример 4. Минерал ялпайт (сульфид меди и серебра) по анализу содержит 71,71% Ag; 14,08% Cu и 14,21% S. Надо определить: коэффициенты для пересчета процентных содержания элементов в атомные количества; химическую формулу минерала; коэффициент для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества; процентные содержания элементов в 9,48% ялпайта. Атомная масса Ag=107,880; Cu=63,54 и S=32,066.

Определим коэффициенты для пересчета процентных содержаний элементов в атомные количества:

$$\text{Ag} \rightarrow 100:107,880 = 0,926956;$$

$$\text{Cu} \rightarrow 100:63,54 = 1,573812;$$

$$\text{S} \rightarrow 100:32,066 = 3,118568*.$$

* Коэффициенты можно брать по таблицам, но в данном примере их вычисление преследует цель освоения техники расчетов.

Таблица 11

Элементы	Массовая концентрация, %	Коэффициенты для пересчета	Атомные количества ($\times 1000$)	Отношение	Искомые формулы
Ag	71,71	0,926956	665	3	Ag ₃ CuS ₂ 3Ag ₂ SCu ₂ S
Cu	14,08	1,573812	222	1	
S	14,21	3,118568	443	2	
	100,00				

С помощью коэффициентов находим атомные количества элементов, соответствующие их процентному содержанию в минерале, и составляем химическую формулу минерала. Параметры расчета и ход расчета даны в табл. 11.

Определяем коэффициент для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества. Для этого находим формульную массу ялпайта по его химической формуле

$$3\text{Ag} \rightarrow 107,880 \times 3 = 323,640$$

$$\text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 1 = 63,54$$

$$2\text{S} \rightarrow 32,066 \times 2 = 64,132$$

$$\hline 451,312.$$

Коэффициент для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества будет равен $100 : 451,312 = 0,221576$. По этому коэффициенту определяем формульное количество (единицу расчета) для 9,48% ялпайта: $9,48 \times 0,221576 = 0,021005$. Определим процентные содержания элементов в пробе ялпайта. Для этого умножим соответствующие значения атомных масс элементов на пересчетный коэффициент:

$$\text{Ag} \rightarrow 323,640 \times 0,021005 = 6,798\%$$

$$\text{Cu} \rightarrow 63,54 \times 0,021005 = 1,335\%$$

$$\text{S} \rightarrow 64,132 \times 0,021005 = 1,347\%$$

$$\hline 9,480\%.$$

Сумма процентных содержаний элементов, образующих ялпайт, равная 9,48%, т. е. его содержание в пробе, подтверждает правильность расчета.

Пример 5. Определим процентные содержания элементов, образующих молибденит MoS₂.

Найдем формульную массу минерала:

$$\text{Mo} \rightarrow 95,95 \times 1 = 95,95$$

$$2\text{S} \rightarrow 32,066 \times 2 = 64,132$$

$$\hline 160,082.$$

Затем определим коэффициент для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества $K=100:160,082=0,624680$. С помощью коэффициента рассчитаем процентные содержания элементов, образующих молибденит:

$$\begin{aligned} \text{Mo} &\rightarrow 0,624680 \times 95,95 = 59,94\% \\ \text{S} &\rightarrow 0,624680 \times 64,132 = 40,06\% \\ &\hline &100,00\%* \end{aligned}$$

Пример 6. При поисковых работах в корнях упавшего дерева был найден кусок кварца с гнездовой вкрапленностью молибденита MoS_2 , продуктами его изменения — ферримолибдитом $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и кристаллами пирита FeS_2 . Замеры одной из сторон образца показали, что общая его площадь равна 100 см^2 , из которых примерно $0,40 \text{ см}^2$ приходится на молибденит, $0,75 \text{ см}^2$ — на ферримолибдит и $1,25 \text{ см}^2$ — на пирит, и остальная часть — кварц. Требуется определить теоретическое содержание молибдена в молибдените и ферримолибдите.

Определим, какая часть площади образца (в процентах) приходится на молибденит, ферримолибдит, пирит и кварц. Из условия ясно, что молибденит занимает $0,40\%$, ферримолибдит — $0,75\%$, пирит — $1,25\%$ и кварц — $97,6\%$. Эти величины отражают объемные проценты минералов. Их пересчитывают в массовую концентрацию в процентах. Для этого объемные проценты умножают на плотности минералов. Полученные произведения представляют собой относительные количества, которые, пересчитанные на проценты, дают процентное содержание минералов (табл. 12). Коэффициент для пересчета в массовую концентрацию равен $K=100:270,020=0,370343$.

Из таблиц (см. с. 119, 121) берем коэффициенты для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества. Для минералов, содержащих молибден, они имеют следующие

Таблица 12

Минералы	Объемные %	Плотность минерала	Относительные массовые количества	Массовая концентрация, %
Молибденит	0,40	4,7	1,880	0,696
Ферримолибдит	0,75	4,5	3,375	1,250
Пирит	1,25	4,9	6,125	2,268
Кварц	97,60	2,65	258,640	95,786
Сумма	100,00		270,020	100,000

* Правильность расчета можно проверить по «Справочнику для геологов», вып. 27 (1960).

значения 0,621813 для MoS_2 ; 0,135929 для $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.
 Определим единицы расчета для данных процентных содержания молибденита и ферримолибдита

$$\text{MoS}_2 \rightarrow 0,621813 \times 0,696 = 0,004328;$$

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 0,135929 \times 1,250 = 0,001699.$$

Теперь вычислим процентные содержания молибдена и серы* в молибдените. Для этого умножим найденную единицу расчета на атомную массу элементов

$$\text{Mo} \rightarrow 0,004328 \times 95,95 = 0,415\%$$

$$\text{S} \rightarrow 0,004328 \times 64,132 = 0,278\%$$

$$\hline 0,693\%.$$

Процентные содержания окислов, образующих ферримолибдит, находим умножением единицы расчета минерала на формульную массу соответствующего окисла

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 0,001699 \times 159,70 \times 1 = 0,271\%$$

$$3\text{MoO}_3 \rightarrow 0,001699 \times 431,85 = 0,734\%$$

$$8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 0,001699 \times 144,128 = 0,245\%$$

$$\hline 1,250\%.$$

Подсчитаем процентные содержания молибдена в $0,734\%$ MoO_3 . Для этого, используя коэффициент 0,694686 (см. с. 112), находим единицу расчета $0,694686 \times 0,734 = 0,005099$.

Затем определим процентные содержания элементов в $0,734\%$ MoO_3

$$\text{Mo} \rightarrow 0,005099 \times 95,95 = 0,489\%$$

$$3\text{O} \rightarrow 0,005099 \times 48,00 = 0,245\%$$

$$\hline 0,734\%.$$

Таким образом, расчет показывает, что теоретическое содержание металла в молибдените равно $0,415\%$, а в ферримолибдите — $0,489\%$. Всего молибдена в двух минералах $0,904\%$ или $\sim 0,9\%$. Предварительную оценку рудного проявления следует провести по содержанию металла в молибдените, так как практическое значение ферримолибдита из-за трудности обогащения ничтожно. Это содержание находится в пределах промышленных кондиций ($0,415\%$ при минимально допустимом для небольших жильных месторождений $0,20\%$).

* Процентное содержание серы вычисляют с целью проверки правильности расчета.

Определение минерального типа глин по валовому химическому составу*

При оценке месторождений глинистого сырья важное практическое значение имеет определение минерального типа глин, что позволяет судить о технологических особенностях сырья и о его возможном промышленном применении. Как известно, минеральный состав глин характеризуется сложностью и непостоянством, но в нем можно выделить такие минералы, без которых порода не может считаться глиной. Эти существенные для глин минералы называются глинообразующими или глинистыми. К ним относятся минералы групп каолинита, монтмориллонита, гидратированных слюд (гидрослюд), галлуазита, аллофана, пирофиллита и др.

При определении минерального типа глин учитывают слагающие их компоненты. При этом главное значение имеют глинистые минералы, по которым и дается наименование породы. Наиболее известны каолинитовые (в том числе каолины), монотермитовые, монтмориллонитовые, бейделлитовые и гидрослюдистые глины. Большая часть глин имеет смешанный состав, и это отражается на их наименовании. Компонент, содержащийся в меньшем количестве, принято ставить в начале наименования: гидрослюдисто-каолинитовые, гидрослюдисто-бейделлитовые и другие разновидности глин.

Каждый минеральный тип глины характеризуется также комплексом неглинистых минералов, присутствующих как в тонких фракциях глин, так и в более крупных. Например, пирит, гидроокислы и окислы железа, сидерит и другие, могут развиваться при диагенезе во многих глинах. Есть и такие минералы, которые возникают при диагенезе только в некоторых глинах. Галлуазит и гидроокислы алюминия встречаются главным образом в каолинитовых и гидрослюдисто-каолинитовых глинах. Модификации кремнезема, магнезиальные силикаты, цеолиты характерны для бейделлитовых, гидрослюдисто-бейделлитовых и монтмориллонитовых глин. Глауконит чаще приурочен к гидрослюдистым, бейделлитовым или гидрослюдисто-бейделлитовым глинам и реже наблюдается в монтмориллонитовых глинах. Если неглинистые минералы в составе глин играют значительную роль (>5%), то они обычно включаются в название породы; например, кварц-глауконитовые, слюдисто-каолинитовые глины и др.

Главными химическими компонентами глин (или фракции <0,001 мм) являются SiO_2 , Al_2O_3 и H_2O . В них также присутствуют TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , MnO , CO_2 , C , S , SO_3 , P_2O_5 и окислы других элементов. При химических анализах часто

* Данную методику следует рассматривать как один из возможных вариантов пересчета (в порядке обсуждения).

выделяют H_2O^- (гигроскопическая вода) и H_2O^+ (конституционная или кристаллизационная вода минералов).

При определении минерального типа глин, как это будет показано ниже, большое значение могут иметь данные об огнеупорности или температурах плавления глин. В зависимости от огнеупорности различают три группы глинистых пород: 1) огнеупорные с температурой плавления выше 1580° ; 2) тугоплавкие с температурой плавления в пределах $1350-1580^\circ$; легкоплавкие с температурой плавления ниже 1350° .

Рассматривая вопрос об огнеупорности глин, необходимо отметить (Перевалов, 1944), что температурный интервал для огнеупорных материалов порядка $1580-1770^\circ$ имеет определенный физический смысл. Он заключается в том, что верхним пределом огнеупорности чистого обезвоженного каолина состава SiO_2 54% и Al_2O_3 46% на кривой плавкости системы $SiO_2-Al_2O_3$ является температура плавления 1770° . Эта температура предельная для огнеупорности шамотных изделий, естественным огнеупорным сырьем для которых служит каолин. Указанный факт явился поводом для установления понятия верхнего предела огнеупорности ПК177 (1770°). Нижним пределом огнеупорности принято считать ПК 158 (1580°)—температуру, близкую к температуре на кривой плавкости, соответствующей эвтектической смеси из SiO_2 (94,5%) и Al_2O_3 (5,5%). Следовательно, огнеупорными называются такие материалы, огнеупорность которых лежит в пределах $1580-1770^\circ$. Материалы, огнеупорность которых лежит выше 1770° , называются высокоогнеупорными. Высокой огнеупорностью характеризуются каолинитовые, галлуазит-каолинитовые, монотермитовые и каолинит-гидромусковитовые глины. Чем меньше в составе глин каолинита, тем менее они огнеупорны и могут быть тугоплавкими. Монтмориллонитовые, бейделлитовые и гидрослюдистые, а также глины смешанного состава из этих материалов входят в группу легкоплавких глин.

Одним из широко известных способов определения минерального типа глин является пересчет химических анализов фракции $<0,001$ мм в формульные количества и нахождение отношений формульных количеств $SiO_2 : R_2O_3$. Для различных минеральных типов глин эти отношения характеризуются определенными величинами. Так, например, для глин каолинитового состава отношение формульных количеств $SiO_2 : Al_2O_3 = 2$; монтмориллонитового состава — $SiO_2 : R_2O_3 = 4$ и более; бейделлитового состава — 3 и менее. Заметим, что отношения 2, 4 и 3 справедливы для теоретических составов этих минералов, и их численные значения являются коэффициентами при SiO_2 в химических формулах. Отклонения от указанных отношений (даже незначительные) свидетельствуют о полиминеральном составе глинистых фракций. В геологической литературе нет разработок, освещающих степень изменения отношений формульных коли-

честв $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ или $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ в зависимости от процентного содержания глинистых минералов в глинах. Между тем знание этих закономерностей может быть полезным при определении минерального типа глин по их валовому химическому составу. Такой анализ будет рассмотрен ниже. Здесь отметим, что в практической деятельности геологов, изучающих месторождения глин, химических анализов фракции $<0,001$ мм, как правило, не производят, поэтому описание возможных способов определения минерального типа глин по их валовому химическому составу может иметь определенное практическое значение. Несомненно, такие пересчеты имеют свои трудности. Они заключаются в том, что геолог должен по данным химического анализа, сумме имеющихся визуальных наблюдений, результатам керамических испытаний и некоторым генетическим признакам решить вопрос о возможном наличии в составе глин тех или иных глинистых и неглинистых минералов, которые целесообразно положить в основу пересчета.

Для геологоразведочных работ можно рекомендовать три способа пересчета: 1) пересчет химического состава глин на минералы методом И. Д. Борнеман-Старынкевич (1964), в основу которого положены структурные формулы глинистых минералов; 2) пересчет химического состава глин на основные глинистые компоненты, разработанный О. М. Розеном (1970); автор рекомендует химические анализы седиментогенных кристаллических сланцев пересчитывать не на минералы, а на компоненты первичной осадочной породы. Этот способ можно также распространить и на соответствующие расчеты химических анализов глин; 3) пересчет химического состава глин на минералы методом формульных количеств. Первые два способа пересчета здесь мы не рассматриваем. С ними можно ознакомиться в указанных литературных источниках.

Из изложенного видно, что на первом этапе расчетов следует ориентировочно определить, к какому минеральному типу или какой группе по огнеупорности можно отнести изучаемую глину, а затем решать вопрос о возможном присутствии свойственных этому типу глин глинистых и неглинистых минералов.

Минеральный тип глин или степень их огнеупорности по данным химического анализа можно определить двумя способами: 1) по диаграммам состояния систем $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ и $\text{K}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ (или по другим диаграммам) и 2) по диаграмме размещения минеральных типов глин в зависимости от их химического состава (рис. 3).

При пересчетах используются диаграммы состояния систем, которые следует брать из литературных источников: В. Эйтель, 1962 г.; В. П. Авидон, 1970 г.; «Справочник по производству строительной керамики», т. 1, 1961 г. и др. Диаграммы берутся с целью определения температур плавления глин, а следовательно, и степени их огнеупорности. Последнее не будет вызы-

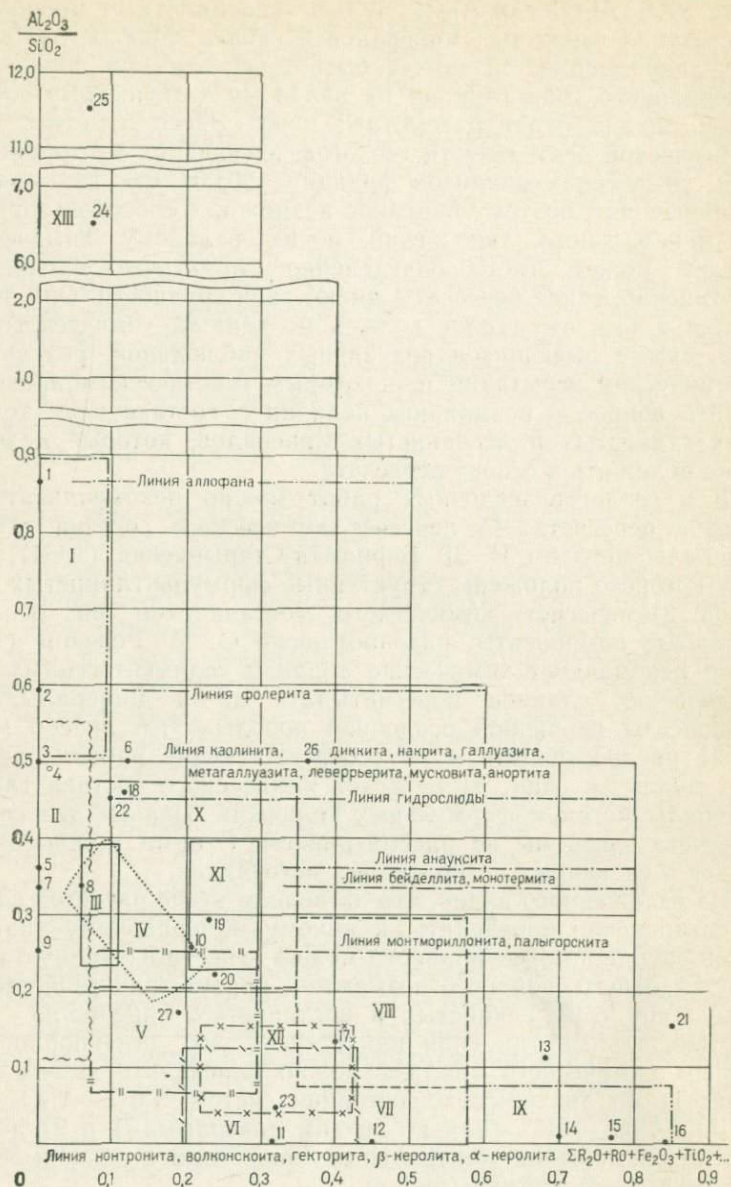


Рис. 3. Диаграмма размещения минеральных типов глин в зависимости от их химического состава
 Фигуративные точки глинистых минералов, имеющих теоретический состав:

1 — аллофан (отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,866$ и сумма формульных количеств плавней 0,00); 2 — фолерит (0,592—0,0); 3 — каолинит, диккит, накрит, галлуазит, метагаллуазит (0,500—0,0); 4 — левеэррьерит (0,488—0,021); 5 — анауксит (аноксит: 0,357—0,01);

вать особых затруднений, если по нанесенным на ней изотермам выделить три поля: поле с изотермами выше 1580° , которое будет характеризовать огнеупорные глины и соответствующие им минеральные типы глин; поле, ограниченное изотермами $1350-1580^{\circ}$, которое будет относиться к глинам тугоплавким, и поле с изотермами $<1350^{\circ}$, которое дает представление о глинах легкоплавких. Следовательно, если процентные содержания трех окислов, например Na_2O , Al_2O_3 и SiO_2 , привести к 100% и определить местоположение фигуративной точки, то эта точка укажет температуру плавления глины и группу ее огнеупорности*. Зная это и учитывая данные химического анализа, легче определить минеральный тип глины и наиболее характерные для него сопутствующие минералы (табл. 13).

На диаграмме для определения минерального типа глин (см. рис. 3) за показатели приняты отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ и сумма формульных количеств плавней $(\text{R}_2\text{O} + \text{RO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)^{**}$. При построении такой диаграммы были использованы почти до 500 химических анализов, заимствованных из различных литературных источников, характеризующих теоретические составы глинистых минералов (Дана, 1937; Бетехтин, 1950), составы глинистых минералов и фракции глин $<0,001$ мм («Неметаллические ископаемые СССР», т. IV, 1941; «Методическое руководство по...», 1957), составы типичных практически мономинеральных глинистых пород («Справочник для геологов», вып. 54, 1962), химические составы минеральных типов глин различной степени огнеупорности (Августиник, 1957; Зайонс, Кордонская, 1966; Петров, 1967; «Исследования и использование глин», 1958) и др.

6 — мусковит (0,500—0,125); 7 — бейделлит (0,333—0,0); 8 — монотермит (0,333—0,059); 9 — монтмориллонит (0,250—0,0); 10 — польгорскит (0,250—0,210); 11 — нонтронит (0,0—0,317); 12 — волкоискоит (0,0—0,448); 13 — сапонит (0,109—0,682); 14 — гекторит (0,005—0,702); 15 — β -керолит (0,005—0,769); 16 — α -керолит (0,003—0,845); 17 — соконит (0,130—0,398); 18 — гидромусковит (0,460—0,120); 19 — иллит (0,295—0,237); 20 — сколит (0,218—0,238); 21 — гидробиотит (0,151—0,852); 22 — гидрослюда из Донбасса (0,451—0,101); 23 — глауконит (0,044—0,320); 24 — диаспоровые глины (6,5—0,075); 25 — диаспоровые глины (11,5—0,065); 26 — анортит (0,500—0,360); 27 — альбит (0,167—0,190). Поля, в которых располагаются наиболее типичные составы минеральных типов глин: I — поле аллофановых и фолеритовых глин; II — каолинов, каолинитовых, галлуазитовых и им подобных глин; III — монотермитовых глин; IV — бейделлитовых глин; V — алюминий-монтмориллонитовых глин; VI — железо-монтмориллонитовых (нонтронитовых) глин; VII — хром-монтмориллонитовых (волконскоитовых) глин; VIII — цинк-монтмориллонитовых (соконитовых) глин; IX — магний-монтмориллонитовых (гекторитовых, β - и α -керолитовых) глин; X — гидрослюдистых глин; XI — гидрослюдистых глин фракций $<0,001$ мм; XII — глауконитовых и одноименных глин (?), XIII — диаспоровых глин

* Степень огнеупорности глин и их техническое назначение можно ориентировочно определить по диаграмме А. И. Августиника (1957). Эта диаграмма имеется и в двух работах В. П. Авидона (1968, 1970).

** Для удобства работы диаграмму (см. рис. 3) рекомендуется вычертить на миллиметровой бумаге.

Основной тип глин	Окраска и внешний вид	Отношение к воде			Температура плавления основного минерала, °С	формула ведущего минерала, состав и некоторые химические особенности типов глин	Отношение ведущего глинистого минерала к 0,01% концентрации красителя			Некоторые сопутствующие минералы
		разбухание и размокание	степень пластичности	тиксотропность (превращение гелей в золи)			Хризоидин	Бензидин	Метиленовый голубой	
Каолинитовый	Обычно светлая, от белой до желтой или серой; не слоистая, пачкают руки	Не разбухает; через 24 ч размокания распадается в порошок, образуя сглаженный конус	От высокопластичных до предельно уплотненных аргиллитов	Редко	1750—1787	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$; Al_2O_3 — 39,8%; SiO_2 — 46,3; H_2O — 13,9%, характерно высокое содержание Al_2O_3 (>30%), TiO_2 (до 2%), большие п. п. п. (11—14%), небольшие содержания других окислов	Связывается слабо и при промывании водой десорбируется	Цветная реакция отсутствует	Окрашивает в фиолетовый цвет, при добавлении нескольких капель раствора KCl цвет не изменяется, краситель способен перемещаться с каолинита на монтмориллонит	Кварц, полевые шпаты, серпент (мусковит), галлуазит, аллофан, пирит (марказит), сидерит, кальцит (редко), алунит, гидрокислы Al и Fe, рутил, сфен, ильменит, турмалин, циркон, гранат, дистен, магнетит, органические вещества
Галлуазитовый	Белая, светлосерая, светложелтая, реже оранжевая, коричневатая, зеленовато-голубая	Не разбухает	От высокопластичных до уплотненных аргиллитов	Иногда	1780—1790	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$; Al_2O_3 — 34,66%; SiO_2 — 40,9%; H_2O — 24,44; относятся к каолинитоподобным образованиям	—	—	—	Кварц, полевые шпаты, каолинит, алунит, гипс, диаспор, аллофан, флюорит, геарксунит — $CaAlF_4 \times \times OH$, H_2O , ярозит — $KFe_3 \times (SO_4)_2 (OH)_n$
Монтермитовый	Белая, желтовато-белая, светлосерая и темносерая; обычно не слоистая	Не разбухает	Пластичнее каолинитовых	Иногда	1550—1700	$0,2K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \times \times 2H_2O$; по составу ближе к каолинитовым глинам; характерно отношение $K_2O:Al_2O_3=1:12$	—	—	—	Кварц, полевые шпаты, каолинит, галлуазит, окислы и гидрокислы Fe, пирит (марказит), кальцит, сидерит, левинит, органические вещества
Монтмориллонитовый	Восковидная, просвечивающая в края; голубовато-зеленоватая, сероватая, реже желтоватая, коричневатая	Разбухающая. На, неразбухающая. Са разности; первая увеличивается в объеме до 10 раз, превращаясь в гелеобразную массу; мылкая	Образует высокопластичное липкое тесто	Хорошая	1250—1300	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$; Al_2O_3 до 20%; H_2O до 10—20%; п. п. п. до 9%; SiO_2 и щелочей больше, чем в каолинитовых. Наличие MgO более 3% указывает на возможное присутствие палыгорскита (аттапульгита)	Связывается прочно, окрашивая суспензию в коричневатый цвет; при добавлении красителя может дать ярко-красный цвет	Интенсивно окрашивает в синий цвет разных оттенков	Окрашивает в фиолетовый цвет, но при добавлении нескольких капель раствора KCl окраска изменяется, приближаясь к зеленовато-голубой, зеленой	Кальцит, модификация кремнезема, цеолиты, магnezиальные силикаты, глауконит, гидрослюда, гипс, пирит (марказит), ярозит, геарксунит, гётит, растворимые соли
Бейделлитовый	Желтовато-зеленоватая, зеленовато-серая, темно-серая; скорлуповатая или плитчатая отдельность; излом раковистый, гладкий или шероховатый	Разбухает слабее предыдущих, образуя под водой рыхлый конус или распадается на чешуйки	Образует пластичное тесто	—	—	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$; по составу ближе к монтмориллонитовым глинам; от гидрослюдов отличаются меньшим содержанием MgO, K_2O и более высоким содержанием окислов Fe и H_2O^-	Связывается прочно, окрашивая в коричневатые тусклые тона	Интенсивно окрашивает в синий цвет разных оттенков; цветная реакция проявляется тем сильнее, чем дальше зашел процесс «бейделлитизации», но в общем окраска довольно слабая	Наблюдается зеленовато-голубая окраска	Модификация кремнезема, магnezиальные силикаты, гидрослюда, глауконит, хлорит, окислы и гидрокислы Fe, пирит (марказит), кальцит, сидерит, цеолиты, фосфаты, органические вещества

Основной тип глин	Окраска и внешний вид	Отношение к воде			Температура плавления основного минерала, °C	Формула ведущего минерала, состав и некоторые химические особенности типов глин	Отношение ведущего глинистого минерала 0,01% концентрации красителя			Некоторые сопутствующие минералы
		разбухание и размокание	степень пластичности	тиксотропность (превращение гелей в золи)			Хризондин	Бензидин	Метиленовый голубой	
Гидрослюдистый	Разнообразная по тонам, часто пестроцветная; глины песчанисты, пылеваты, не однородного минерального состава; излом чешуйчатый, шероховатый или гладкий	Не разбухает, но распадается на комочки, чешуйки; под водой образует пологий конус; суспензии обладают характерной шелковистостью	Малопластичная	—	1200—1500	Характерно высокое содержание K_2O (от 1,5 до 4—6%); H_2O^- меньше, чем в монтмориллонитовых, и выше, чем в каолинитовых глинах; окислов Fe от 6,75 до 9,5%; п. п. п. до 4—7%	Связывается различно; чем ближе гидрослюды к каолиниту, тем слабее связь; чем ближе гидрослюды к монтмориллониту, тем прочнее окраска	У гидрослюды цвет суспензии голубовато-серый, грязный	Окрашивает в фиолетовые тона, окраска устойчива к действию K^+	Кальцит, сидерит, глауконит, хлориты, пирит (марказит), окислы и гидроокислы Fe, Mn, доломит, магнезит, фосфаты, модификации кремнезема, анкерит, гипс, ангидрит, барит, целестин, растворимые соли, органические вещества

Из диаграммы видно, что глинистые минералы, теоретический состав которых не содержит плавней, расположены на стороне $Al_2O_3 : SiO_2$, а минералы, в химическом составе которых отсутствует Al_2O_3 , — на стороне $R_2O + RO + Fe_2O_3 + TiO_2$. Глинистые минералы или породы, содержащие Al_2O_3 , SiO_2 и плавни, занимают соответствующие места внутри диаграммы. Из диаграммы также видно, что глины и глинистые минералы характеризуются весьма широким диапазоном отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ и сумм формульных количеств плавней. В первом случае наивысшее положение занимает диаспоровые глины (см. рис. 3, точки 24, 25), а во втором — гидробиотит (точка 21) и α -керолит (точка 16)*. Следовательно, чем больше численное значение отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$, тем дальше отстоит фигуративная точка состава от начала координат диаграммы, и чем больше сумма формульных количеств плавней, тем дальше она сдвигается вправо.

Определяя сумму формульных количеств плавней, исследователь должен решить, куда целесообразнее присоединить формульное количество TiO_2 — к плавням или к Al_2O_3 . При максимальном содержании в глинах TiO_2 (порядка 2,5%) значение формульного количества будет достигать 0,031. Если эту величину присоединить к плавням, то фигуративная точка состава будет дополнительно сдвинута вправо на 6 мм (0,031—0,005)**. В наших расчетах TiO_2 присоединяется к плавням. Необходимо обратить внимание на то, что на диаграмме гидробиотит (см. рис. 3, точка 21) и гидромусковит (там же точка 18) занимают диаметрально противоположные положения. Объясняется это особенностями их химического состава.

*Анализы заимствованы из работ «Неметаллические ископаемые СССР» (1941) и «Методическое руководство...» (1957).

** На диаграмме 1 мм = 0,005.

Если через точки, лежащие на стороне $Al_2O_3 : SiO_2$, и точки некоторых минералов, теоретические составы которых расположены внутри диаграммы, провести горизонтальные линии (на рис. 3 справа показан выход этих линий), то мы получим линию аллофана с отношением формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,866$; линию фолерита — 0,592; каолинита (диккита, накрита), галлуазита — 0,500; гидрослюды — 0,450; бейделлита, монотермита — 0,333; монтмориллонита, палыгорскита — 0,250. Эти отношения для любых процентных содержаний данных минералов в смесях глин являются постоянными (константами).

На оси абсцисс лежит минерал нонтронит (см. рис. 3, точка 11). Эту линию можно назвать линией нонтронита. Минералы гекторит, β -керолит лишь тяготеют к этой линии, так как в их составе (кроме кремнезема) присутствует небольшое количество глинозема. В теоретическом составе α -керолита ($MgO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$) глинозема нет. Этот минерал расположен, как и волконскоит (точка 12), на линии нонтронита.

На диаграмме (см. рис. 3) выделены поля (I—XIII), в которых располагаются наиболее типичные составы минеральных типов глин. Если фигуративная точка данного состава глины находится в контуре какого-нибудь поля, т. е. она не попадает на линию теоретического состава минерала, то глина представляет собой смесь глинистых минералов. В зависимости от их процентных содержаний глина будет характеризоваться определенными отношениями формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$. Нужно также указать, что повышенное содержание в глине SiO_2 , которое обычно обусловлено значительным количеством в них кварцевого песка, понижает численное значение отношения $Al_2O_3 : SiO_2$. Этим объясняется удлиненная форма поля II, к которому приурочены глины каолинитового типа. Диапазон отношений $Al_2O_3 : SiO_2$ здесь изменяется от 0,5 до 0,114, а сумма

формульных количеств плавней от 0,0—0,006 до 0,075. Так, например, огнеупорные глины Чамановского месторождения (Дальний Восток) характеризуются отношением $Al_2O_3:SiO_2=0,114$ и суммой формульных количеств плавней 0,006 («Неметаллические ископаемые СССР», 1941). На диаграмме (см. рис. 3) хорошо вырисовывается взаимосвязь между каолиновыми, монотермитовыми, бейделлитовыми, алюминий-монтмориллонитовыми и гидрослюдистыми типами глин (поля II, III, IV, V и X). Эта взаимосвязь часто наблюдается в их природных разновидностях. Из других особенностей диаграммы следует указать на расположение полей монтмориллонитовых глин, содержащих окислы хрома (поле VII), цинка (поле VIII) и магния (поле IX). Они находятся правее поля алюминиевых монтмориллонитов. Обусловлено это не столько суммой формульных количеств плавней, сколько большими численными значениями формульных количеств окислов названных элементов. На диаграмме выделено поле XI гидрослюдистых глин фракции $<0,001$ мм.

Итак, если фигуративная точка рассчитанного состава глины находится на какой-нибудь из указанных линий, то глина является мономинеральной или, как будет показано ниже, смесью глинистых минералов, находящихся на этой же линии. Сдвиг фигуративной точки вверх или вниз от линии свидетельствует о полиминеральном составе глины. Так как в этом случае фигуративная точка будет попадать в одно из 13 полей диаграммы, можно предварительно сделать вывод, что состав глины близок к минеральному типу глин данного поля. Очевидно также, что на величины отношений формульных количеств $Al_2O_3:SiO_2$ могут влиять два или несколько глинистых минералов, а также повышенная песчанистость.

Если условие задачи несколько упростить, т. е. допустить, что на величину отношения $Al_2O_3:SiO_2$ оказывают основное влияние два преобладающих глинистых минерала, тогда фигуративная точка данного состава глины будет находиться между линиями двух минералов. Например, фигуративная точка состава находится в поле V алюминий-монтмориллонитовых глин ($Al_2O_3:SiO_2=0,140$ и $\Sigma RO=0,150$), между линиями монтмориллонита и нонтронита. Если бы глина была мономинеральная — монтмориллонитовая, то $Al_2O_3:SiO_2$ было бы равно 0,250; если нонтронитовая, то $Al_2O_3:SiO_2$ равно 0. Очевидно, на $Al_2O_3:SiO_2$, равное 0,140, оказывают влияние оба минерала — монтмориллонит и нонтронит.

Для того чтобы определить, какие процентные содержания двух минералов могут дать указанное отношение, автор составил «Таблицы для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $Al_2O_3:SiO_2$ » (см. с. 131). Из табл. XII (см. с. 150) видно, что $Al_2O_3:SiO_2$, равное 0,140, соответствует 57% нонтронита и 43%

монтмориллонита. На возможность присутствия в глине нонтронита косвенно указывают и данные химического анализа этой глины: 5,75% Fe_2O_3 . Вывод о том, что глина является монтмориллонит-нонтронитовой, не окончательный, так как в данном случае не выяснен вопрос о влиянии на $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,140$ наличия свободного кремнезема и, возможно, других глинистых минералов и полевых шпатов. Ответ на эти вопросы будет дан ниже при рассмотрении конкретных примеров. Здесь лишь необходимо дать некоторые пояснения к «Таблицам для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ ».

По названиям граф таблиц можно установить принцип их построения. Для расчета взяты формулы минералов в окисной форме. Расчет формул аллофана и гидрослюдь производился по данным химического состава, в которых Al_2O_3 принят за единицу. Это, естественно, отразилось на коэффициентах при других окислах, и они получили дробные значения. В состав нонтронита, рассчитанного таким способом, введено 0,5% Al_2O_3 и соответственно уменьшено содержание Fe_2O_3 . Введение в состав нонтронита небольшого количества Al_2O_3 позволило при составлении таблиц получать отношения формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$. На диаграмме фигуративная точка такого нонтронита (при $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,008$) будет находиться на 1,5 мм выше линии его теоретического состава. Если Al_2O_3 в формуле нонтронита принять за единицу, то можно легко найти формульные количества SiO_2 для различных процентных содержаний минерала. Если при вычислении $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ в таблице нонтронит — монтмориллонит не принимать во внимание формульные количества Al_2O_3 в нонтроните, т. е. в расчет вводить сумму формульных количеств SiO_2 двух минералов и Al_2O_3 — одного монтмориллонита, то результативные отношения формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ будут совпадать с имеющимися в таблице или отличаться от них по мере увеличения доли нонтронита от 0,001 до 0,008. Например, отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ для 9% нонтронита и 91% монтмориллонита равно $0,23003 : 0,97529 = 0,236$, а без учета формульного количества Al_2O_3 в нонтроните — $0,22958 : 0,97529 = 0,235$. При введении в формулу нонтронита небольшого количества Al_2O_3 конечный результат расчета существенно не изменится. В природных разностях этого минерала всегда отмечаются небольшие содержания Al_2O_3 .

Таблицы для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ составлены для основных пар глинистых минералов: каолинит — аллофан, галлуазит — каолинит, мусковит — каолинит, гидраргиллит — каолинит, фолерит — каолинит, монотермит — каолинит, монтмориллонит — каолинит, монтмориллонит — монотермит, монотермит — бейделлит, монтмориллонит — бейделлит,

бейделлит — гидрослюда, нонтронит — монтмориллонит, нонтронит — гидрослюда, монтмориллонит — гидрослюда, альбит — анортит.

Шаг интервала содержаний 1%. Формульные количества для дробных содержаний минералов можно получать, пользуясь коэффициентами, стоящими в скобках у каждого минерала. Рекомендуем обратить внимание на интервалы отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$.

Таблицы галлуазит — каолинит, мусковит — каолинит, монотермит — бейделлит весьма своеобразны. Из них следует, что любая смесь галлуазита — каолинита и мусковита — каолинита дает отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,500$, а любая смесь монотермита — бейделлита — 0,333. Из рис. 3 видно, что теоретические составы каолинита, галлуазита и мусковита находятся на линии каолинита и каждый из этих минералов характеризуется отношением формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,500$. Такое же отношение имеет и анортит. Теоретические составы монотермита и бейделлита падают на линию бейделлита — монотермита. Эти минералы имеют отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,333$. Аналогичными особенностями будут обладать смеси монтмориллонита и палыгорскита ($Al_2O_3 : SiO_2 = 0,250$), альбита и ортоклаза ($Al_2O_3 : SiO_2 = 0,167$).

Следовательно, если минералы имеют одинаковое численное значение отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$, то смесь из двух или нескольких таких минералов, взятых в любых пропорциях, будет иметь такое же численное значение отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$. Например, смесь глинистых минералов, находящихся на линии каолинита, представлена: каолинитом — 75%, галлуазитом — 21%, мусковитом — 4%. Для данных процентных содержаний минералов характерны значения формульных количеств $Al_2O_3 = 0,29050 + 0,07138 + 0,01506 = 0,37694$ и $SiO_2 = 0,58100 + 0,14276 + 0,03012 = 0,75388$. Следовательно, $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,37694 : 0,75388 = 0,500$. Такая закономерность при расчетах является диагностическим признаком. Отличить такие минералы можно по величинам формульных количеств окислов, необходимых для формирования каждого из минералов, и по наличию окислов плавней.

При выборе таблиц для расчета необходимо учитывать весь комплекс имеющихся данных: местоположение фигуративной точки на рис. 3; величины отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$; величины сумм формульных количеств плавней; данные химических анализов, которые могут указывать на присутствие тех или иных минералов. Например, повышенные содержания щелочей указывают на присутствие в глине гидрослюда, повышенные содержания Fe_2O_3 — на наличие нонтронита, низкие значения сумм формульных количеств плавней — на минералы группы каолинита и т. д. Для определения в гли-

нах сопутствующих минералов, как отмечено выше, может быть полезна табл. 13.

Наконец, необходимо отметить, что при соответствующих пересчетах химических анализов глин следует обращать внимание на их полноту и степень отклонений суммарных значений анализа от 100%. Так, отсутствие в анализах Na_2O и K_2O не дает представления о возможном наличии в глинах гидрослюда и полевых шпатов, а встречающимся в литературе анализам, в которых сумма определяемых компонентов достигает 102 и 106%, вообще нельзя доверять. Желательно иметь для расчетов анализы, предел существующего допуска которых $\pm 0,5\%$. Заметим также, что неполнота анализов в определении окислов плавней (чаще Na_2O , K_2O , MgO не позволяет определить местоположение фигуративной точки изучаемого состава глины на рис. 3. Ниже даны примеры определения минерального типа глин по их валовому химическому составу.

Пример 1. Химический состав неизвестного минерала, отобранного из пробы глины, приведен в табл. 14. Используя рис. 3, определим название минерала, рассчитаем его химическую формулу в окисной форме и найдем коэффициент для определения формульных количеств минерала.

Процентные содержания окислов пересчитаем (с помощью коэффициентов) в формульные количества (см. табл. 14). Найдем отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ и сумму формульных количеств плавней. Эти величины соответственно равны 0,500 и 0,125.

Таблица 14

Окислы	Массовая концентрация, %	Коэффициенты для пересчета	Формульные количества	Отношения формульных количеств
SiO_2	45,26	1,664170	0,75320	6
Al_2O_3	38,40	0,980777	0,37662	3
K_2O	11,82	1,061571	0,12548	1
H_2O	4,52	5,550622	0,25089	2
	100,00			

По вычисленным коэффициентам установим местоположение состава (см. рис. 3). Состав минерала найдем на линии каолинита в точке 6. Он отвечает мусковиту, принятому за эталон при составлении рис. 3. Теперь рассчитаем химическую формулу минерала по отношениям формульных количеств окислов (см. табл. 14). Формула имеет вид $\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Вычислим коэффициент для определения формульных количеств минерала: $K = 100 : 796,652 = 0,125525$.

Правильность произведенного расчета подтверждается таблицей III (см. с. 137), из которой видно, что формульные коли-

чества K_2O , Al_2O_3 и SiO_2 для 100% мусковита имеют те же значения, что и в табл. 14. Некоторые расхождения формульных количеств в четвертом и пятом знаках — результат округлений, произведенных на разных стадиях расчета.

Пример 2. По данным химического анализа (табл. 15) определить минеральный тип глины и процентные содержания образующих ее минералов.

Таблица 15

Окислы	Массовая концентрация, %	Формульные количества
SiO_2	53,11	0,88384
Al_2O_3	30,04	0,29463
K_2O	4,81	0,05106
H_2O	12,04	0,66829
	100,00	

Процентные содержания окислов пересчитываем в формульные количества и заносим их в табл. 15. Определяем отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ и сумму формульных количеств плавней, которые соответственно равны 0,333 и 0,051.

По вычисленным координатам (см. рис. 3) находим местоположение фигуративной точки. Она приходится на поле III — монотермитовых глин на линии бейделлита — монотермита. Следовательно, первое предположение, которое мы можем сделать — изучаемая глина является монотермитовой. На это указывает и наличие в анализе глины K_2O . Если бы глина была чисто бейделлитовой, то в ней не было бы K_2O и фигуративная точка легла бы на линию $Al_2O_3 : SiO_2$; если бы глина была только монотермитовой, то ее состав был бы приурочен к точке 8 (см. рис. 3). Фактически состав расположен несколько левее точки 8. Имеющиеся данные позволяют для дальнейшего анализа воспользоваться таблицей IX монотермит — бейделлит. Оба минерала, как это следует из таблицы, характеризуются отношением формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,333$. Смесь этих минералов имеет то же отношение формульных количеств, т. е. 0,333.

Сравним значения формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ таблиц 15 и IX (см. с. 145). Если бы глина была только монотермитовой, то для формирования этого минерала потребовались бы формульные количества, отвечающие 100%-ному содержанию монотермита, т. е. $Al_2O_3 — 0,29665$ и $SiO_2 — 0,88995$, если бейделлитовая, то $Al_2O_3 — 0,28225$ и $SiO_2 — 0,84675$. Так как сравниваемые величины нетождественны, то можно сделать вывод, что глина является смесью двух минералов. Подтверж-

дается это данными табл. IX (графы 9 и 10) при содержании монотермита 86% и бейделлита 14%. Имеющиеся расхождения в значениях формульных количеств для Al_2O_3 и SiO_2 в четвертом и пятом знаках находятся в пределах точности вычислений. Следует учитывать, что некоторые расхождения в значениях формульных количеств можно объяснить и тем, что процентные содержания минералов могут быть дробными. В этом случае следует воспользоваться коэффициентами для определения формульных количеств минералов и произвести соответствующие вычисления. В данном примере суммарное значение формульного количества Al_2O_3 в сравниваемых таблицах IX и 15 отличается на одну сотысячную, поэтому находить массовые содержания минералов, имеющих дробное значение, нет смысла.

Таким образом, по расчету глина является бейделлит-монотермитовой. В ней 86% монотермита и 14% бейделлита. Отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ для каждого минерала и их смеси равно 0,333, что подтверждает правильность расчета.

Пример 3. Определить минеральный тип глины и процентные содержания образующих ее минералов. Данные химического анализа приведены в табл. 16.

Таблица 16

Оксиды	Массовая концентрация, %	Формульные количества	Мусковит $K_2O \times 3Al_2O_3 \times 6SiO_2 \times 2H_2O$	Остаток	Каолинит $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$	Галлуазит $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 4H_2O$
SiO_2	45,54	0,75786	0,09042	0,66744	0,56494	0,10238
Al_2O_3	38,63	0,37887	0,04521	0,33366	0,28247	0,05119
K_2O	1,42	0,01507	0,01507	—	—	—
H_2O	14,41	0,79984	0,03014	0,76970	0,56494	0,20476
Сумма	100,00	1,95164	0,18084	—	1,41235	0,35833

Процентные содержания окислов пересчитываем на формульные количества. Находим отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ и сумму формульных количеств плавней, которые будут равны соответственно 0,500 и 0,015. По найденным коэффициентам (см. рис. 3) определяем местоположение состава. Его фигуративная точка ложится в поле II каолинитовых глин.

Следовательно, первое предположение, которое можно сделать о глине, это то что она содержит каолинит или является смесью минералов этой группы. Минералами, фигуративные точки которых располагаются на линии каолинита и дают смеси с отношением формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,500$, являются каолинит, галлуазит, мусковит, анортит. Из них окись калия присутствует только в мусковите, поэтому его и целесообразно взять для расчета.

По формульному количеству $K_2O=0,01507$ рассчитаем мусковит. На его образование потребуется: $Al_2O_3=0,04521$; $SiO_2=0,09042$ и $H_2O=0,03014$. Из табл. III (см. с. 136 графа 3) видно, что формульному количеству $K_2O=0,01507$ (в таблице 0,01506) соответствует 12% мусковита. Находим отношение формульных количеств для мусковита $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,04521 : 0,09042 = 0,500$.

После образования мусковита определяем остаток формульных количеств окислов (см. табл. 16). Находим отношение формульных количеств для остатка $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,33366 : 0,66744 = 0,49992 = 0,500$. Полученное отношение указывает на наличие в глине других минералов группы каолинит или минералов, близких к этой группе. Так как фигуративная точка остатка лежит на линии $Al_2O_3 : SiO_2$ в точке 3 (см. рис. 3) то есть основание полагать, что такими минералами могут быть каолинит и галлуазит. Эти минералы и целесообразно взять для дальнейшего расчета. Только необходимо учитывать, что в данном случае по таблице галлуазит — каолинит (см. табл. III, графы 9, 10) довольно точного ответа получить нельзя, потому что сумма двух определяемых минералов составляет 88% смеси, а не 100%. Этой таблицей можно воспользоваться при ориентировочном расчете, для чего остаток формульных количеств $Al_2O_3=0,33366$ и $SiO_2=0,66744$ приводят к 100% смеси

$$SiO_2 \rightarrow 0,66744 - 88 \left| \begin{array}{l} x = 0,75845; \\ x - 100 \end{array} \right.$$

$$Al_2O_3 \rightarrow 0,33366 - 88 \left| \begin{array}{l} y = 0,37916. \\ y - 100 \end{array} \right.$$

Значения формульных количеств, близкие к вычисленным мы находим в табл. II (графы 9, 10) для 17% галлуазита и 83% каолинита ($Al_2O_3=0,37927$; $SiO_2=0,75854$). Данный расчет является приближенным, но и он дает некоторое представление о порядке процентных содержаний минералов в глине. Так как сумма полученных значений минералов составляет 112%, то его можно при помощи коэффициента ($K=100 : 112=0,892857$) привести к 100%:

$$\text{мусковит} \rightarrow 12 \times 0,892857 = 10,71\%$$

$$\text{галлуазит} \rightarrow 17 \times 0,892857 = 15,18\%$$

$$\text{каолинит} \rightarrow 83 \times 0,892857 = 74,11\%$$

$$\hline 100,00\%$$

При геологоразведочных работах такие ориентировочные расчеты могут быть полезны. Теперь произведем более точный расчет. По остатку формульных количеств окислов рассчитаем минералы каолинит и галлуазит. Для этого составляем дв

уравнения, одно из которых (для удобства расчета) учитывает формульные количества H_2O . Обозначив компоненты в каолините буквой a и в галлуазите b , можно написать: $a + b = 0,33366$ и $2a + 4b = 0,76970$.

Подставляя во второе уравнение b , взятое из первого уравнения, будем иметь:

$$b = 0,33366 - a;$$

$$2a + 4(0,33366 - a) = 0,76970;$$

$$2a + 1,33464 - 4a = 0,76970;$$

$$2a = 1,33464 - 0,76970 = 0,56494;$$

$$a = 0,28247;$$

$$b = 0,33366 - 0,28247 = 0,05119.$$

Таким образом, значения формульных количеств Al_2O_3 , которые мы принимаем за единицы расчета, будут для каолинита 0,28247 и для галлуазита 0,05119. По найденным единицам расчета формируем минералы каолинит, галлуазит и находим для них отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ (см. табл. 16).

Проверим правильность расчета. Для этого суммируем цифры по вертикальным графам и горизонтальным строкам. Расчет считается правильным, если соблюден необходимый баланс. У нас в примере он оказался нарушенным (в строке SiO_2 на +0,00012). Однако такое нарушение баланса существенного значения не имеет и объясняется округлениями цифр при расчетах.

Теперь определим процентные содержания минералов умножая единицу расчета на формульную массу минерала:

$$\text{мусковит} - 0,01507 \times 796,652 = 12,01\%$$

$$\text{галлуазит} - 0,05119 \times 294,204 = 15,06\%$$

$$\text{каолинит} - 0,28247 \times 258,117 = 72,93\%$$

$$100,00\%.$$

По главному пороодообразующему минералу глину надо отнести к каолинитовому типу. Заметим, что расчет правильный, так как полученные значения минералов совпадают с исходными данными (мусковита 12%, галлуазита 15% и каолинита 73%).

Пример 5. По данным химического анализа, приведенного в табл. 17*, определить минеральный состав глины и температуру ее плавления.

Процентные содержания анализа пересчитываем на формульные количества. Определяем отношение формульных коли-

* Анализ заимствован из работы Ф. В. Чухрова, С. И. Берхин, Л. П. Ермиловой (1963).

Таблица 17

Оксиды	Массовая концентрация, %	Формульные количества	Гипс $\text{CaO} \times \text{SO}_3 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Гётит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$	Альбит $\text{Na}_2\text{O} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2$	Анортит $\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2$	Мусковит $\text{K}_2\text{O} \times 3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 6\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Остаток	Каолинит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$	Галлуазит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2\text{SiO}_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	Гидрагиллит $\text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{H}_2\text{O}$
SiO_2	44,78	0,74522	—	—	0,01644	0,02978	0,00318	0,69582	0,58608	0,10974	—
Al_2O_3	38,74	0,37995	—	—	0,00274	0,01489	0,00159	0,36073	0,29304	0,05487	0,01282
Fe_2O_3	0,6	0,00376	—	0,00376	—	—	—	—	—	—	—
CaO	0,94	0,01676	0,00187	—	—	0,01489	—	—	—	—	—
K_2O	0,05	0,00053	—	—	—	—	0,00053	—	—	—	—
Na_2O	0,17	0,00274	—	—	0,00274	—	—	—	—	—	—
SO_3	0,15	0,00187	0,00187	—	—	—	—	—	—	—	—
H_2O^+	14,52	0,80595	0,00374	0,00376	—	—	—	0,84402	0,58608	0,21948	0,03846
H_2O^-	0,84	0,04663	—	—	—	—	0,00106	—	—	—	—
Сумма	100,79	2,00341	0,00748	0,00752	0,02192	0,05956	0,00636	1,90057	1,46520	0,38409	0,05128
Отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$	—	0,510	—	—	0,167	0,500	0,500	0,518	0,500	0,500	—
Сумма формульных количеств плавней	—	0,027	—	0,004	0,003	0,015	0,001	—	—	—	—
Формульные массы минералов	—	—	172,178	177,716	524,482	278,22	796,652	—	258,117	294,204	156,008
Массовая концентрация минералов, %	100,77	—	0,32	0,67	1,44	4,14	0,42	—	75,64	16,14	2,00
Массовая концентрация минералов, приведенная к 100%	100,00	—	0,32	0,66	1,43	4,11	0,42	—	75,06	16,02	1,98

ществ $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ и сумму формульных количеств плавней. Они соответственно будут равны 0,510 и 0,027.

Затем находим местоположение состава на рис. 3. Его фигуративная точка ложится в поле II — каолиновых глин, несколько выше линии каолинита. Предварительно можно сделать вывод, что в глине мало плавней и что она характеризуется наличием минерала с более высоким содержанием Al_2O_3 , чем минералы, фигуративные точки которых располагаются на линии каолинита. Кроме высокоглиноземистого минерала в глине может быть один или несколько минералов, отношение формульных количеств которых $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,500$, т. е. при-

сутствуют минералы, расположенные на линии каолинита. Нужно также отметить, что не исключена возможность наличия в глине малых количеств глинистого минерала с расположением фигуративной точки ниже линии каолинита. В этом случае минерал с высоким содержанием Al_2O_3 будет маскировать отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ минерала, фигуративная точка которого находится ниже линии каолинита. Так, например, если к формульным количествам Al_2O_3 и SiO_2 , имеющим отношение 0,510, прибавить формульные количества SiO_2 и Al_2O_3 , соответствующие 1% монтмориллонита, т. е. $\text{SiO}_2 = 0,74522 + 0,01008 = 0,75530$ и $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,37995 + 0,00252 = 0,38247$.

то их отношение будет равно $0,38247 : 0,75530 = 0,506$. Эту особенность следует учитывать при расчетах. Если бы высокоглиноземистого минерала в смеси не было, то фигуративная точка смеси минералов, имеющих отношение 0,500, с минералом монтмориллонита было бы $< 0,500$. Так, 74% каолинита, 25% галлуазита и 1% монтмориллонита дают отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,497$.

Визуально оценим данные химического состава глины и соответствующий расчет минералов. В нашем примере носителем SO_3 могут быть минералы: пирит (марказит), ярозит, гипс; K_2O — ярозит, мусковит; Fe_2O_3 — гётит, гематит и т. д. Ниже дан расчет минералов согласно принятому решению.

По формульному количеству SO_3 рассчитаем гипс. На его образование пойдет (см. табл. 17) SO_2 0,00187; CaO 0,00187 и H_2O $0,00187 \times 2 = 0,00374$. Процентное содержание гипса в глине равно единице расчета, умноженной на формульную массу минерала ($0,00187 \times 172,178 = 0,32\%$).

Теперь рассчитаем гётит. Для его образования потребуется Fe_2O_3 0,00376 и H_2O 0,00376. Процентное содержание минерала будет составлять $0,00376 \times 177,716 = 0,67\%$.

Определяем количество минерала альбита, для образования которого необходимы одинаковые количества Na_2O , Al_2O_3 и шестикратное количество (по Na_2O) SiO_2 . Следовательно, $Na_2O = 0,00274$; $Al_2O_3 = 0,00274$ и $SiO_2 = 0,00274 \times 6 = 0,01644$. Отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,167$. Массовое количество альбита (по Na_2O) будет составлять $0,00274 \times 524,482 = 1,44\%$.

Далее вычислим количество анортита. Для формирования этого минерала потребуется оставшееся количество CaO , равное $0,01676 - 0,00187 = 0,01489$; Al_2O_3 0,01489 и SiO_2 $0,01489 \times 2 = 0,02978$. Отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,01489 : 0,02978 = 0,500$. Массовое количество этого минерала (по CaO) равно $0,01489 \times 278,22 = 4,14\%$.

Так как в расчете имеются минералы альбит и анортит, их можно приравнять к плагиоклазу и рассчитать его номер. Если сумма двух названных минералов составляет $1,44 + 4,14 = 5,58\%$, то будем иметь

$$\text{для альбита} - \left. \begin{array}{l} 5,58 - 100 \\ 1,44 - x \end{array} \right| x = 25,8 \sim 26\%,$$

$$\text{для анортита} \quad 100 - 26 = 74\%.$$

Следовательно, можно считать, что в глине содержится 5,58% плагиоклаза № 26.

Рассчитаем мусковит по формульному количеству $K_2C = 0,00053$. Для его образования потребуется K_2O — 0,00053; Al_2O_3 — $0,00053 \times 3 = 0,00159$; SiO_2 — $0,00053 \times 6 = 0,00318$ и H_2O — $0,00053 \times 2 = 0,00106$. Отношение формульных количеств

$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,00159 : 0,00318 = 0,500$. Следовательно, мусковита в глине $0,00053 \times 796,652 = 0,42\%$.

Определим остаток формульных количеств окислов (см. табл. 17), по которому рассчитаем глинистые минералы. Отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ остатка равно $0,36073 : 0,69582 = 0,518$ и его фигуративная точка находится на стороне диаграммы $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$. Это значит, что глинистые минералы, которые будут рассчитаны из остатка, в своем составе не содержат окислов плавней.

Более высокое положение фигуративной точки (0,518) на линии $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ по сравнению с первоначальным расчетом (0,510) объясняется изменениями численных значений формульных количеств при образовании неглинистых минералов. Величина отношения 0,518 еще раз подтверждает наличие в глине высокоглиноземистого минерала. Наиболее вероятно, что в породе из глинистых минералов присутствуют каолинит и галлуазит, характеризующиеся отношением формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,500$, и высокоглиноземистый минерал гидраргиллит ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Эти минералы и целесообразно взять для расчета.

Значит, будем вычислять количество каолинита, галлуазита и гидраргиллита. Так как гидраргиллит в своем составе не содержит SiO_2 , то весь остаток формульного количества SiO_2 нужно распределить между каолинитом и галлуазитом. Учитывая также, что любая смесь минералов, расположенных на линии каолинита, дает отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,500$, можно записать: $\text{Al}_2\text{O}_3 : 0,69582 = 0,500$. Тогда на образование каолинита и галлуазита потребуется $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,69582 \times 0,500 = 0,34791$.

Если в остатке формульное количество Al_2O_3 составляет 0,36073, то на образование гидраргиллита приходится: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,36073 - 0,34791 = 0,01282$ и $\text{H}_2\text{O} = 0,01282 \times 3 = 0,03846$. Всего гидраргиллита в глине будет $0,01282 \times 156,008 = 2,00\%$. После образования гидраргиллита остаток H_2O составит $0,84402 - 0,03846 = 0,80556$.

Для определения количества каолинита и галлуазита составляем два уравнения, обозначив компоненты в каолините буквой a и в галлуазите буквой b :

$$a + b = 0,34791 \quad (1) \quad \text{и} \quad 2a + 4b = 0,80556 \quad (2).$$

Решим эти уравнения, подставив из первого уравнения во второе b :

$$b = 0,34791 - a; \quad 2a + 4(0,34791 - a) = 0,80556;$$

$$2a + 1,39164 - 4a = 0,80556;$$

$$2a = 1,39164 - 0,80556 = 0,58608;$$

$$a = 0,58608 : 2 = 0,29304;$$

$$b = 0,34791 - 0,29304 = 0,05487.$$

Количество каолинита равно $0,29304 \times 258,117 = 75,64\%$ и галлуазита $0,05487 \times 294,204 = 16,14\%$. Теперь проверим правильность расчетов, для чего суммируем цифры по вертикальным графам и горизонтальным строкам. Как видно из табл. 17, эта сумма равна 2,00341; сумма процентных содержаний минералов составляет 100,77, т. е. почти точно совпадает с суммой процентных содержаний окислов (100,79%). Это и подтверждает правильность произведенных вычислений. После приведения процентных содержаний минералов к 100%, получены значения, которые даны в табл. 17.

Таким образом, рассматриваемую глину можно назвать галлуазит-каолининовой, с небольшим содержанием гидраргиллита. Отметим, что авторы работы (Чухров, Берхин, Ермилова, 1963), из которой заимствован химический анализ для расчета, считают эти глины каолинитами, образовавшимися за счет галлуазитов. Следовательно, наш расчет полностью совпадает с данными произведенных ранее исследований. Остается лишь добавить (произведя простейший расчет), что в процессе преобразований 82,41% галлуазита перешло в каолинит, а 17,59% осталось без изменения.

Определим температуру плавления глины по диаграмме фазового равновесия $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Отметим лишь, что фигуративная точка состава будет находиться вблизи изомеры 1800° .

Пример 6. При геологопоисковых работах на строительные материалы была отобрана проба глинистой породы, химический анализ которой приведен в табл. 18. Требуется определить минеральный состав сырья и область возможного его применения.

Процентные содержания окислов пересчитываем в формульные количества. Находим отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ и сумму формульных количеств плавней. Эти параметры соответственно равны 0,142 и 0,246. На рис. 3 местоположение состава приходится на поле XII — глауконитовых глин. Так как геологическая обстановка района и генетические особенности месторождения не позволяют предполагать наличие в сырье глауконита, и если учесть, что поле XII перекрывается полем V — алюминий-монтмориллонитовых глин, то дальнейший анализ целесообразно провести по полю V. Тогда можно считать, что изучаемое сырье является смесью минералов монтмориллонита и нонтронита (фигуративная точка состава лежит в контуре поля V). На возможное присутствие в породе нонтронита косвенно указывает и повышенное содержание Fe_2O_3 .

Кроме того, высокое содержание SiO_2 может указывать на сильную песчанитость породы, что, несомненно, отразится на отношении формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$, т. е. величина этого отношения снизится. В данном случае содержание K_2O и Na_2O будет повышенное, а Al_2O_3 пониженное. Следовательно,

при расчете минералов, содержащих Al_2O_3 , необходимо следить за балансом соответствующих формульных количеств.

По данным химического анализа в сырье могут присутствовать: рутил, гипс, карбонаты кальция и магния, глинистые минералы — монтмориллонит и нонтронит. Кроме того, по данным полевой документации в пробе отмечается значительное количество мелких листочков светлой с серебристым блеском слюды — мусковит-серицита, хорошо окатанные зерна кварца и кристаллики полевых шпатов. Заметим также, что если в суглинках присутствуют карбонаты кальция и магния, то в потери при прокаливании (п. п. п. 8,13%) кроме H_2O входит и CO_2 . В табл. 18 для удобства расчета введены CO_2 и H_2O , а вычисленные затем содержания окислов взяты в скобки. Ниже приводим расчет минералов глинистой породы (см. табл. 18).

Рассчитаем минерал рутил, на образование которого потребуется все формульное количество $TiO_2=0,01064$. Процентное содержание минерала равно единице расчета, умноженной на его формульную массу $0,01064 \times 79,90=0,85\%$. По формульному количеству $SO_3=0,00125$ рассчитаем гипс. Для образования гипса необходимо $SO_3=0,00125$; $CaO=0,00125$ и $H_2O=0,00125 \times 2=0,00250$. Массовое количество этого минерала будет равно $0,00125 \times 172,178=0,22\%$. Формульное количество $MgO=0,05233$. Вычисляем по этому количеству доломит. Для этого потребуется $MgO=0,05233$; $CaO=0,05233$ и $CO_2=0,05233 \times 2=0,10466$. Процентное содержание доломита в породе равно $0,05233 \times 184,422=9,65\%$.

После образования гипса и доломита остаток CaO , равный 0,04895, распределяем на минералы кальцит и анортит. Данных для составления соответствующих уравнений мало, поэтому расчет минералов проводим по отношениям формульных масс окислов, образующих эти соединения. Так, для кальцита будем иметь: $CO_2 : CaO = 44,011 : 56,08 = 0,785$. Из этого отношения ясно, что на 1 мас. ч. CaO приходится 0,785 мас. ч. CO_2 . Если всего массовых частей в кальците: $1 + 0,785 = 1,785$, то процентные содержания окислов могут быть определены следующим образом

$$\left. \begin{array}{l} 1,785 - 100 \\ 0,785 - x \end{array} \right| x = 43,98\% CO_2;$$

$$\left. \begin{array}{l} 1,785 - 100 \\ 1 - y \end{array} \right| y = 56,02\% CaO.$$

Аналогичный расчет производим для анортита ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

$$\frac{Al_2O_3}{CaO} = \frac{101,96}{56,8} = 1,818 \text{ мас. ч. } Al_2O_3;$$

$$\frac{2SiO_2}{CaO} = \frac{60,09 \times 2}{56,08} = \frac{120,18}{56,08} = 2,143 \text{ мас. ч. } SiO_2.$$

Оксиды	Массовая концент-рация, %	Формульные коли-чества	Рутит TiO ₂	Гипс CaO×SO ₃ ×2H ₂ O	Доломит CaO×MgO×2CO ₂	Кальцит CaO×CO ₂	Анортит CaO×Al ₂ O ₃ ×2SiO ₂	Альбит Na ₂ O×Al ₂ O ₃ ×6SiO ₂	Ортоклаз K ₂ O×Al ₂ O ₃ ×6SiO ₂	Мусковит K ₂ O×3Al ₂ O ₃ ×6SiO ₂ ×2H ₂ O	Остаток	Нонтронит Al ₂ O ₃ ×126.6SiO ₂ ×62.6Fe ₂ O ₃ ×126.6H ₂ O	Монтмориллонит Al ₂ O ₃ ×4SiO ₂ ×3H ₂ O	Кварц SiO ₂
SiO ₂	60,06	0,99950	—	—	—	—	0,04895	0,14328	0,09744	0,03252	0,67731	0,06583	0,24100	0,37048
Al ₂ O ₃	14,44	0,14162	—	—	—	—	0,02447	0,02388	0,01624	0,01626	0,06077	0,00052	0,06025	—
TiO ₂	0,85	0,01064	0,01064	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃	5,23	0,03275	—	—	—	—	—	—	—	—	0,03275	0,03275	—	—
CaO	5,75	0,10253	—	0,00125	0,05233	0,024475	0,024475	—	—	—	—	—	—	—
MgO	2,11	0,05233	—	—	0,05233	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	2,04	0,02166	—	—	—	—	—	0,01624	0,00542	—	—	—	—	—
Na ₂ O	1,48	0,02388	—	—	—	—	—	0,02388	—	—	—	—	—	—
SO ₃	0,10	0,00125	—	0,00125	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
П. п. п.	8,13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(CO ₂)	(5,68)	(0,12914)	—	—	0,10466	0,024475	—	—	—	—	—	—	—	—
(H ₂ O)	(4,68)	(0,25992)	—	0,00250	—	—	—	—	—	0,01084	0,24658	0,06583	0,18075	—
Сумма	100,19 (102,42)	1,77522	0,01064	0,00500	0,20932	0,04895	0,09790	0,19104	0,12992	0,06504	1,01741	0,16493	0,48200	0,37048
Отношение формульных количеств Al ₂ O ₃ : SiO ₂	—	0,142	—	—	—	—	0,500	0,167	0,167	0,500	0,090	0,008	0,250	—
Сумма формульных количеств плавней	—	0,246	0,011	0,003	0,105	0,024	0,024	0,024	0,016	0,005	0,033	0,033	—	—
Формульная масса минерала	—	—	70,90	172,178	184,422	100,091	278,22	524,482	556,70	796,652	—	19987,400	396,368	60,09
Минеральный состав, %	—	102,39	0,85	0,22	9,65	2,45	6,81	12,52	9,04	4,32	—	10,39	23,88	22,26
Минеральный состав, приведенный к 100%	—	100	0,83	0,22	9,42	2,39	6,65	12,23	8,83	4,22	—	10,15	23,32	21,74

Всего массовых частей в анортите: $1+1,818+2,143=4,961$, а в процентах

$$\left. \begin{array}{l} 4,961 - 100\% \\ 1,818 - x \end{array} \right\} x = 36,65\% \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$\left. \begin{array}{l} 4,961 - 100\% \\ 1 - y \end{array} \right\} y = 20,16\% \text{ CaO};$$

$$\left. \begin{array}{l} 4,961 - 100\% \\ 2,143 - z \end{array} \right\} z = 43,20\% \text{ SiO}_2.$$

Из расчета видно, что в двух минералах содержится 2 мас. ч. CaO и каждая часть характеризуется своим процентным содержанием в минерале (56,02% CaO в кальците и 20,16% CaO в анортите). Если остаток формульного количества CaO, равный 0,04895, относится к 2 мас. ч., из которых каждая равняется единице, то значение формульного количества для каждого рассчитываемого минерала будет равно 0,024475.

Следовательно, для формирования кальцита (известняка) необходимо $\text{CaO}=0,024475$ и $\text{CO}_2=0,024475$. Количество каль-

цита в породе — $0,024475 \times 100,091 = 2,45\%$. Для образования анортита потребуется $\text{CaO} = 0,024475$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,024475$ и $\text{SiO}_2 = 0,024475 \times 2 = 0,048950$. Процентное содержание анортита, рассчитанное по формульному количеству CaO , равно $0,024475 \times 278,22 = 6,81\%$. Отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,500$.

Далее рассчитаем минерал альбит. Для образования минерала берем все количество Na_2O , равное $0,02388$; оно потребует $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,02388$ и $\text{SiO}_2 = 0,02388 \times 6 = 0,14328$. Процентное содержание альбита $0,02388 \times 524,482 = 12,52\%$. Отношение формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2 = 0,02388 : 0,14328 = 0,16667 = 0,167$.

Вычисляем минералы ортоклаза ($\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) и мусковит ($\text{K}_2\text{O}3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Очевидно, все количество K_2O следует распределить на эти два минерала. Для этого по отношению формульных масс K_2O и Al_2O_3 определяем количество массовых частей окислов в минералах:

Для ортоклаза

$$\frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{94,20}{101,96} = 0,924 \text{ мас. ч. } \text{K}_2\text{O};$$

$$\frac{6\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{60,09 \times 6}{101,96} = \frac{360,54}{101,96} = 3,536 \text{ мас. ч. } \text{SiO}_2.$$

Всего массовых частей в ортоклазе: $1 + 0,924 + 3,536 = 5,460^*$.
Для мусковита

$$\frac{\text{K}_2\text{O}}{3\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{94,2}{101,96 \times 3} = \frac{94,2}{305,88} = 0,308 \text{ мас. ч. } \text{K}_2\text{O};$$

$$\frac{6\text{SiO}_2}{3\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{60,09 \times 6}{101,96 \times 3} = \frac{360,54}{305,88} = 1,179 \text{ мас. ч. } \text{SiO}_2;$$

$$\frac{2\text{H}_2\text{O}}{3\text{Al}_2\text{O}_3} = \frac{18,016 \times 2}{101,96 \times 3} = \frac{36,032}{305,88} = 0,118 \text{ мас.ч. } \text{H}_2\text{O}$$

Всего массовых частей в мусковите: $1 + 0,308 + 1,179 + 0,118 = 2,605$. Вычисления показывают, что массовых частей K_2O в двух минералах $0,924 + 0,308 = 1,232$. Они составляют 100% , из которых на ортоклаз приходится

$$\left. \begin{array}{l} 1,232 - 100\% \\ 0,924 - x \end{array} \right| x = 75,0\%$$

и на мусковит

$$\left. \begin{array}{l} 1,232 - 100\% \\ 0,308 - y \end{array} \right| y = 25,0\%$$

Если формульное количество K_2O для двух минералов равно $0,02166$, то на формирование ортоклаза приходится $0,02166 \times 0,75 = 0,01624$ и мусковита — $0,02166 \times 0,25 = 0,00542$.

* Расчет процентных содержаний окислов здесь не дается, так как эти величины не нужны для дальнейших вычислений

Соответствующие формульные количества окислов, необходимые для образования ортоклаза и мусковита, записаны в табл. 18. Из таблицы видно, что процентное содержание ортоклаза равно 9,04% и мусковита 4,32%. Отношения формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$ соответственно составляют 0,167 и 0,500. Здесь же отметим, что ортоклаз и альбит имеют одинаковые значения отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,167$. Это значит, что любые смеси ортоклаза и альбита будут иметь ту же величину отношений формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$, т. е. 0,167.

Теперь находим остаток формульных количеств окислов. Он дан в табл. 18, где отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,06077 : 0,67731 = 0,090$, а формульное количество плавня (Fe_2O_3) = 0,033. Фигуративная точка остатка (см. рис. 3) попадает в нижний левый угол диаграммы и из-за малого количества плавней она выходит за пределы контура полей наиболее распространенных составов нонтронита и монтмориллонита. Тем не менее наличие в остатке Fe_2O_3 дает основание для расчета минерала нонтронита.

Вычислим количество нонтронита. Формула минерала имеет вид $Al_2O_3 \cdot 126,6 SiO_2 \cdot 62,6 Fe_2O_3 \cdot 126,6 H_2O$. Для образования нонтронита можно взять все количество $Fe_2O_3 = 0,03275$. Однако это количество Fe_2O_3 , как видно из приведенной формулы, не является единицей расчета. Единицей расчета должно быть формульное количество Al_2O_3 , но определить эту величину по табл. 18 трудно, так как в ней нет достаточных данных для составления соответствующих уравнений. Формульное количество H_2O в табл. 18 проставлено после расчета глинистых минералов с целью проверки баланса. Определить единицу расчета нетрудно, если учесть коэффициент 62,6 у Fe_2O_3 . Тогда интересующий нас параметр будет равен $0,03275 : 62,6 = 0,00052$. Следовательно, для образования нонтронита необходимо: $Al_2O_3 = 0,00052$; $SiO_2 = 0,00052 \times 126,6 = 0,06583$; $Fe_2O_3 = 0,00052 \times 62,6 = 0,032552 = 0,03275$ (берем все формульное количество по анализу; недостаток 0,00020 получился в результате округления)*; $H_2O = 0,00052 \times 126,6 = 0,06583$. Отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,00052 : 0,06583 = 0,0079 = 0,008$ соответствует нонтрониту. Количество нонтронита в глине составит $0,00052 \times 19987,400 = 10,39\%$.

Заметим, что если для расчета нонтронита принять его теоретическую формулу $Fe_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ и формульную массу минерала взять равной 315,912, то в этом случае единицей расчета будет все формульное количество $Fe_2O_3 = 0,03275$ и процентное содержание минерала будет равно $0,03275 \times 315,912 =$

* По величине формульного количества $Fe_2O_3 = 0,00020$ можно рассчитать гематит или гётит, тогда мы будем иметь гематита — $0,00020 \times 159,70 = 0,03\%$ или гётита — $0,00020 \times 177,716 = 0,04\%$.

$= 10,3461 = 10,35\%$. Таким образом, если брать для расчета нонтронита приведенные химические формулы, мы получаем очень близкие значения его содержаний, т. е. $10,39\%$ и $10,35\%$ а с округлением — $10,4\%$.

Определим количество монтмориллонита по остатку формульного количества Al_2O_3 , равного $0,06025$. На его образование потребуется: $Al_2O_3 = 0,06025$; $SiO_2 = 0,06025 \times 4 = 0,24100$ и $H_2O = 0,06025 \times 3 = 0,18075$. Отношение формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2 = 0,250$, что соответствует отношению для данного минерала. Количество монтмориллонита в породе составит $0,06025 \times 396,368 = 23,88\%$. Находим количество свободного кремнезема (кварца), которое будет равно $0,67731 - (0,06583 + 0,24100) = 0,37048$, а процентное содержание кварца — $0,37048 \times 60,09 = 22,26\%$.

Проверим правильность расчетов суммированием цифр по вертикальным графам и горизонтальным строкам. Расчет считается правильным, если имеется соответствующий баланс, который в данном случае составляет $1,77522$. Отметим, что сумма процентных содержаний окислов до расчета равнялась $100,19\%$, а после введения в анализ (см. табл. 18) CO_2 и H_2O она составила $102,42\%$. Если учесть, что сумма процентных содержаний минералов равна $102,39\%$, т. е. почти совпадает с суммой содержаний окислов после учета CO_2 и H_2O , то все вычисления можно считать правильными. Сумму процентных содержаний минералов, равную $102,39\%$, приводим к 100% . Для этого применяем коэффициент $K = 100 : 102,39 = 0,97663$. Результат этих вычислений дан в табл. 18.

Определяем номер возможного плагиоклаза, учитывая при этом, что в составе породы имеются минералы альбит ($12,23\%$) и анортит ($6,65\%$). Приравняв сумму двух минералов ($12,23 + 6,65 = 18,88\%$) к 100% и решая две пропорции, получим, что альбит составляет $64,78 \sim 65\%$, а анортит — $35,22 \sim 35\%$. Эти величины соответствуют плагиоклазу № 65 (андезин). Наличие в глине полученного расчетом плагиоклаза не противоречит геологической обстановке района, т. е. здесь имеется комплекс магматических пород, который мог являться для андезинпервоисточником.

Таким образом, по пересчету глинистая порода является нонтронит-монтмориллонитовой с повышенным содержанием кварцевого песка и других неглинистых минералов. Если в породе глинистой составляющей $10,15 + 23,32 = 33,47\%$, а песчаной и пылевой фракций $100 - 33,47 = 66,53\%$, то по действующей классификации, учитывающей зависимость процентного соотношения частиц, порода может быть отнесена к тяжелым суглинкам, переходящим в глины. Повышенное содержание глинистой составляющей и некоторые данные предварительных полевых испытаний позволяют признать суглинки пригодными для производства обыкновенного глиняного кирпича, отвечающего тр

бованиям ГОСТ 530-71, и рекомендовать на месторождении постановку предварительной разведки.

Предлагаемый способ определения минерального типа глин по их валовому химическому составу является одним из возможных для более детального изучения качественных особенностей глинистого сырья. Этот способ вместе с комплексом других исследований может быть полезным как для практики геологоразведочных работ, так и для различных литологических сопоставлений.

Примеры пересчетов, применяемых в производстве вяжущих веществ

Минеральными вяжущими веществами, применяемыми в строительном деле, называют порошкообразные материалы, образующие при затворении водой пластичное тесто, способное твердеть на воздухе или в воде и переходить со временем в твердое камневидное состояние.

Различают три группы минеральных вяжущих веществ: воздушные, гидравлические и кислотоупорные. Воздушные вяжущие вещества (гипсовые, магнизиальные и воздушная известь) после смешения с водой твердеют и сохраняют прочность только на воздухе. Их применяют при строительстве наземных сооружений, не подвергающихся воздействию воды. Гидравлические вяжущие вещества (гидравлическая известь, романцемент, портландцемент, пуццолановый цемент, шлаковые цементы, глиноземистый цемент, расширяющиеся цементы, цементы с микрозаполнителями) после затворения водой и предварительного затвердевания на воздухе могут твердеть и в воде, сохраняя прочность. Эти виды вяжущих веществ применяют в наземных, подземных и гидротехнических сооружениях. Кислотоупорные вяжущие вещества (различные виды кислотоупорных цементов) после затвердевания на воздухе сохраняют прочность при воздействии минеральных кислот. Их используют для кислотоупорных покрытий.

Из названных групп вяжущих веществ могут быть приготовлены: вяжущее тесто, представляющее собой смесь вяжущего вещества и воды, без добавки заполнителей; растворимые смеси — смесь вяжущего вещества, воды и мелкозаполнителя; бетонные смеси — смесь вяжущего вещества, воды, мелко и крупного заполнителей.

Затвердевшее тесто принято называть вяжущим или цементным камнем, затвердевшую растворную смесь — строительным раствором, а затвердевшую бетонную смесь — бетоном. Так как при твердении многих вяжущих веществ происходят сильные деформации с образованием трещин, применение их в виде теста весьма ограничено, а большей частью и невозможно. Введение же в различные строительные смеси заполнителей

экономит расход вяжущих веществ, придает строительным изделиям и деталям необходимые свойства и снижает стоимость строительства.

Для регулирования свойств растворов и бетонов, изготовляемых из вяжущих веществ, и, как уже отмечалось, для экономии самих вяжущих веществ в их состав вводят различные добавки: гидравлические, микронаполнительные, регулирующие сроки схватывания цементов, пластифицирующие и др. Наиболее широко распространены добавки, регулирующие сроки схватывания, гидравлические и микронаполнительные.

Из многочисленных видов минерального сырья для производства вяжущих веществ, оценкой которых по лабораторным и другим данным приходится заниматься геологам, наиболее сложной является оценка сырья для цементной промышленности. Основными его видами являются карбонатные и глинистые породы, а также различные минеральные добавки. Большинство цементных заводов работает на искусственных сырьевых смесях, так как природного цементного сырья, которое бы в натуральном виде обеспечивало получение качественного цемента, очень мало. Смеси могут состоять из двух и более компонентов, оптимальные соотношения между которыми определяются расчетом. Соответствующими расчетами определяют химический состав сырьевой смеси и клинкера, а по химическому составу клинкера — его минеральный состав.

Учитывая, что одним из показателей пригодности карбонатного сырья в цементном производстве является получаемый из сырья (путем обжига до спекания) твердый цементный клинкер, свойства которого определяются химическим и минеральным составом, а также отношениями между окислами, выражающимися модулями (силикатным и глиноземным) и коэффициентом насыщения, геолог должен уметь производить эти расчеты и применять их для предварительной оценки изучаемого сырья. Очевидно, что такие расчеты целесообразно проводить не для всех химических анализов, а для их средних значений по выработкам (шурфам, магистральным канавам), отдельных пластам, блокам подсчета запасов, уступам карьеров или по месторождению в целом.

Особенность приводимых ниже двух пересчетов заключается в том, что они производятся методом формульных количеств с использованием соответствующих коэффициентов и диаграмм азотового равновесия системы $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.

Пример. Для проектируемого цементного завода было разведано месторождение известняков и глин. Технологиами было установлен оптимальный состав шихты: известняк 85,07%, глина 14,35% и колчеданные огарки 0,58%. Исходя из химического состава заводской пробы, приведенного в табл. 19, проверить правильность расчета шихты, рассчитать химический состав сырьевой смеси, химический и минеральный состав цементного

Материалы	Состав исходных материалов, %							Сумма
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	П. п. п.	
Известняк	5,79	1,42	0,71	51,01	1,07	0,01	39,57	99,58
Глина	60,04	17,76	6,86	0,50	1,76	3,31	7,64	97,87
Огарки	14,68	4,54	74,32	1,38	0,58	4,32	—	99,82

В пересчете на 100%

Известняк	5,81	1,43	0,71	51,22	1,08	0,01	39,74	100,00
Глина	61,35	18,15	7,01	0,51	1,80	3,38	7,81	100,01
Огарки	14,71	4,55	74,45	1,38	0,58	4,33	—	100,00

клинкера. По минеральному составу клинкера определить вид получаемого из сырья цемента. При расчете принимается полная кристаллизация состава, при которой сумма основных клинкерных минералов должна составлять 100%.

Выясняем наличие и допустимые пределы вредных примесей в сырьевых материалах: MgO, K₂O+Na₂O, TiO₂, P₂O₅, SO₃. Если эти пределы превышают допуски, указанные в инструкциях и технических условиях, то необходимо получить консультацию в Институте цементной промышленности о возможности использования этого сырья. Консультация нужна: если в карбонатных породах содержание MgO > 4,0%, K₂O+Na₂O — 1,0%, SO₃ — 1,8%, P₂O₅ — 0,4%; в глинистых породах: MgO > 6%, K₂O + Na₂O — 3,5—4,0%, SO₃ — 5%, TiO₂ — 2,0% и P₂O₅ > 0,6% (см. ТУ Гипроцемента, 1970 г.). В нашем примере содержание вредных примесей (K₂O+Na₂O) в глинах близко к пределу, поэтому с институтом была проведена соответствующая консультация. Химический состав исходных компонентов (см. табл. 19) пересчитываем на 100%. Имеем следующие коэффициенты для приведения состава исходных компонентов к 100%: известняк — 1,004218; глина — 1,021764; огарки — 1,001803.

Для предварительной оценки сырьевых материалов определяем силикатный (*n*) и глиноземный (*p*) модули по формулам:

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3};$$

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Величина силикатного модуля изменяется от 1,7 до 3,5; оптимальное его значение равно 2—3; глиноземного — от 0,9 до 2,6; оптимальное значение — 1,2—2,4.

Рассматриваемые сырьевые материалы характеризуются следующими значениями модулей:

известняка

$$n = \frac{5,81}{1,43 + 0,71} = \frac{5,81}{2,14} = 2,72; \quad p = \frac{1,43}{0,71} = 2,01;$$

глины

$$n = \frac{61,35}{18,15 + 7,01} = \frac{61,35}{25,16} = 2,44; \quad p = \frac{18,15}{7,01} = 2,59;$$

огарки

$$n = \frac{14,71}{4,55 + 74,45} = \frac{14,71}{79,0} = 0,19; \quad p = \frac{4,55}{74,45} = 0,06.$$

Расчет показывает, что у известняков силикатный и глиноземный модули находятся в допустимых пределах, а глиноземный модуль у глин близок к максимальному и свидетельствует о недостатке в глинах окиси железа. Следовательно, рекомендации технологов о необходимости введения в сырьевую смесь колчеданных огарков являются правильными. Модули у колчеданных огарков находятся в пределах, свойственных этому виду добавок.

Теперь определим соотношение между сырьевыми компонентами по общепринятым формулам для трехкомпонентной смеси. Принимая, что в сырьевой смеси на 1 мас. ч. третьего компонента приходится x мас. ч. первого и y мас. ч. второго, расчетные формулы, при условии возможности задаваться двумя величинами — коэффициентом насыщения и силикатным (или глиноземным) модулем, имеют вид:

$$x = \frac{b_2c_1 - b_1c_2}{a_1b_2 - a_2b_1};$$

$$y = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1},$$

где

$$a_1 = C_1 - 2,8S_1 \cdot KH - 1,65A_1 - 0,35F_1^*;$$

$$b_1 = C_2 - 2,8S_2 \cdot KH - 1,65A_2 - 0,35F_2^*;$$

$$c_1 = 2,8S_3 \cdot KH + 1,65A_3 + 0,35F_3^* - C_3;$$

$$a_2 = S_1 - nA_1 - nF_1^*;$$

$$b_2 = S_2 - nA_2 - nF_2^*;$$

$$c_2 = nA_3 + cF_3^* - S_3.$$

* При расчетах пользуются сокращенными обозначениями окислов: CaO — C; SiO₂ — S; Al₂O₃ — A и Fe₂O₃ — F, причем содержание окислов в каждом из сырьевых компонентов обозначают с индексом внизу.

Если для расчета принимают глиноземный модуль (p), тогда b_2 и c_2 вычисляются по формулам:

$$a_2 = A_1 - pF_1;$$

$$b_2 = A_2 - pF_2;$$

$$c_2 = pF_3 - A_3.$$

В нашем примере принимается коэффициент насыщения $KH=0,90$, а силикатный модуль $n=2,3$. Соотношение между сырьевыми компонентами находим, решая следующие уравнения:

$$a_1 = 51,22 - 2,8 \times 5,81 \times 0,90 - 1,65 \times 1,43 - 0,35 \times 0,71 = \\ = 51,22 - 14,64 - 2,36 - 0,25 = 51,22 - 17,25 = 33,97;$$

$$b_1 = 0,51 - 2,8 \times 61,35 \times 0,90 - 1,65 \times 18,25 - 0,35 \times 7,01 = \\ = 0,51 - 154,60 - 29,95 - 2,45 = 0,51 - 187,00 = -186,49;$$

$$c_1 = 2,8 \times 14,71 \times 0,90 + 1,65 \times 4,55 + 0,35 \times 74,45 - 1,38 = \\ = 37,07 + 7,51 + 26,06 - 1,38 = 69,26;$$

$$a_2 = 5,81 - 2,3 \times 1,43 - 2,3 \times 0,71 = 5,81 - 3,29 - 1,63 = \\ = 5,81 - 4,92 = 0,89;$$

$$b_2 = 61,35 - 2,3 \times 18,15 - 2,3 \times 7,01 = 61,35 - 41,74 - 16,12 = \\ = 61,35 - 57,86 = 3,49;$$

$$c_2 = 2,3 \times 4,55 + 2,3 \times 74,45 - 14,71 = 10,46 + 171,24 - 14,71 = \\ = 181,70 - 14,71 = 166,99.$$

Полученные значения подставляют в уравнения для определения x и y :

$$x = \frac{3,49 \times 69,26 - (-186,49 \times 166,99)}{33,97 \times 3,49 - (0,89 - 186,49)} = \frac{241,72 - (-31\,141,97)}{118,56 - (-165,98)} = \\ = \frac{241,72 + 31\,141,97}{118,56 + 165,98} = \frac{31\,383,69}{284,54} = 110,296 \text{ мас. ч.};$$

$$y = \frac{33,97 \times 166,99 - 0,89 \cdot 69,26}{33,97 \cdot 3,49 - (-186,49 - 0,89)} = \frac{5672,65 - 61,64}{118,56 - (-165,98)} = \\ = \frac{5611,01}{118,56 + 165,98} = \frac{5611,01}{284,54} = 19,720 \text{ мас. ч.}$$

Всего массовых частей: $110,296 + 19,720 + 1 = 131,016$.

Находим коэффициент для расчета процентных содержаний сырьевых материалов: $K=100 : 131,016=0,763266$, тогда процентные содержания материалов в шихте будут составлять:

$$\text{известняки} - 110,296 \times 0,763266 = 84,19\%$$

$$\text{глины} - 19,720 \times 0,763266 = 15,05\%$$

$$\text{огарки} - 1,000 \times 0,763266 = 0,76\%$$

$$\hline 100,00\%.$$

Сравнивая результаты расчета с составом шихты, приведенным в условии примера, видим их хорошую сопоставимость.

Рассчитаем химический состав сырьевой смеси и клинкера (табл. 20 и 21). Относительные массовые количества представляют собой произведение процентного содержания породы на

Таблица 20

Окислы	Известняк 84,19%		Глина, 15,05%		Огарки, 0,76%		Сумма относительных количеств окислов	Состав сырьевой смеси, %
	массовая концентрация в сырье, %	относительное массовое количество	массовая концентрация в сырье, %	относительное массовое количество	массовая концентрация в сырье, %	относительное массовое количество		
SiO ₂	5,81	489,14	61,35	923,32	14,71	11,18	1423,64	14,24
Al ₂ O ₃	1,43	120,39	18,15	273,16	4,55	3,46	397,01	3,97
Fe ₂ O ₃	0,71	59,77	7,01	105,50	74,45	56,58	221,85	2,22
CaO	51,22	4312,21	0,51	7,68	1,38	1,05	4320,94	43,21
MgO	1,08	90,93	1,80	27,09	0,58	0,44	118,46	1,18
K ₂ O + + Na ₂ O	0,01	0,84	3,38	50,87	4,33	3,29	55,00	0,55
П. п. п.	39,74	3345,71	7,81	117,54	—	—	3463,25	34,63
							10000,15	100,00

соответствующий процент ее окислов. Коэффициент для определения массового состава окислов в сырьевой смеси равен: $K = 100 : 10\,000,15 = 0,01$. Умножив сумму относительных количеств окисла на 0,01, получаем его процентное содержание в сырьевой смеси. Состав клинкера определяем путем пересчета состава сырьевой смеси на прокаленное вещество (см. табл. 21)

Таблица 21

Компоненты	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + + Na ₂ O	П.п.п.	Сумма
Состав сырьевой смеси, %	14,24	3,97	2,22	43,21	1,18	0,55	34,63	100,00
Состав клинкера, %	21,97	6,12	3,42	66,66	1,82	—	—	100,00

щелочи для упрощения пересчета не учитываются. Находим коэффициент для пересчета, который будет равен $100 : 64,82 = 1,542734$. Определяем правильность расчета химического состава клинкера. Для этого вычисляем коэффициент насыщения $KН$, силикатный n и глиноземный p модули (см. табл. 21):

$$KH = \frac{\text{CaO} - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3}{2,8\text{SiO}_2} = \frac{66,66 - 1,65 \cdot 6,12 - 0,35 \cdot 3,42}{2,8 \times 21,97} =$$

$$= \frac{66,66 - 10,10 - 1,20}{61,52} = \frac{55,36}{61,52} = 0,90;$$

$$n = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{21,97}{6,12 + 3,42} = \frac{21,97}{9,54} = 2,30;$$

$$p = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = \frac{6,12}{3,42} = 1,79.$$

Полученные значения коэффициента насыщения и силикатного модуля полностью совпадают с заданными и, следовательно, свидетельствуют о правильности расчетов. Из расчета также ясно, что введение в шихту огарков снизило значение глиноземного модуля (2,59) и теперь этот модуль находится в допустимых пределах.

Отметим, что расчет двухкомпонентной сырьевой смеси, когда на 1 мас. ч. второго компонента приходится x мас. ч. первого, производят по формуле

$$x = \frac{2,8S_2 \cdot KH + 1,65A_2 + 0,35F_2 - C_2}{C_1 - 2,8S_1 \cdot KH - 1,65A_1 - 0,35F_1}.$$

Производим расчет минерального состава клинкера методом формульных количеств по его химическому составу, приведенному в табл. 22. Для этого содержание CaO , Al_2O_3 , SiO_2 пересчитаем на 100% и нанесем фигуративную точку на диаграмму $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ (рис. 4). В данном примере фигуративная точка (на диаграмму не нанесена), имея координаты $\text{SiO}_2 - 23,19$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 6,46$; $\text{CaO} - 70,35$, попадает в поле треугольника, вершинами которого являются минералы: $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (алит), $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (трехкальциевый алюминат) и $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит). Следовательно, пересчет химического состава клинкера необхо-

Таблица 22

Оксиды	Массовая концентрация, %	Коэффициенты для пересчета	Формульные количества ($\times 1000$)	Клинкерные минералы				
				C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	MgO
SiO_2	21,97	1,664170	366	256	110	—	—	—
Al_2O_3	6,12	0,980777	60	—	—	39	21	—
Fe_2O_3	3,42	0,626174	21	—	—	—	21	—
CaO	66,66	1,783167	1189	768	220	117	84	—
MgO	1,82	2,480159	45	—	—	—	—	45
Сумма	99,99		1681	1024	330	156	126	45
Минеральный состав, %	99,96			58,45	18,95	10,54	10,21	1,81

димо вести на эти три минерала, а для связывания окислов Fe_2O_3 и MgO — на $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (целит) и MgO (периклаз). Расчет ведется, как указано выше, при условии, что сумма пяти минералов будет равна 100%. Напомним, что формульные массы клинкерных минералов можно брать из таблицы на с. 115.

Процентные содержания окислов с помощью коэффициентов или таблиц (Авидон, 1968) пересчитаем в формульные количества и запишем в табл. 22, где приведены все данные пересчета.

По формульному количеству MgO , равному 45, определяем количество периклаза. Оно равно произведению формульного

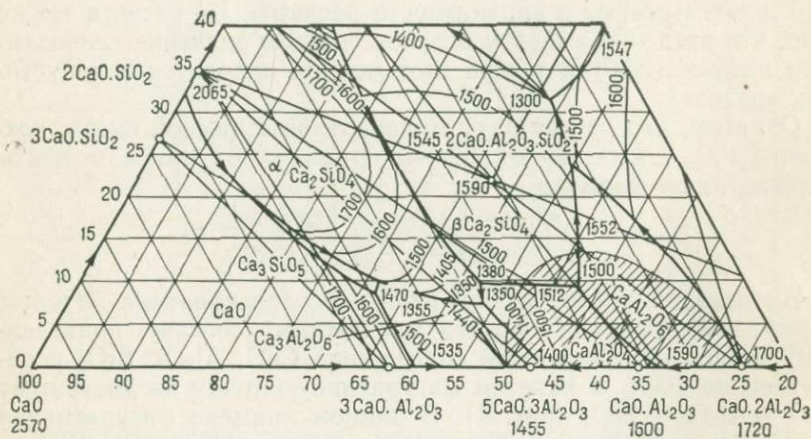


Рис. 4. Часть диаграммы $CaO-Al_2O_3-SiO_2$, в которой располагаются различные составы цементов. Заштрихованный участок — поле глиноземистых цементов. «Справочник по производству цемента», 1963

количества на формульную массу минерала: $45 \times 40,32 = 1,81\%$. По содержанию Fe_2O_3 рассчитываем минерал C_4AF (целит, браунмиллерит). На его образование пойдет все количество $Fe_2O_3 = 21$, $Al_2O_3 = 21$ и $CaO = 21 \times 4 = 84$ (см. табл. 22). Процентное содержание целита определяем по формульному количеству Fe_2O_3 : $21 \times 485,98 = 10,21\%$.

Теперь по остатку формульного количества Al_2O_3 определяем количество C_3A : $Al_2O_3 (60 - 21) = 39$, которое потребует утроенное количество $CaO = 117$. Процентное содержание минерала установим по количеству $Al_2O_3 = 39$, которое умножим на формульную массу этого минерала: $39 \times 70,20 = 10,54\%$.

На образование минералов алита (C_3S) и белита (C_2S) пойдет все количество $SiO_2 = 366$ и оставшееся количество $CaO = 1189 - (84 + 117) = 1189 - 201 = 988$. Для определения количества SiO_2 , необходимого на формирование каждого минерала, нужно составить и решить два уравнения. Обозначив содержа-

ние SiO_2 в C_3S — буквой a и содержание SiO_2 в C_2S буквой b , можно написать $a + b = 366$ и $3a + 2b = 988$.

Решая уравнения методом подстановки, будем иметь:

$$b = 366 - a; 3a + 2(366 - a) = 988;$$

$$3a + 732 - 2a = 988;$$

$$a = 988 - 732 = 256;$$

$$b = 366 - 256 = 110.$$

Для образования белита потребуется $\text{CaO} = 110 \times 2 = 220$; для алита $\text{CaO} = 256 \times 3 = 768$. Соответственно их количества, определяемые по SiO_2 , будут составлять:

$$\text{C}_2\text{S} = 110 \times 172,25 = 18,95\%;$$

$$\text{C}_3\text{S} = 256 \times 228,33 = 58,45\%.$$

Суммированием цифр по вертикальным графам и горизонтальным строкам проверяем правильность расчетов. Таким образом, минеральный состав клинкера, рассчитанный методом формульных количеств, характеризуется следующими данными: $\text{C}_3\text{S} — 58,45\%$; $\text{C}_2\text{S} — 18,95\%$; $\text{C}_3\text{A} — 10,54\%$; $\text{C}_4\text{AF} — 10,21\%$ и $\text{MgO} — 1,81\%$; сумма — $99,96\%$; недостаток $0,04\%$ объясняется округлениями при расчете.

Рассчитанный минеральный состав клинкера показывает, что из разведанного сырья можно получить алит-белитовый портландцемент с довольно высоким содержанием алита (наиболее желательной составной частью цемента).

Определение химического состава клинкера по формульным количествам клинкерных минералов

Качество и технические свойства различных цементов в значительной степени зависят от процентного содержания в клинкере клинкерных минералов. Зная свойства отдельных клинкерных минералов и эксплуатационные условия, в которых будет находиться бетон, выбирают цемент соответствующего минерального состава. Следовательно, расчеты химического состава клинкера по заданному минеральному составу имеют важное практическое значение. Зная оптимальный химический состав цементного клинкера, нетрудно подобрать необходимую для обжига сырьевую смесь. Кроме того, по рассчитанному химическому составу клинкера и химическому составу изучаемого сырья геолог может судить о качественных особенностях сырья.

Техника этих расчетов, если пользоваться коэффициентами для определения формульных количеств клинкерных минералов (см. с. 115), весьма проста. При расчетах целесообразно пользоваться готовыми бланками, которые заполняют снизу вверх и справа налево.

Пример. Требуется определить химический состав портландцементного клинкера заданного минерального состава: C_3S — 65,98%; C_2S — 5,15%; C_3A — 19,75% и C_4AF — 9,12% всего 100%*.

Данные минерального состава клинкера записываем в табл. 23. По соответствующей таблице находим коэффициент для определения формульных количеств клинкерных минералов и заносим их в табл. 23. Определяем единицы расчета клинкерных минералов, для чего умножаем процентное содержание минерала на его расчетный коэффициент. Например, единицей расчета для белита будет формульное количество, равное $5,15 \times 0,580552 = 30$. Все найденные единицы расчета записываем в табл. 23. По единицам расчета находим формульные количества окислов, образующих данный минерал. Так, для минерала C_4AF (целита) единицей расчета является формульное количество, равное 19. Следовательно, на его образование потребуется: $Fe_2O_3 = 19$; $Al_2O_3 = 19$ и $CaO = 19 \times 4 = 76$. Аналогичным способом находим формульные количества для всех минералов.

Суммируем формульные количества по горизонтальным строкам и вертикальным графам. Соответствующие суммы записываем в графу «Сумма формульных количеств» против каждого

Таблица 23

Окислы	Массовая концентрация в пересчете на 100%	Массовая концентрация, %	Сумма формульных количеств	Клинкерные минералы			
				C_3S (алит)	C_2S (белит)	C_3A (трехкальциевый алюминат)	C_4AF (целит)
SiO_2	19,15	19,17	319	289	30		
Al_2O_3	9,37	9,38	92			73	19
Fe_2O_3	3,03	3,03	19				19
CaO	68,45	68,53	1222	867	60	219	76
Сумма	100,0	100,11	1652	1156	90	292	114
Единицы расчета				289	30	73	19
Коэффициенты для расчета				0,437963	0,580552	0,370096	0,20577
Минеральный состав, %		100,00	—	65,98	5,15	19,75	9,12

* Анализ заимствован из работы Ю. М. Бутта, В. В. Тимашева (1967).

окисла и в вертикальные графы каждого минерала (см. табл. 23). Проверяем расчет, который считается правильным, если сумма формульных количеств всех окислов равна сумме формульных количеств клинкерных минералов. В нашем примере сумма составляет 1652.

Дальше надо определить процентное содержание каждого окисла. Для этого формульное количество окисла умножаем на его формульную массу или берем по таблицам В. П. Авидона (1968). Для CaO при величине формульного количества 1222 и формульной массе 56,08 оно равно $1222 \times 56,08 = 68,53\%$. Так как сумма содержаний окислов составляет 100,11%, то ее можно привести к 100%. Результаты этого пересчета, произведенные с помощью коэффициента, равного $100 : 100,11 = 0,998901$, даны в табл. 23.

Заметим, что химический состав клинкера по данным Ю. М. Бутта, В. В. Тимашева (1967) следующий: $\text{SiO}_2 = 19,11\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,36\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3,07\%$; $\text{CaO} = 68,46\%$. Сравнивая этот состав с расчетным (см. табл. 23), видна хорошая их сходимость. Наконец, если нанести фигуративную точку ($\text{CaO} = 70,59\%$; $\text{SiO}_2 = 19,75\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 9,66\%$) на диаграмму $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (см. рис. 4), то она попадает в поле кристаллизации минералов $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, т. е. в поле кристаллизации трех основных минералов, которые были приняты в нашем примере. Этот факт также подтверждает правильность произведенного расчета.

Таким образом, из изложенного и более ранних работ (Авидон, 1968, 1970) видно, что расчет химического состава клинкера заданного минерального состава и пересчет химических анализов клинкера на минералы методом формульных количеств достаточно точны и могут быть использованы в производственной и лабораторной практике, а также при оценке качества цементного сырья разведываемых месторождений.

Примеры пересчетов, применяемых в производстве керамики

Термин «керамика» в некоторых литературных источниках до 1940 г. трактовался как гончарное искусство, производство различных изделий из природных глин (от кирпича до тончайшего фарфора). В современном понимании термин «керамика» отличается от этого традиционного представления.

«В настоящее время,—как отмечают П. П. Будников и Ю. Е. Пивинский (1968),—керамикой называют материалы, сформованные не только из глин, но и из других минеральных порошков, упрочненные путем обжига при высокой температуре. По керамической технологии получают не только традиционные материалы (огнеупоры, фарфор, строительная керамика), но и металлокерамика (изделия порошковой металлургии), ферриты, титанаты, изделия из чистых окислов, керметы,

карбиды, нитриды, силициды и другие безглинистые материалы, без которых немислимо развитие новой техники». Новые виды керамики характеризуются рядом ценнейших свойств: большой прочностью, высокой температурой плавления (выше 2000—3000°), малой теплопроводностью, высокими электроизоляционными, ферромагнитными, полупроводниковыми и другими свойствами.

Как бы разнообразны виды керамики ни были, их технические возможности и свойства в значительной степени зависят от минерального состава и особенностей микроструктуры, т. е. количества и размера пор, величины отдельных зерен и их формы, наличия кристаллических фаз, строения и состава границ между ними. Следовательно, получение изделий с заданными техническими свойствами имеет важное практическое значение. Для современной керамической технологии решение этих вопросов не представляет особых затруднений, так как ранее существовавший эмпирический подход к делу теперь заменен научно обоснованным расчетом, знанием физико-химических особенностей систем фазового равновесия и т. д. Учитывая это, в керамическом производстве, как и вообще в технологии силикатов, широко применяют различные расчеты, в том числе расчеты соотношений компонентов сырьевой шихты и ее химического состава по данным химических анализов исходных компонентов, пересчеты химического состава шихты на минералы, определенные химического состава шихты для получения изделий заданного минерального состава. Так же широко применяются диаграммы фазового равновесия силикатных систем для выяснения особенностей кристаллизации расплавов и установления их основных минеральных фаз, а также микроскопические и другие исследования. Если керамика представлена монокристаллами, то ее технические свойства будут обусловлены типом кристаллической решетки, природой связи ее структурных частиц, наличием примесей и типом дефектов решетки. В этом случае большое значение приобретают данные рентгеноструктурного и других видов анализов. Ниже даны примеры пересчета, применительно к производству строительной и технической керамики.

Пример. Заводская шихта для производства облицовочных керамических плиток состоит из следующих компонентов: пиррофиллит 40%, каолин 18%, монтмориллонит 18%, кварц 10%, тальк 12%, мрамор 2%. Исходя из химических формул образующих шихту минералов, надо определить химический состав шихты, температуру ее плавления, путь кристаллизации расплава, основной минеральный состав и структуру керамики.

Состав заводской шихты запишем в табл. 24. Затем по таблицам (см. с. 115) находим коэффициенты для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества и также записываем их в табл. 24. Определяем единицы расчета минералов путем умножения процентного содержания минера-

Оксиды	Массовая концентрация, %	Формульные количества	Минералы шихты					
			Пиррофиллит $Al_2O_3 \times 4 SiO_2 \times H_2O$	Каолинит $Al_2O_3 \times 2 SiO_2 \times 2 H_2O$	Монтмориллонит $Al_2O_3 \times 4 SiO_2 \times 3 H_2O$	Кварц SiO_2	Тальк $3 MgO \times 4 SiO_2 \times H_2O$	Мрамор $CaO \cdot CO_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	63,58	1058	444	140	180	166	128	—
Al ₂ O ₃	23,04	226	111	70	45	—	—	—
CaO	1,12	20	—	—	—	—	—	20
MgO	3,87	96	—	—	—	—	96	—
H ₂ O	7,53	418	111	140	135	—	32	—
CO ₂	0,88	20	—	—	—	—	—	20
Сумма	100,02	1838	666	350	360	166	256	40
Единицы расчета ($\times 1000$)			111	70	45	166	32	20
Коэффициенты для пересчета			0,277519	0,387339	0,252291	1,664170	0,263619	0,999091
Состав шихты, %			40	18	18	10	12	2

ла на его коэффициент. Полученные значения формульных количеств вносим опять в табл. 24. Так, например, для 18% каолинита формульное количество, являющееся единицей расчета, равно: $18,00\% \times 0,387339 = 0,06972102 \times 1000 = 69,72 = 70$. По единицам расчета определяем формульные количества окислов, образующих данный минерал. Например, для талька эти количества будут составлять: $H_2O = 32$; $SiO_2 (32 \times 4) = 128$; $MgO (32 \times 3) = 96$. Найденные величины записываем в графу данного минерала и в строки соответствующих окислов (см. табл. 24). Аналогично находим формульные количества окислов для других минералов шихты. Найденные формульные количества суммируем по горизонтальным строкам и вертикальным графам и записываем в соответствующие графы табл. 24. При проверке оказалось, что сумма формульных количеств минералов равна сумме формульных количеств всех окислов. Следовательно, можно считать расчет правильным.

Вычисляем процентные содержания окислов по их формульным количествам. Эти определения, как уже отмечалось, могут

быть выполнены двумя способами: по таблицам для пересчета процентных содержаний окислов в формульные количества и путем умножения формульных количеств окислов на их формульные массы. Так, например, найдем по таблице (Авидон, 1968) формульное количество SiO_2 , которое равно 1058, что соответствует 63,6% и т. д.

По второму способу — формульные количества окислов (см. табл. 24), уменьшенные в 1000 раз, умножают на их формульные массы: для SiO_2 будем иметь $1,058 \times 60,09 = 63,58\%$; для Al_2O_3 — $0,226 \times 101,96 = 23,04\%$; для CaO — $0,020 \times 56,08 = 1,12\%$; для MgO — $0,096 \times 40,32 = 3,87\%$; для H_2O — $0,418 \times 18,016 = 7,53\%$; для CO_2 — $0,020 \times 44,011 = 0,88\%$. Найденные процентные содержания окислов записываем в табл. 24. Правильность вычислений проверяем по сумме процентных содержаний окислов, которая должна быть равна 100%. В нашем случае она составляет 100,02%. При необходимости процентные содержания могут быть приведены к 100. Таким образом, данные графы 2 (см. табл. 24) характеризуют химический состав шихты для получения керамических плиток.

Чтобы решить другие условия примера, в частности найти температуру плавления смеси, пути кристаллизации силикатного расплава и другие, необходимо: процентные содержания трех основных окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO) привести к 100% (табл. 25) и нанести фигуративную точку на диаграмму MgO —

Таблица 25

Окислы	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO_2	63,58	70,26
Al_2O_3	23,04	25,46
MgO	3,87	4,28
Сумма	90,49	100,00

Al_2O_3 — SiO_2 (рис. 5). Из рис. 5 видно, что фигуративная точка Φ приходится на поле муллита между изотермами 1600—1700°. Следовательно, температура плавления смеси (или начала кристаллизации) может быть 1620—1640°. При этом первым будет кристаллизоваться муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$).

Если точку Φ соединить пунктирной линией с точкой «муллит», расположенной на стороне SiO_2 — Al_2O_3 , а затем эту линию продолжить до пересечения с пограничной линией муллит—тридимит (точка а), являющейся линией двойной эвтектики этих двух соединений, мы установим путь кристаллизации чистых кристаллов муллита. В интервале точек Φ —а происхо-

дит понижение температуры и изменение состава остаточной жидкости. В точке а примерно при температуре 1470° выпадение кристаллов чистого муллита заканчивается и происходит образование двойной эвтектики муллит — тридимит в количественных отношениях. Этот процесс будет протекать до реакцион-

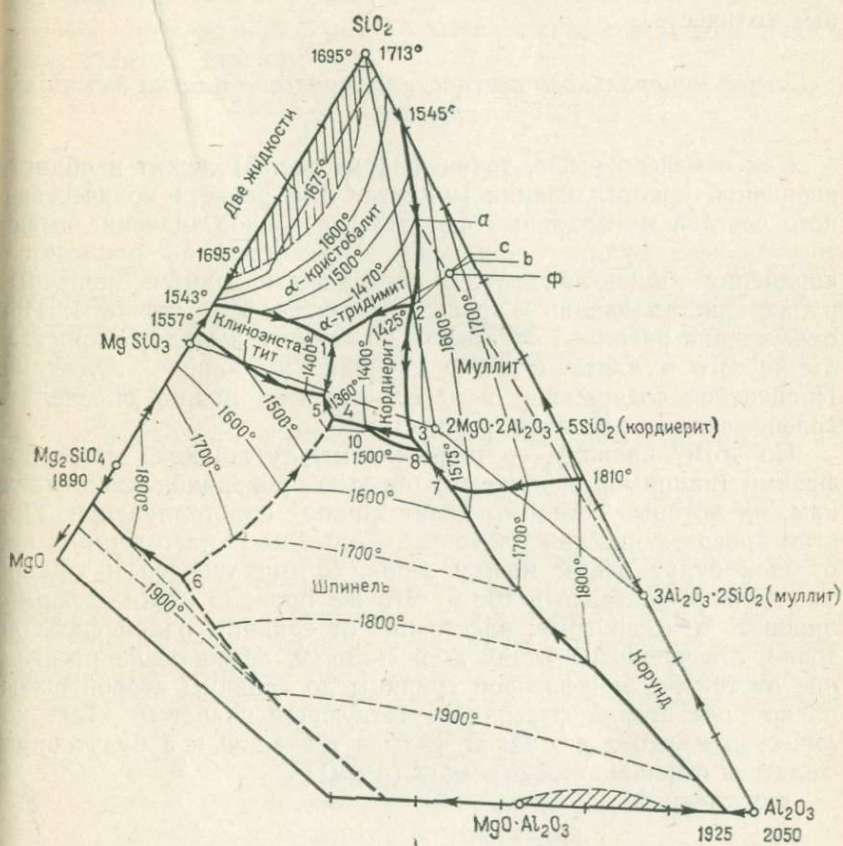


Рис. 5. Участок диаграммы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$, в поле муллита которого (точка Ф) расположен состав керамической плитки

ной точки 2 с температурой 1425°. Здесь происходит реакция между тридимитом SiO_2 , муллитом $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, кордиеритом $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$ и расплавом. От точки 2 до точки 1 процесс будет характеризоваться образованием двойной эвтектики тридимит — кордиерит, а в точке 1 при температуре 1345° образуется тройная эвтектика, в которой три твердые фазы — тридимит, кордиерит, клиноэнстатит — и жидкость находятся в равновесии. Названные твердые фазы выделяются в количественном отношении тройной эвтектики. Химический состав в точке 1 пред-

ставлен: MgO — 20,3%; Al_2O_3 — 18,3%; SiO_2 — 61,4%. Температура кристаллизации 1345° .

Таким образом, пиррофиллитовая керамика имеет минеральный состав: муллит, кордиерит, клиноэнстатит, тридимит и стекло. Количественные соотношения минералов можно рассчитать двумя способами — способом рычага и способом формульных количеств.

Расчет минерального состава керамической плитки методом рычага

Как отмечено выше, точка Φ (см. рис. 5) лежит в области первичной кристаллизации муллита. Для расчета количественного состава минеральных фаз здесь основное значение имеют треугольники муллит — кордиерит — кремнезем и кремнезем — кордиерит — клиноэнстатит. В последнем находится конечный пункт кристаллизации — тройная эвтектическая точка 1. При охлаждении расплава состава Φ до точки a выпадают кристаллы чистого муллита, а далее двойная и тройная эвтектики. Процентное содержание минеральных фаз можно определить графически правилом рычага.

По этому правилу, соотношение между жидкой и твердой фазами (например, в точке Φ) обратно пропорционально отрезкам, на которые изотерма делит линию кристаллизации. При этом произведения каждой составляющей на прилегающий к ней отрезок будут равны между собой. Сумма твердой и жидкой фаз должна составлять 100%. Это же правило можно сформулировать и по-другому: расстояние от границы одной фазы до точки, отвечающей составу всей системы, деленное на расстояние от той же межфазовой границы до границы второй фазы, равно доле второй фазы, присутствующей в системе. Так, количество муллита и жидкой фазы в точках Φ и a будут определяться отношениями отрезков (в мм):

для точки Φ

$$\frac{(\Phi - \Phi) \cdot 100}{\Phi - M} = \frac{0 \times 100}{60} = 0.$$

Расчет показывает, что количество муллита в точке Φ , являющейся точкой плавления и начала кристаллизации расплава, равно нулю; жидкой фазы — 100%.

В точке a количество кристаллов чистого муллита и жидкой фазы определяется следующим отношением отрезков (при $a - \Phi = 10$ мм и $M - a = 70$ мм):

$$\frac{(a - \Phi) \cdot 100}{a - M} = \frac{10 \times 100}{70} = 14,3\% \text{ муллита;}$$
$$\frac{(M - \Phi) \cdot 100}{M - a} = \frac{60 \times 100}{70} = 85,7\% \text{ жидкой фазы.}$$

Последующая кристаллизация 85,7% жидкой фазы будет происходить по линиям двойных эвтектик а—2; 2—1 и закончится в точке 1 выпадением тройной эвтектики. Напомним, что точка 2 реакционная. Если точку 1 соединить с точкой Ф и продолжить прямую линию до пересечения со стороной треугольника кремнезем—муллит, получим отрезки 1—Ф=22 мм и Ф—в=4 мм.

После затвердевания расплава количество связующей стеклофазы будет составлять:

$$\frac{(в - \Phi) \cdot 100}{в - 1} = \frac{4 \times 100}{26} = 15,4\%,$$

а количество твердых минеральных фаз:

$$\frac{(1 - \Phi) \cdot 100}{1 - в} = \frac{22 \times 100}{26} = 84,6\%.$$

Соединив точку 2 с точкой Ф и продолжив прямую до стороны кремнезем—муллит, получим пересечение в точке с. Длины этих отрезков будут равны: 2—Ф=8 мм, с—Ф=5 мм и 2—с=13 мм. Соответствующие им отношения дадут количество твердой и жидкой фаз:

$$\frac{(2 - \Phi) \cdot 100}{2 - с} = \frac{8 \times 100}{13} = 61,5\% \text{ двойной эвтектики};$$

$$\frac{(с - \Phi) \cdot 100}{с - 2} = \frac{5 \times 100}{13} = 38,5\% \text{ жидкой фазы.}$$

Если в керамике всего кристаллических фаз 84,6%, из которых чистых кристаллов муллита 14,3%, на минеральные фазы двойной и тройной эвтектик будет приходиться: 84,6%—14,3% = 70,3%; из них двойной эвтектики 61,5% и тройной эвтектики: 70,3%—61,5% = 8,8%. Минералы в эвтектиках выделяются в количественных отношениях этих эвтектик. Проверим расчет:

кристаллов муллита	14,3%
двойной эвтектики	61,5%
тройной эвтектики	8,8%
стеклофазы	15,4%

100,0%

Правильность расчета можно также подтвердить суммарным количеством стеклофазы и эвтектик: 15,4% + 8,8% + 61,5% = 85,7%. Численно эта величина равна количеству жидкой фазы, которая осталась после кристаллизации 14,3% муллита. Значение жидкой фазы 38,5% представляет собой величину, которая необходима на образование 8,8% минералов тройной эвтектики, 14,3% муллита и 15,4% стеклофазы, цементирующей керамику. Используя данные расчета, можно написать структуру керамики:

$$\begin{aligned} &14,3\% \text{ муллита} + 61,5\% \text{ эвтектики (тридимит} + \text{ кордиерит)} + \\ &+ 8,8\% \text{ эвтектики (тридимит} + \text{ кордиерит} + \text{ клиноэвстатит)} + \\ &+ 15,4\% \text{ стеклофазы.} \end{aligned}$$

Так как в тройной эвтектике находятся в равновесии три твердые фазы и жидкость, то общее ее количество равно: $8,8\% + 15,4\% = 24,2\%$.

Отметим, что данный расчет минерального состава керамики исходил из условия охлаждения расплава. На практике этот процесс идет в обратном порядке — нагрев изделия, образование тройной и двойной эвтектик, образование кристаллов муллита. Естественно также, что процесс обжига изделий будет заканчиваться при более низких температурах, чем температура, фиксируемая фигуративной точкой Ф. Зная конечную температуру обжига, можно произвести соответствующий расчет минеральных фаз, образовавшихся в керамике.

Расчет минерального состава керамической плитки методом формульных количеств

При пересчете химического состава сырьевой смеси на минералы методом формульных количеств следует учитывать особенности диаграмм фазового равновесия силикатных систем, по которым, как было показано выше, можно определять кристаллизующиеся из данного расплава минералы. Так, в рассматриваемом примере по химическому составу сырьевой смеси (табл. 26) определение кристаллизующихся из расплава минералов целесообразно провести по двум диаграммам: $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ и $CaO-Al_2O_3-SiO_2$. Коэффициент пересчета $K = 1,091584$.

Найдя после соответствующего расчета местоположение фигуративных точек, прослеживают путь кристаллизации расплава в двух системах. В системе $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ (см. рис. 5) кристаллизующимися минералами являются: муллит, тридимит, кордиерит и клиноэнстатит. По диаграмме $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ (рис. 6) фигуративная точка О, нанесенная по координатам табл. 27, приходится на поле первичной

Таблица 26

Окислы	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO ₂	63,58	69,40
Al ₂ O ₃	23,04	25,15
MgO	3,87	4,23
CaO	1,12	1,22
Сумма	91,61	100,00

Таблица 27

Окислы	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO ₂	63,58	72,46
Al ₂ O ₃	23,04	26,26
CaO	1,12	1,28
Сумма	87,74	100,00

кремнезема (кристобалит, тридимит) является суммарным. В случае необходимости количество стеклофазы можно рассчитать методом рычага и взять соответствующую разность.

Исходные данные для расчета минерального состава керамической плитки методом формульных количеств и его результаты приведены в табл. 28. Из этой таблицы видно, что расчет необходимо провести для пяти минералов. Фактором, осложняющим настоящий пересчет, является трудность нахождения единиц расчета, по которым определяются формульные количества окислов, образующих данные соединения и их процентные содержания. В этом отношении, как было показано выше, расчет химического состава шихты для заданного минерального состава изделий значительно проще. За один из вариантов расчета минерального состава керамики можно было принять составление системы уравнений, но на это решение обычно затрачивается много времени. Поэтому данный расчет мы проведем комбинированно: методом формульных количеств и по соотношению формульных масс окислов с последующим определением единиц расчета.

Расчет мы начинаем с пересчета процентных содержаний окислов (с помощью коэффициентов) в формульные количества. По содержанию CaO рассчитываем минерал анортит. На его образование пойдет все количество $\text{CaO} = 22$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 22$ и $\text{SiO}_2 =$

Таблица 28

Окислы	Массовая концентрация, %	Коэффициент для пересчета	Формульные количества	Минералы керамики				
				SiO_2	Клиноэластит $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Кордиерит $2\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	Муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
SiO_2	69,40	1,664170	1155	831	75	75	130	44
Al_2O_3	25,15	0,980777	247		75	30	195	22
MgO	4,23	2,480159	105			30		
CaO	1,22	1,783167	22					22
Сумма	100,00		1529	831	150	135	325	88
Единицы расчета ($\times 1000$)				831	75	15	65	22
Формульные массы минералов				60,09	100,41	585,01	426,06	278,22
Массовая концентрация минералов, %	100,05			49,93	7,53	8,78	27,69	6,12

$= 22 \times 2 = 44$. Процентное содержание анортита будет равно: $22 \times 278,22 = 6,12\%$ *. Полученные значения формульных количеств окислов и процентное содержание минерала записываем в табл. 28.

Затем рассчитаем клиноэнстатит и кордиерит по MgO. Очевидно, все количество $MgO = 105$ необходимо распределить на эти два минерала. Для этого по соотношению формульных масс MgO и SiO_2 определяем их теоретическое содержание в минералах. Так, для клиноэнстатита будем иметь:

$$\frac{MgO}{SiO_2} = \frac{40,32}{60,09} = 0,671.$$

Это значит, что на 1 мас. ч. SiO_2 приходится 0,671 мас. ч. MgO. Если всего массовых частей в клиноэнстатите $1 + 0,671 = 1,671$, то в процентах это будет составлять:

$$1,671 - 100\% \quad x = \frac{67,1}{1,671} = 40,16\% \text{ MgO};$$

$$0,671 - x$$

$$1,671 - 100\%$$

$$1 - y \quad y = 59,84\% \text{ SiO}_2.$$

Аналогичный расчет производят для кордиерита:

$$\frac{2MgO}{5SiO_2} = \frac{2 \times 40,32}{5 \times 60,09} = \frac{80,64}{300,45} = 0,268 \text{ мас. ч. MgO};$$

$$\frac{2Al_2O_3}{5SiO_2} = \frac{2 \times 101,96}{5 \times 60,09} = \frac{203,92}{300,45} = 0,679 \text{ мас. ч. Al}_2\text{O}_3.$$

Всего массовых частей в кордиерите: $1 + 0,268 + 0,679 = 1,947$, а процентные содержания окислов:

$$1,947 - 100 \quad x = \frac{26,8}{1,947} = 13,76\% \text{ MgO};$$

$$0,268 - x$$

$$1,947 - 100 \quad y = \frac{67,9}{1,947} = 34,87\% \text{ Al}_2\text{O}_3;$$

$$0,679 - y$$

$$1,947 - 100 \quad z = 51,36\% \text{ SiO}_2.$$

Сумма процентных содержаний окислов равна 99,99%. Из расчета ясно, что всего массовых частей MgO в системе $0,671 + 0,268 = 0,939$, что составляет 100%. На клиноэнстатит из них приходится:

$$\frac{0,939 - 100}{0,671 - x} \quad x = 71,46\%,$$

* Для нахождения процентных содержаний минералов по формульным количествам можно также пользоваться таблицами В. П. Авидона (1970).

а на кордиерит

$$\begin{array}{l} 0,939 - 100 \\ 0,268 - y \end{array} \quad y = 28,54\%.$$

Из общего количества $MgO = 4,23\%$ на кристаллизацию клиноэнстатита потребуется:

$$\begin{array}{l} 4,23\% - 100 \\ x - 71,46 \end{array} \quad x = \frac{302,28}{100} = 3,02\%,$$

а на кристаллизацию кордиерита:

$$\begin{array}{l} 4,23\% - 100\% \\ y - 28,54 \end{array} \quad y = \frac{120,72}{100} = 1,21\%.$$

Формульные количества для найденных процентных содержаний MgO будут равны:

$$3,02 \times 2,480159 = 0,075 \times 1000 = 75;$$

$$1,21 \times 2,480159 = 0,030 \times 1000 = 30,$$

Сумма формульных количеств MgO равна 105. Это показывает, что расчет произведен правильно (см. табл. 28). Из химических формул минералов видно, что единицей расчета для клиноэнстатита является формульное количество MgO или SiO_2 , равное 75, а для кордиерита (по MgO) — 15. Следовательно, на формирование клиноэнстатита потребуется $MgO = 75$ и $SiO_2 = 75$, а кордиерита $MgO = 15 \times 2 = 30$; $Al_2O_3 = 15 \times 2 = 30$; $SiO_2 = 15 \times 5 = 75$. Процентное содержание клиноэнстатита равно: $75 \times 100,41 = 7,53\%$, а кордиерита — $15 \times 585,01 = 8,78\%$.

По остатку формульного количества Al_2O_3 рассчитываем минерал муллит $247 - (22 + 30) = 195$. Единицей расчета муллита будет формульное количество $Al_2O_3 = 195 : 3 = 65$, на кристаллизацию которого потребуется $Al_2O_3 = 65 \times 3 = 195$ и $SiO_2 = 65 \times 2 = 130$. Массовое количество муллита будет составлять: $65 \times 426,06 = 27,69\%$. Определяем формульное количество свободного SiO_2 . Оно равно $1155 - (44 + 130 + 75 + 75) = 831$. Процентное содержание $SiO_2 = 831 \times 60,09 = 49,93$ представляет собой суммарное количество минералов кремнезема и силикатного стекла.

При проверке расчет считается правильным, если сумма формульных количеств всех окислов равна сумме формульных количеств минералов (1529), а сумма процентных содержаний минералов равна или близка к 100%. В нашем примере она составляет 100,05%; при необходимости ее можно привести к 100%. Правильность расчета можно также проверить, если воспользоваться данными найденных процентных содержаний минералов и коэффициентами для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества. Напомним, что умножение этих величин дает единицу расчета минерала. Так, для кордиерита она равна $8,78 \times 0,170937 = 0,015008 \times 1000 = 15$; для муллита — $27,69 \times 0,234709 = 0,064990 = 0,065 \times 1000 = 65$ и т. д.

Очевидно, настоящая проверка дает дополнительное подтверждение правильности всех вычислений, так как мы получаем те же значения единиц расчета.

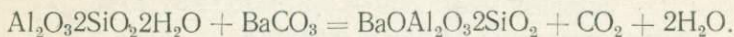
Таким образом, минеральный состав керамической плитки, определенный методом формульных количеств и по соотношению формульных масс окислов с последующим определением единиц расчета, характеризуется следующими данными: анортит — 6,12%, муллит — 27,69%, кордиерит — 8,78%, клиноэнстатит — 7,53%, силикатное стекло и минералы кремнезема (SiO_2) — 49,93%. Если учитывать (Августиник, 1957), что в керамических плитках примерно аналогичного химического состава количество стекловидной фазы изменяется от 42 до 45%, то полученное расчетом значение SiO_2 , равное 49,93% и включающее кристобалит и тридимит, имеют тот же порядок цифр.

Отметим также, что результаты расчета минерального состава керамики методом рычага и формульных количеств несопоставимы, так как в первом случае было определено количество эвтектик, стеклофазы и отдельного минерала, а во втором — суммарное количество минералов без учета их вхождения в эвтектики. Сопоставить эти расчеты можно, если определить процентное содержание каждого минерала, входящего в двойную и тройную эвтектики, но эти вычисления здесь не даны.

Расчет химического и минерального состава технической керамики по сырьевым компонентам

Здесь дан пример расчета химического и минерального состава радиотехнической керамики по ее исходным сырьевым компонентам.

Пример. Для производства высоковольтных радиоконденсаторов большой реактивной мощности используется цельзиановая керамика, исходным сырьем для которой являются каолин, пластичная глина и углекислый барий (витерит). Известно, что сырьевые компоненты берутся в соответствии с реакцией образования цельзиана



Требуется определить: 1) соотношение компонентов, необходимое для получения цельзиана, химический состав сырьевой смеси, температуру ее плавления, количество цельзиана, образующегося при реакции, и его химический состав; 2) соотношение компонентов, необходимое для получения цельзиановой керамики, если пластичной глины, являющейся связующим материалом, будет введено 15%; химический состав керамической смеси, температуру ее плавления; проследить ход кристаллизации расплава и определить количественный минеральный состав керамики.

Таблица 29

Оксиды	Массовая концентрация, %	Формульные количества ($\times 1000$)	Компоненты шихты	
			Каолин $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$	Витерит $BaO \cdot CO_2$
SiO_2	26,38	439,010	439,010	—
Al_2O_3	22,38	219,505	219,505	—
BaO	33,67	219,536	—	219,536
CO_2	9,66	219,536	—	219,536
H_2O	7,91	439,010	439,010	—
Сумма	100,00	1536,597	1097,525	439,072
Единицы расчета ($\times 1000$)			219,505	219,536
Коэффициент для расчета			0,387339	0,506660
Состав шихты, %	100,00		56,67	43,33

получить процентные содержания, сумма которых равна 100%. По ходу расчета производим проверку правильности вычислений.

Определяем температуру плавления сырьевой смеси. Для этого процентные содержания трех основных оксидов (SiO_2 ,

Таблица 30

Оксиды	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO_2	26,38	32,00
Al_2O_3	22,38	27,15
BaO	33,67	40,85
Сумма	82,43	100,00

Al_2O_3 , BaO) приводим к 100% (табл. 30). Коэффициент расчета $K=1,213150$. Наносим фигуративную точку на диаграмму $BaO - Al_2O_3 - SiO_2$ (рис. 7). Как видно из рис. 7, фигуративная точка A_1 попадает в поле кристаллизации цельзина в непосредственной близости от изотермы 1700° . Следовательно, температура плавления шихты (начала кристаллизации расплава) равна примерно 1715° , т. е. первыми будут выделяться кристаллы цельзина.

Определяем химический состав цельзина по его коэффициенту, равному 0,266312, являющемуся, как уже указывалось, еди-

ницей расчета. По химической формуле цельзиана $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ на его кристаллизацию потребуются следующие значения формульных количеств ($\times 1000$): $\text{BaO} = 266$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 266$, $\text{SiO}_2 = 266 \times 2 = 532$. По найденным формульным количествам окислов вычислим их процентные содержания:

$$\begin{aligned} \text{BaO} &\rightarrow 0,266312 \times 153,36 = 40,84\% \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &\rightarrow 0,266312 \times 101,96 = 27,15\% \\ \text{SiO}_2 &\rightarrow 0,266312 \times \frac{2 \times 60,09}{100,00} = 32,01\% \end{aligned}$$

Если точку $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (см. рис. 7) соединить с фигуративной точкой A_1 и продолжить прямую до пересечения с пограничной кривой цельзиан — твердые растворы, мы найдем

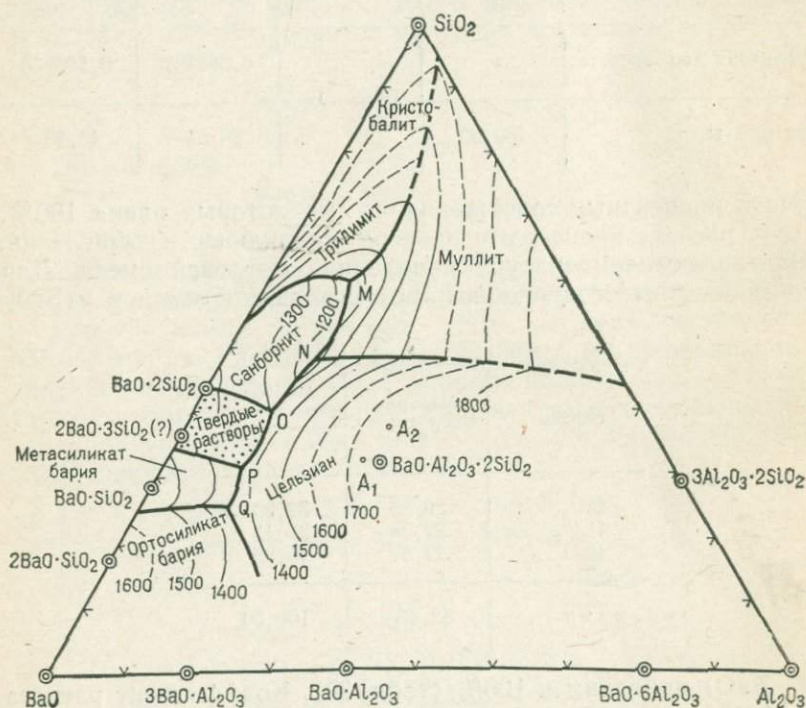


Рис. 7. Диаграмма состояния системы $\text{BaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. По В. Эйтель

путь кристаллизации цельзиана. При сравнении полученного химического состава цельзиана с данными табл. 30 видим их полную сопоставимость. Это указывает на то, что при кристалли-

* Количество BaO в цельзиане в зависимости от наличия примесей изменяется от 34 до 42%.

заци из данного химического состава могут образоваться только кристаллы чистого цельзиана, а весь процесс теоретически будет завершен у границы двойной эвтектики цельзиан — твердые растворы.

Решать вторую часть примера можно следующим образом. Если глины в сырьевой смеси должно быть 15%, то на каолин и витерит приходится 85%. Сумма формульных масс этих минералов, как отмечено выше, равна 455,543. Это количество массовых частей составляет 85%. Количество же каолина и витерита в смеси можно определить с помощью коэффициента: $K = 85 : 455,543 = 0,186590$:

$$\begin{aligned} \text{каолин } 258,172 \times 0,186590 &= 48,17\% \\ \text{витерит } 197,371 \times 0,186590 &= 36,83\% \\ & \underline{\hspace{10em}} \\ & 85,00\% \end{aligned}$$

Таким образом, шихта для цельзиановой керамики будет состоять из каолина (48,17%), витерита (36,83%) и глины (15%). Если для глины принять теоретическую формулу монтмориллонита, то химический состав шихты можно рассчитать по коэффициентам минералов (табл. 31). Очевидно, соответствующий расчет можно сделать, используя химический состав глины.

Температура плавления данной сырьевой смеси определяется местоположением фигуративной точки A_2 (см. рис. 7) и состав-

Таблица 31

Оксиды	Массовая концентрация, %	Формульные количества	Компоненты шихты		
			Витерит BaO·CO ₂	Каолин Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ · ×2H ₂ O	Монтмориллонит Al ₂ O ₃ ·4SiO ₂ · ×3H ₂ O
SiO ₂	31,52	524,538	—	373,162	151,376
Al ₂ O ₃	22,88	224,425	—	186,581	37,844
BaO	28,62	186,603	186,603	—	—
CO ₂	8,21	186,603	186,603	—	—
H ₂ O	8,77	486,694	—	373,162	113,532
Сумма	100,00	1608,863	373,206	932,905	302,752
Единицы расчета (×1000)			186,603	186,581	37,844
Коэффициенты для расчета			0,506660	0,387339	0,252291
Состав шихты, %			36,83	48,17	15

Таблица 32

Окислы	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO ₂	31,52	37,97
Al ₂ O ₃	22,88	27,56
BaO	28,62	34,47
Сумма	83,02	100,00

пограничной линии до точки N выпадает двойная эвтектика цельзиан — муллит. Заметим, что точка N (а не точка M) является тройной эвтектической точкой, где цельзиан, санборнит, муллит и жидкая фаза (стеклофаза) будут находиться в равновесии. В этой точке кристаллизация расплава заканчивается.

Прежде чем приступить к расчету процентных содержаний керамических минералов, необходимо выяснить, почему тройной эвтектической точкой является точка N, а не точка M; что собой представляют точки Q, P, и O, т. е. являются ли они эвтектическими или реакционными. Для этого точки химических соединений, расположенные на стороне треугольника BaO—SiO₂, необходимо последовательно соединить с точкой «BaO·Al₂O₃·2SiO₂» (на рис. 7 эти линии не показаны). Прямая, проведенная от 2BaO·SiO₂ к цельзиану, пересечет пограничную кривую, проходящую между этими соединениями. В точке их пересечения по теореме Ван-Алькемаде возникнет температурный максимум, от которого падение температуры пойдет по пограничной кривой в обе стороны. Соответствующие температурные максимумы будут возникать на отрезках пограничной кривой Q—P и P—O. Если на пограничных кривых поставить стрелки, указывающие направление снижения температуры, то по правилу Ван-Алькемаде (Авидон, 1970) мы установим, что точки Q и P являются тройными эвтектическими, а точка O реакционной, от которой падение температуры пойдет к точке N. Отметим, что точка O была бы эвтектической в том случае, если бы на отрезке O—N возникал температурный максимум, но для этого нет необходимых условий, в частности на стороне треугольника BaO—SiO₂ отсутствует соединение, от которого можно было бы провести прямую к цельзиану. Если соединить точку SiO₂ с точкой «BaO·Al₂O₃·2SiO₂», то эта прямая пересечет две пограничные кривые, при этом кремнезем и цельзиан не будут иметь общей пограничной кривой. Следовательно, на линии двойной эвтектики тридимит — муллит не возникает температурный максимум и точка M является тройной реакционной, от которой температура будет снижаться к точке N. Точка N, как отмечено

лает 1710—1720°. Координаты точки A₂ приведены в табл. 32. Коэффициент $K = 100 : 83,02 = 1,204529$.

Соединив точку цельзиана (BaO·Al₂O₃·2SiO₂) с точкой A₂ и продолжив прямую до пересечения с пограничной кривой цельзиан — муллит, мы найдем путь кристаллизации расплава. На этом отрезке будет кристаллизоваться цельзиан. Далее по

выше, является тройной эвтектической, где три твердые фазы и стеклофаза находятся в равновесии.

Приведенный анализ показывает, что цельзиановая керамика состава фигуративной точки A_2 представлена чистыми кристаллами цельзиана, двойной эвтектикой цельзиана — муллита, тройной эвтектикой цельзиана — санборнита — муллита и силикатным стеклом.

Рассчитаем процентные содержания керамических минералов методом формульных количеств и по соотношению формульных масс окислов, образующих эти минералы. Исходные данные и результаты расчета даны в табл. 33. Химический состав смеси взят из табл. 32.

Таблица 33

Окислы	Массовая концентрация, %	Коэффициенты для пересчета	Формульные количества	Минералы керамики			
				Стеклофаза SiO_2	Муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	Санборнит $BaO \cdot 2SiO_2$	Цельзиан $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
SiO_2	37,97	1,664170	632	77	105	225	225
Al_2O_3	27,56	0,9800777	270		157,5		112,5
BaO	34,47	0,652161	225			112,5	112,5
Сумма	100,00		1127	77	262,5	337,5	450,0
Единицы расчета				77	52,5	112,5	112,5
Формульные массы минералов				60,09	426,06	273,54	375,50
Массовая концентрация минералов, %	100,01			4,63	22,37	30,77	42,24

Процентные содержания окислов (с помощью коэффициентов) пересчитываем в формульные количества. Определяем по соотношению формульных масс окислов количество BaO, необходимое для образования санборнита и цельзиана. Эти величины, судя по формулам минералов, будут составлять по 1,276 мас. ч:

$$\frac{BaO}{2SiO_2} = \frac{153,56}{120,18} = 1,276.$$

Всего массовых частей BaO в системе: $1,276 + 1,276 = 2,552$. Очевидно, из имеющегося количества BaO на каждый минерал будет приходиться по 50%:

$$\begin{array}{l} 2,552 - 100\% \\ 1,276 - x \end{array} \quad x = \frac{1,276 \times 100}{2,552} = 50\%.$$

Из общего формульного количества $\text{BaO} = 225$ на кристаллизацию санборнита потребуется 50% этой величины, т. е. $112,5$, и $\text{SiO}_2 = 112,5 \times 2 = 225$, а на образование цельзиана $\text{BaO} = 112,5$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 112,5$ и $\text{SiO}_2 = 112,5 \times 2 = 225$. Процентное содержание санборнита будет составлять $0,1125 \times 273,54 = 30,77$ и цельзиана $0,1125 \times 375,50 = 42,24$.

На формирование муллита пойдет оставшееся количество $\text{Al}_2\text{O}_3 : 270 - 112,5 = 157,5$. При этом единицей расчета будет формульное количество, равное $157,5 : 3 = 52,5$. Следовательно, на образование муллита потребуется: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 52,5 \times 3 = 157,5$ и $\text{SiO}_2 = 52,5 \times 2 = 105$. Процентное содержание минерала составит $0,0525 \times 426,06 = 22,37$.

По остатку SiO_2 определяем количество силикатного стекла: $632 - 555 = 77$. В процентах это составит: $0,077 \times 60,09 = 4,63$. Таким образом, минеральный состав цельзиановой керамики характеризуется следующими процентными содержаниями минералов: цельзиана 42,24, санборнита 30,77, муллита 22,37 и силикатного стекла 4,63.

Расчет привноса и выноса катионов при формировании измененных зон керамики

Огнеупорная керамика, используемая для кладки сводов и стен различных металлургических и обжиговых печей, под длительным воздействием высоких температур претерпевает изменения и часто приобретает хорошо выражаемое зональное строение. Каждая из этих зон обычно характеризуется своими текстурно-структурными, минеральными, химическими и физико-механическими особенностями. Происходящие в керамике изменения могут иметь положительное или отрицательное влияние на ее работу в металлургических или обжиговых агрегатах, поэтому всестороннее изучение измененных зон керамики имеет большое практическое значение. Оно помогает понять ход этих изменений и способствует при необходимости созданию новых, более эффективных видов технического камня, обеспечивающего долгосрочную работу печей при оптимальных режимах их эксплуатации.

Все происходящие в огнеупорной керамике изменения, как известно, являются результатом соответствующей перегруппировки атомов элементов, образующих минералы керамики, и поступления части их из внешней среды действующего агрегата. Очевидно, при соответствующих исследованиях учет миграции атомов элементов и ее направленности наряду с другими ее качественными показателями может иметь определенное практическое значение.

В основу расчета привноса и выноса вещества измененных зон керамики положены данные химических анализов зонального динаса из шокшинских кварцитов, заимствованные из работы Д. С. Белянкина, Б. В. Иванова, В. В. Лапина (1952). Динас для исследований, проведенных в 1934 г. Б. В. Ивановым, был взят из свода действовавшей мартеновской печи. В нем было установлено три зоны: кристобалитовая (4), переходная с двумя подзонами: менее горячая (3) и более горячая (2) и неперерожденная (1). Кристобалитовая зона светло-серого цвета, с раковистым изломом и большим количеством мелких пор; глазурью она не покрыта; граница со следующей переходной зоной четкая. В шлифе главная его площадь заполнена крупным кристобалитом, в промежутках между зернами которого накапливается магнетит, довольно часто окаймленный по краям девитрифицированным зеленовато-бурым стеклом. В поле зрения шлифа встречаются крупные обломки исходного кварцита, нацело заполненные кристобалитом. Шлиф в количественном отношении представлен кристобалитом основной массы (65,3%), магнетитом (23,5%), псевдоморфозой по кварцу (11,2%). Минералогия переходной зоны обычная; количество цемента от 65 до 74%; в цементе главную роль играют мелкокристаллический тридимит и светло-зеленое стекло. Отсутствие в кирпиче тридимитовой зоны объясняется тяжелыми условиями его работы (свод горел два раза, печь работала с перерывкой).

Очевидно, эту краткую характеристику измененных зон динаса, если воспользоваться химическими анализами, можно дополнить соответствующим расчетом привноса и выноса вещества (табл. 34). Формулы зон, величины привноса и выноса катионов показаны в табл. 34, а графически они изображены на рис. 8. При определении привноса и выноса катионов за исходную взята формула зоны неперерожденного динаса. На рис. 8 в уменьшенном масштабе показан контур динасового кирпича и измененных его зон. Левая часть рисунка отражает неперерожденную зону с количеством исходных в ней катионов (горизонтальные линии). Количество катионов кремния (из-за их больших значений) дано в верхней части рис. 8 но в уменьшенном вертикальном масштабе. Направление теплового потока показано стрелкой с правой стороны рисунка.

Из анализа табл. 34 и рис. 8 ясно, что плотность зон динасового кирпича увеличивается слева направо. Количество атомов кремния (основного элемента изделия) в 10 000 Å³ неперерожденной зоны равно 222,033; в переходных зонах оно снижается до 212,874 и 212,893, а в кристобалитовой — вновь увеличивается до 223,625. Необходимо обратить внимание (см. рис. 8) на концентрацию атомов Ti, K, Al, Ca и Mg в переходных зонах и на концентрацию атомов Fe, Mn, Na в кристобалитовой (или тридимитовой) зоне. Эту закономерность керамики

называют химическим «законом динаса» (Белянкин, Иванов, Лапин, 1952).

Концентрация атомов (или окислов) Fe, Mn в горячих зонах кирпича (против нормы в неперерожденной зоне) объяс-

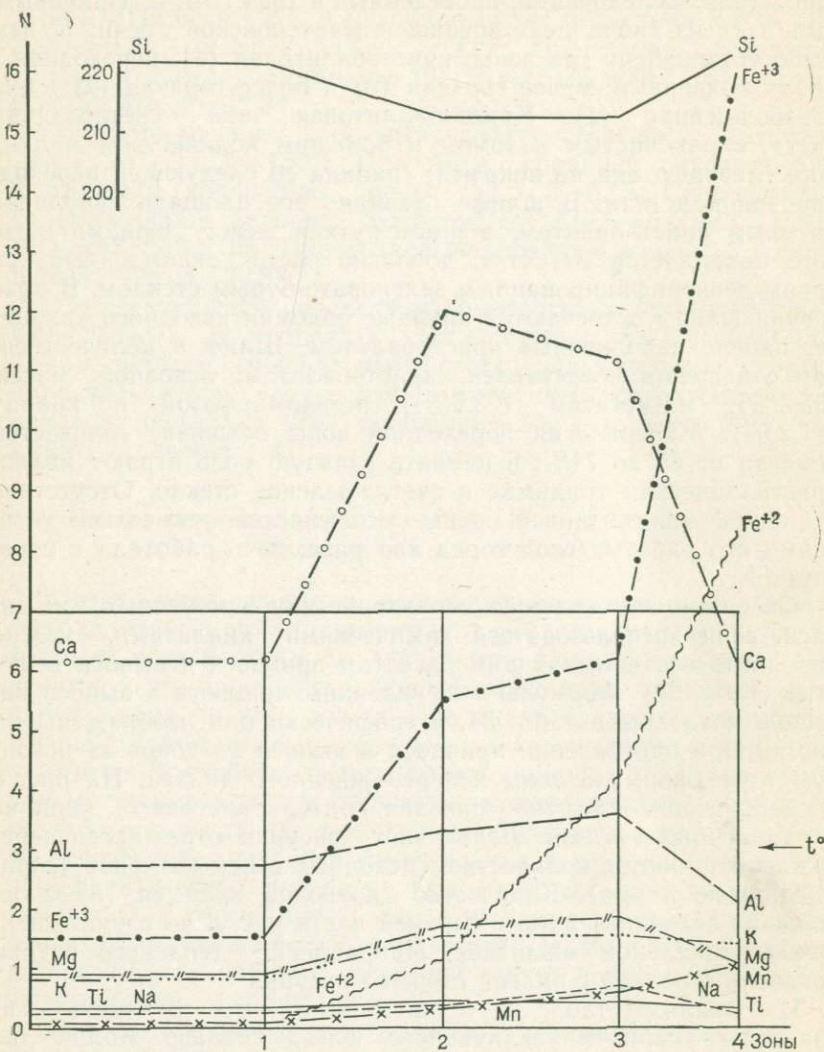


Рис. 8. Диаграмма величины привноса и выноса катионов (N) в измененных зонах динаса (обозначение зон динаса дано в тексте)

няется поступлением их из рабочего пространства печи, а накопление Ti, Al и особенно Ca (или их окислов) в переходной зоне — эвтектическими отношениями (эвтектика в системе

Таблица 34

Оксиды	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%	Массовая концентрация, %	Массовая концентрация, приведенная к 100%
SiO ₂	94,57	94,74	89,10	88,93	87,12	87,15	84,32	84,09
TiO ₂	0,16	0,16	0,23	0,23	0,21	0,21	0,11	0,11
Al ₂ O ₃	1,00	1,00	1,17	1,17	1,26	1,26	0,65	0,65
Fe ₂ O ₃	0,88	0,88	3,12	3,11	3,36	3,36	8,00	7,98
FeO	нет	—	0,58	0,58	2,08	2,08	3,73	3,72
MnO	0,02	0,02	0,15	0,15	0,26	0,26	0,43	0,43
CaO	2,44	2,45	4,72	4,71	4,29	4,29	2,15	2,14
MgO	0,25	0,25	0,49	0,49	0,49	0,49	0,24	0,24
K ₂ O	0,29	0,29	0,51	0,51	0,48	0,48	0,39	0,39
Na ₂ O	0,07	0,07	0,06	0,06	0,13	0,13	0,13	0,13
H ₂ O	нет	—	нет	—	0,06	0,06	0,12	0,12
П. п. п. (CO ₂)	0,14	0,14	0,06	0,06	0,23	0,23	нет	—
Сумма	99,82	100,00	100,19	100,00	99,97	100,00	100,27	100,00
Коэффициент приведения к 100%	1,001803		0,998104		1,000300		0,997307	

Окислы	Коэффициенты для расчета числа атомов (N) в 10 000 Å ³ керамики при плотности					Число атомов (N) в 10 000 Å ³ керамики		
	1	2,338	2,388	2,437	2,653	Катионов		
		Зоны керамики				Зоны керамики		
		1	2	3	4	1	2	3
SiO ₂	100,239616	234,360222	239,372203	244,283944	265,935701	222,033	212,874	212,893
TiO ₂	75,386706	176,254119	180,023454	183,717403	200,000931	0,282	0,414	0,386
Al ₂ O ₃	118,152244	276,239946	282,147559	287,937019	313,457903	2,762	3,301	3,628
Fe ₂ O ₃	75,433929	176,364526	178,627544	183,832485	200,126214	1,552	5,555	6,177
FeO	83,832958	196,001456	200,193104	204,300919	222,408838	—	1,161	4,249
MnO	84,908376	198,515783	202,761202	206,921712	225,261922	0,040	0,304	0,538
CaO	107,407281	251,118223	256,488587	261,751544	284,951516	6,152	12,081	11,229
MgO	149,389897	349,273579	356,743074	364,063179	396,331397	0,873	1,748	1,784
K ₂ O	127,885335	298,995913	305,390180	311,656561	339,279794	0,867	1,557	1,496
Na ₂ O	194,359698	454,412974	464,130959	473,654584	515,636279	0,318	0,278	0,616
H ₂ O	668,672331	1563,355910	—	1629,554471	1773,987694	—	—	0,978
П. п. п. (CO ₂)	136,861225	319,981544	326,824605	333,530805	363,092830	0,448	0,196	0,767
Сумма						235,327	239,469	244,741
Коэффициент приведения к 100%								

Формулы зон динаса:

1. Si_{222,033} Ti_{0,282} Al_{2,762} Fe_{1,552}⁺³ Fe_{0,0}⁺² Mn_{0,04} Ca_{6,152} Mg_{0,873} K_{0,867} Na_{0,318} H_{0,0} C_{0,448} O_{459,655}.
2. Si_{212,874} Ti_{0,414} Al_{3,301} Fe_{5,555}⁺³ Fe_{1,161}⁺² Mn_{0,304} Ca_{12,081} Mg_{1,748} K_{1,557} Na_{0,278} H_{0,0} C_{0,196} O_{456,464}.
3. Si_{212,893} Ti_{0,386} Al_{3,628} Fe_{6,177}⁺³ Fe_{4,249}⁺² Mn_{0,538} Ca_{11,229} Mg_{1,784} K_{1,496} Na_{0,616} H_{0,978} C_{0,767} O_{462,145}.
- 97 4. Si_{223,625} Ti_{0,220} Al_{2,037} Fe_{15,970}⁺³ Fe_{8,274}⁺³ Mn_{0,969} Ca_{6,098} Mg_{0,951} K_{1,323} Na_{0,670} H_{2,129} C_{0,0} O_{493,054}.

$\text{FeO} - \text{SiO}_2$ при 1178° между тридимитом и фаялитом, наименьшая точка плавления в системе $\text{CaO} - \text{FeO} - \text{SiO}_2$ (1091°) и явлениями диффузии известны в направлении переходной зоны с последующим образованием в ней метасиликата известня — псевдоволластонита (Белянкин, Иванов, Лапин, 1952). Образование зон, отличающихся друг от друга внешним видом, химическим и минеральным составом, микроструктурными и микротекстурными особенностями, а также различными значениями их плотности, является результатом длительного воздействия высоких температур на динас сводовой кладки мартеновской печи и последующего его охлаждения. Главнейшими причинами этих преобразований являются: неодинаковая степень нагрева кирпича и различия в физико-химических условиях, возникавших на отдельных неравномерно нагретых его участках. Важная роль в преобразовании динаса принадлежит и физико-химическим особенностям в рабочем пространстве действующего агрегата.

Если рассмотреть некоторые основные условия динамики этих процессов, то мы будем иметь следующую картину. Неперерожденный динасовый кирпич, образующий свод мартеновской печи, своей торцовой частью обращен в сторону интенсивного теплового источника. Степень нагрева кирпича, находящегося в своде печи, неравномерная — она убывает по мере удаления от источника тепловой энергии. Подтверждением этого является наличие зоны неперерожденного динаса, в пределах которой температура нагрева не достигала величин, способных вызвать заметные качественные изменения.

Неперерожденный динасовый кирпич в начальный период службы печи можно рассматривать как физико-химическую систему, характеризующуюся во всех частях одинаковым химическим и минеральным составом. Затем по мере длительного и неодинакового по степени интенсивности теплового воздействия на отдельные участки кирпича в нем происходит соответствующая перегруппировка атомов химических элементов с образованием новых минеральных фаз, которые в той или иной степени отличаются как качественным, так и количественным составом от минеральных фаз неперерожденной зоны динаса. Закономерности соответствующей миграции элементов, в том числе и привноса атомов железа из рабочего пространства печи, показаны на рис. 8.

Наконец, следует отметить, что, пользуясь данными химических анализов зон динаса и диаграммой фазового равновесия системы $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, можно определить температуру плавления (начала кристаллизации) каждой зоны, проследить ход кристаллизации основных керамических минералов, подсчитать методом рычага или формульных количеств их количественные содержания и составить структурные формулы керамических зон.

Использование диаграмм фазового равновесия силикатных систем для соответствующего анализа весьма полезно, так как такой анализ позволяет иметь определенное суждение о степени керамической однородности изделий или о степени однородности изучаемых видов минерального сырья. Определить указанные выше параметры можно следующим образом.

Таблица 35

Оксиды	Зоны динаса							
	1		2		3		4	
	Массовая концен- трация, %	Массовая концент- рация, приведен- ная к 100%	Массовая концен- трация, %	Массовая концен- трация, приведен- ная к 100%	Массовая кон- центрация, %	Массовая кон- центрация, при- веденная к 100%	Массовая кон- центрация, %	Массовая концен- трация, приведен- ная к 100%
SiO ₂	94,57	96,49	89,10	93,80	87,12	94,01	84,32	96,79
Al ₂ O ₃	1,00	1,02	1,17	1,23	1,26	1,36	0,65	0,75
CaO	2,44	2,49	4,72	4,97	4,29	4,63	2,15	2,47
Сумма	98,01	100,00	94,99	100,00	92,67	100,00	87,12	100,01
Коэффициент приве- дения к 100%	1,020304		1,052742		1,079098		1,147842	

Для установления температур плавления (начала кристаллизации) измененных зон динаса процентное содержание трех основных окислов, в данном случае CaO, Al₂O₃, SiO₂, приводят к 100% (табл. 35) и находят местоположение соответствующих фигуративных точек на диаграмме CaO — Al₂O₃ — SiO₂ (рис. 9). Индексы у фигуративных точек отвечают принятой нумерации зон динаса.

Из рис. 9 видно, что все нанесенные составы приходятся на поле кристаллизации кристобалита вблизи изотермы 1685°. Следовательно, для всех составов температура плавления (начала кристаллизации) близка к 1685°; фактически же каждый состав будет характеризоваться своей температурой плавления, но изотермы этих температур на данной диаграмме не показаны. Из рис. 9 также ясно, что при охлаждении расплавов первым будет кристаллизоваться кристобалит.

Если каждую из фигуративных точек соединить с вершиной концентрационного треугольника, соответствующей 100%-ному содержанию SiO₂, а затем продолжить эти линии до пограничной линии тридимит — псевдоволластонит, то мы найдем путь кристаллизации каждого состава до линии двойной эвтектики, а по этой линии — до тройной эвтектической точки, где и за-

канчивается кристаллизация расплава. Найденный путь кристаллизации показывает, что от фигуративных точек до изотермы 1470° из расплава выпадают кристаллы кристобалита, а от изотермы 1470° до пограничной линии — кристаллы тридимита. Затем происходит последовательная кристаллизация минералов двойной и тройной эвтектик. В двойной эвтектике (при 1300—1175°С) кристаллизуются тридимит и псевдоволластонит, а в

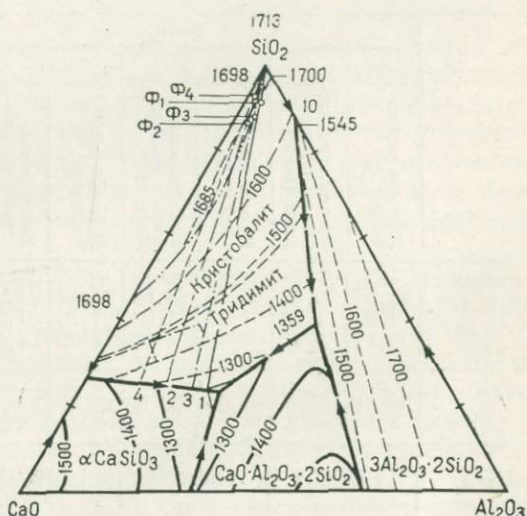


Рис. 9. Участок диаграммы CaO—Al₂O₃—SiO₂ с фигуративными точками (Φ) зон динаса

тройной (при 1170—1165°) — тридимит, псевдоволластонит и анортит, цементируемые небольшим количеством стекла.

Так как длина отрезков пути кристаллизации кристобалита, тридимита и двойной эвтектики для каждого состава различна, то различен и количественный состав их минеральных фаз. Количественный состав может быть рассчитан с помощью графического правила рычага или методом формульных количеств. Здесь мы не будем проводить эти расчеты, отметим только что, пользуясь рис. 9, мы можем написать структурные формулы измененных зон динаса, которые будут иметь следующий общий вид: $a\%$ кристобалита + $b\%$ тридимита + $v\%$ эвт. (тридимит + псевдоволластонит) + $г\%$ эвт. (тридимит + псевдоволластонит + анортит + стекло). Подставив в формулы найденные процентные содержания минералов и их эвтектик, мы получим показатели, позволяющие судить о степени керамической однородности зон динаса (или изучаемых видов сырья).

Приведенный выше анализ исходил из условия полного плавления составов и последующего их охлаждения. Фактически

при обжиге керамических изделий термические и физико-химические процессы имеют иную (обратную) последовательность: постепенный нагрев, изменяющий минеральный состав сырьевой смеси и создающий условия для образования в изделиях тройной и двойной эвтектик, кристаллизация тридимита и кристобалита, выдержка изделий при определенной температуре их огнеупорности и последующее охлаждение. Все эти процессы формируют минеральный состав и структуру керамических изделий. Пользуясь диаграммами фазового равновесия различных тройных систем, можно определить влияние того или иного компонента на огнеупорность изучаемой силикатной смеси, а отсюда и найти допустимое в ней содержание данного компонента.

Из изложенного ясно, что соответствующий анализ результатов химических исследований минеральных видов сырья или готовой продукции может дать весьма полезную информацию для понимания их качественных особенностей.

Примеры пересчетов, применяемых в металлургическом производстве

Конечными твердыми фазами большинства металлургических процессов являются моно- или полиметалльные сплавы и различные технические шлаки. Качественные особенности этих продуктов, как и любого кристаллического вещества, зависят от их минерального состава, текстурных и структурных особенностей. Поэтому в металлургической практике по аналогии с приведенными выше примерами различные расчеты методом формульных количеств с помощью коэффициентов могут иметь определенное практическое значение.

Пример 1. Определить содержание углерода в карбиде железа (цементите), исходя из его химической формулы Fe_3C .

Прежде всего определяем формульную массу цемента (в таблицах нет) $55,85 \times 3 + 12,011 = 179,561$, затем вычисляем коэффициент для пересчета процентных содержаний минерала в формульные количества $K = 100 : 179,561 = 0,556914$. Эта величина при 100%-ном содержании соединения является единицей расчета. Находим процентное содержание элементов, образующих цементит, для чего умножаем соответствующие атомные массы элементов на единицу расчета:

$$C = 12,011 \times 0,556914 = 6,689 = 6,69\%;$$

$$3Fe = 167,55 \times 0,556914 = 93,311 = 93,31\%.$$

Пример 2. Известно, что в системе $Fe - Fe_3C$ (рис. 10) при снижении температуры растворимость углерода в α -железе уменьшается от 0,02 до 0,006% C (см. рис. 10, линия PQ). Поэтому, когда температура достигает величины, соответствующей

точке 2, и сплав I—I пересекает линию PQ, из феррита $Fe_{\alpha}(C)$ начинает выделяться избыточный углерод, но в данной системе углеродистая фаза может быть только в виде Fe_3C . Следовательно, по линии PQ выделяется избыточный цементит, который называется третичным и обозначается Fe_3C_{III} . Требуется определить количество выделившегося третичного цементита.

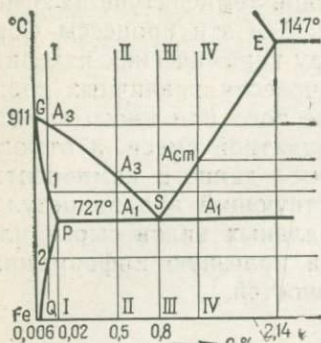


Рис. 10. Диаграмма состояния Fe— Fe_3C

Определяем количество выделившегося углерода, которое пойдет для образования третичного цементита: $0,02 - 0,006 = 0,014\%$. Затем находим формульное количество, соответствующее $0,014\%$ C, и рассчитаем третичный цементит $Fe_3C_{III} : C = 0,014 \times 8,325701 = 0,001166\%$. Следовательно, для кристаллизации цементита требуется утроенное количество Fe = $0,001166 \times 3 = 0,003498$. Массовое количество третичного цементита, рассчитанное по содержанию углерода,

будет равно формульному количеству углерода, умноженному на формульную массу минерала: $0,001166 \times 179,561 = 0,209 = 0,21\%$.

Проверим правильность расчета. Если в сплаве третичный цементит составляет $0,21\%$, то его формульное количество равно: $0,21 \times 0,556914 = 0,001170$. Тогда в цементите C будет: $0,001170 \times 12,011 = 0,014\%$, а Fe $0,001170 \times 167,55 (55,85 \times 3) = 0,196\%$; $Fe + C = 0,014 + 0,196 = 0,21\%$. Расчет следует считать правильным, так как получено то же количество цементита ($0,21\%$). Правильность расчета можно также подтвердить, решив пропорцию:

$$0,21 - 100$$

$$0,14 - x$$

$$x = 6,67\%C;$$

$$0,21 - 100$$

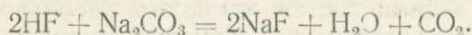
$$0,196 - y$$

$$y = 93,33Fe.$$

Вычисленные содержания C = $6,67\%$ и Fe = $93,33\%$ соответствуют данным литературных источников (Самохоцкий, Кунявский, 1967), но несколько отличаются от вычисленных значений в предыдущем примере, где C = $6,69\%$; Fe = $93,31\%$. Последние содержания элементов в цементите теоретически более вероятны, так как определены из их фактических атомных масс. Содержание же углерода в цементите, равное $6,67\%$, получается, если в расчет брать атомные массы C = 12 и Fe = 56 ($C = 12 \times 100 ; 180 = 6,67\%$).

Пример 3. Для получения фторида натрия в мешалку с чис-

той плавиковой кислотой вводят безводный углекислый натрий; в результате из раствора выпадает NaF:



Требуется определить процентное содержание реактивов и содержания компонентов после реакции.

Сначала определяем формульные массы соединений для левой и правой частей уравнения и находим их сумму для каждой части:

$$40,016 + 105,993 = 83,982 + 18,016 + 44,011.$$

Суммы формульных масс соединений равны между собой и составляют по 146,009 мас. ч. Это равенство и подтверждает правильность написанной реакции. Затем вычисляем коэффициент (единицу расчета) для определения процентных содержаний $K = 100 : 146,009 = 0,684889$. Находим содержания соединений в правой и левой частях уравнения, для чего умножаем единицы расчета на формульные массы соединений:

для левой части уравнения

$$40,016 \times 0,684889 = 27,41\% \text{ HF};$$

$$105,993 \times 0,684889 = 72,59\% \text{ Na}_2\text{CO}_3.$$

$$\underline{100,00\%};$$

для правой части уравнения

$$83,982 \times 0,684889 = 57,52\% \text{ NaF}$$

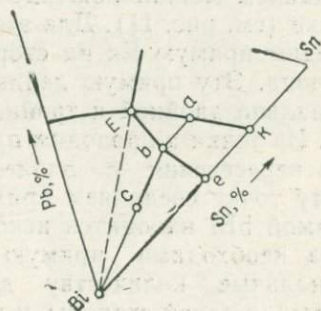
$$18,016 \times 0,684889 = 12,34\% \text{ H}_2\text{O}$$

$$44,011 \times 0,684889 = 30,14\% \text{ CO}_2$$

$$\underline{100,00\%}$$

Этот расчет дает ответ на поставленный вопрос.

Рис. 11. Концентрационный треугольник Bi—Pb—Sn для определения состава сплава по количественному соотношению структурных составляющих По Б. И. Кригер



Пример 4. Микроскопическими исследованиями установлено, что сплав состоит (в пересчете на массовую концентрацию в %) из 40% избыточных кристаллов висмута, 30% двойной эвтектики (Bi—Sn) и 30% тройной эвтектики (Bi—Sn—Pb). Требуется написать структуру сплава; найти на концентрационном треугольнике (рис. 11) местоположение его фигуративной точки;

рассчитать методом формульных (атомных) количеств процентные содержания элементов в двойной и тройной эвтектиках, а также количественный состав исходного расплава. По данным исходного расплава найти на концентрационном треугольнике (рис. 12) температуру плавления сплава.

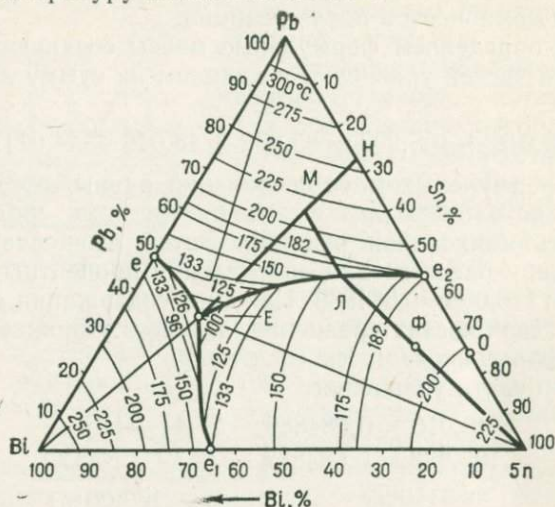


Рис. 12. Концентрационный треугольник Bi—Pb—Sn с нанесенными изотермами

Запишем структуру сплава:

$$40\% \text{ Bi} + 30\% \text{ эвт. (Bi + Sn)} + 30\% \text{ эвт. (Bi + Sn + Pb)}.$$

Затем найдем местоположение сплава на концентрационном треугольнике (см. рис. 11). Для этого из точки E тройной эвтектики проводим прямую Eк на сторону Bi—Sn с произвольным углом наклона. Эту прямую делим на два отрезка: Ea и ак пропорционально двойной и тройной эвтектикам (в нашем примере 1 : 1). Из точки а проводим прямую, параллельную стороне Bi—Sn, до пересечения с линией двойной эвтектики Ee в точке b. Эту точку соединяем прямой с вершиной треугольника Bi. На прямой bBi находится искомый сплав. Для нахождения его состава необходимо прямую bBi разделить на отрезки, пропорциональные количеству двойной и тройной эвтектик, вместе взятых, с одной стороны, и избыточных кристаллов Bi—с другой. Так как отношение этих составляющих равно 6 : 4, то и прямую bBi делим в этом же отношении. Этому условию удовлетворяет точка с ($\text{Bic} : \text{cb} = 6 : 4$), характеризующая состав сплава.

Методом формульных (атомных) количеств рассчитываем процентные содержания элементов в составляющих сплавах. Для

этого в структурную формулу сплава вводим значения атомных масс элементов:

$$40\% (209\text{Bi}) + 30\% \text{эвт.} (209\text{Bi} + 118,70 \text{Sn}) + \\ + 30\% \text{эвт.} (209\text{Bi} + 118,70\text{Sn} + 207,21\text{Pb}).$$

Находим коэффициенты для вычисления атомных (формульных) количеств элементов, составляющих сплав, и их процентные содержания.

Для избыточных кристаллов Bi коэффициент равен:

$$100:209 = 0,478469, \text{ а для } 40\% \text{ Bi} = 0,478469 \times 0,40 = 0,191388.$$

Содержание кристаллов Bi будет равно произведению единицы расчета на атомную массу элемента: $0,191388 \times 209 = 40\%$. Для элементов, образующих двойную эвтектику, находим:

$$100:(209 + 118,70) = 100:327,70 = 0,305157, \text{ а для } 30\% \text{эвт.} \\ (\text{Bi} + \text{Sn}) = 0,305157 \times 0,30 = 0,091547.$$

Теперь определим процентные содержания Bi и Sn в двойной эвтектике:

$$\text{Bi} = 0,091547 \times 209 = 19,13\% \\ \text{Sn} = 0,091547 \times 118,70 = 10,87\% \\ \hline 30,00\%$$

Для элементов, образующих тройную эвтектику, имеем: $100:(209 + 118,70 + 207,21) = 100:534,91 = 0,186947$. Единица расчета для элементов, образующих 30% тройной эвтектики (Bi + Sn + Pb), будет равна: $0,186947 \times 0,30 = 0,056084$. Процентные содержания элементов в тройной эвтектике будут составлять:

$$\text{Bi} = 0,056084 \times 209 = 11,72\% \\ \text{Sn} = 0,056084 \times 118,70 = 6,66\% \\ \text{Pb} = 0,056084 \times 207,21 = 11,62\% \\ \hline 30,00\%.$$

Затем необходимо определить общее количество элементов, находящихся в сплаве:

$$\text{Bi} = 40\% + 19,13\% + 11,72\% = 70,85\% \\ \text{Sn} = 10,87\% + 6,66\% = 17,53\% \\ \text{Pb} = 11,62\% \\ \hline 100,00\%$$

Проверим правильность расчетов по соотношению атомных масс элементов.

Для 30% двойной эвтектики (Sn + Bi):

$$\text{Sn:Bi} = 118,70:209 = 0,568 \text{ мас. ч. Sn;} \\ \text{Bi:Bi} = 209:209 = 1 \text{ мас. ч. Bi.}$$

Значит, в двойной эвтектике массовых частей будет 1,568. Решим пропорции:

$$\frac{1,568 - 30}{0,568 - x} = \frac{17,04}{1,568} = 10,87\text{Sn};$$

$$\frac{1,568 - 30}{1 - y} = 19,13\% \text{Bi}.$$

Для 30% тройной эвтектики (Sn+Bi+Pb), где будет: 0,568 мас. ч. Sn; 1 мас. ч. Bi и Pb: $\text{Bi} = 207,21 : 209 = 0,991$ мас. ч. Pb, т. е. всего массовых частей в тройной эвтектике: $0,568 + 1 + 0,991 = 2,559$. Решим пропорции:

$$\frac{2,559 - 30}{0,568 - x} = \frac{17,04}{2,559} = 6,66\% \text{Sn};$$

$$\frac{2,559 - 30}{1 - y} = 11,72\% \text{Bi};$$

$$\frac{2,559 - 30}{0,991 - z} = \frac{29,73}{2,559} = 11,62\% \text{Pb}.$$

Следовательно; $6,66\% \text{Sn} + 11,72\% \text{Bi} + 11,62\% \text{Pb} = 30\%$. Очевидно, избыточных кристаллов Bi 40%.

Общее количество элементов в сплаве по второму расчету равно:

$$\text{Bi} = 40 + 19,13 + 11,72 = 70,85\%$$

$$\text{Sn} = 10,87 + 6,66 = 17,53\%$$

$$\text{Pb} = 11,62\%$$

$$100,00\%.$$

Таким образом, оба расчета дали одни и те же содержания элементов в сплаве. По найденным процентным содержаниям элементов определяем на рис. 12 местоположение фигуративной точки и температуру плавления сплава. Фигуративная точка (на рис. 12 не показана) находится в поле $\text{Bi} - e_1 - E$, между изотермами $175 - 200^\circ$; температура плавления сплава $\sim 185 - 190^\circ$.

Графический способ определения состава сплава по количественному соотношению структурных составляющих можно применить и для решения обратной задачи, т. е. по местоположению фигуративной точки расплава определить количество структурных элементов, которые должны образоваться после полной его кристаллизации. Для этого необходимо на тройной диаграмме состояния сплавов произвести графические построения, но в обратном порядке. Пример, помещаемый ниже, поясняет технику таких построений и расчетов.

Пример 5. На диаграмме состояния $\text{Bi} - \text{Sn} - \text{Pb}$ (см. рис. 12) расплав состава точки Ф находится на изотерме $\sim 190^\circ$ в области $\text{Sn} - e_2 - E$. Требуется определить с помощью

графических построений количество структурных составляющих после полной кристаллизации расплава.

Решить эту задачу можно следующим способом. Точку Ф соединяем с вершиной треугольника Sn и продолжаем прямую до пересечения с линией двойной эвтектики в точке Л. Из точки Е тройной эвтектики проводим прямую ЕН с произвольным углом наклона на сторону Sn—Pb. Затем из точки Л проводим прямую, параллельную стороне треугольника Sn—Pb, до пересечения с линией ЕН в точке М. По аналогии с предыдущим примером точка М делит линию ЕН в отношениях двойной и тройной эвтектик. Понятно также, что линия SnЛ представляет собой при понижении температуры путь кристаллизации расплава Ф до выпадения двойной эвтектики. В точке Ф (при температуре ~ 190°) начинают выпадать избыточные кристаллы Sn. Следовательно, линия SnЛ характеризует отношение между выпавшими избыточными кристаллами олова и остаточным расплавом. Учитывая, что из остаточного расплава при снижении температуры по линии e₂Е от точки Л до точки Е будет выпадать двойная эвтектика (Sn+Pb), а в точке Е — тройная (Sn+Pb+Bi), то можно считать, что точка Ф на линии SnЛ делит ее на отрезки, пропорциональные количеству избыточных кристаллов олова (отрезок ФЛ), с одной стороны, и количеству двойной и тройной эвтектик (отрезок ФSn) — с другой.

Если измеренные длины линий здесь равны: SnЛ=38 мм; SnФ=22,8 мм и ФЛ=15,2 мм, то количество избыточных кристаллов олова будет составлять $\text{ФЛ} : \text{SnЛ} = (15,2 \times 100) : 38 = 40\%$, а остаточного расплава, который пойдет на кристаллизацию эвтектик, $\text{SnФ} : \text{SnЛ} = (22,8 \times 100) : 38 = 60\%$.

Замеры линии ЕН и ее отрезков дают следующие величины: ЕН=33 мм; ЕМ=22 мм и МН=11 мм. Если длина линии ЕН представляет собой сумму двух эвтектик, равную 60%, а точка М делит эту линию пропорционально их количеству, то получим:

$$\frac{33 - 60}{22 - x} \quad x = \frac{22 \times 60}{33} = 40\% \text{ эвт. (Sn + Pb);}$$

$$\frac{33 - 60}{11 - y} \quad y = \frac{11 \times 60}{33} = 20\% \text{ эвт. (Sn + Pb + Bi).}$$

Структура сплава будет иметь следующий вид: 40% Sn + 40% эвт. (Sn+Pb) + 20% эвт. (Sn+Pb+Bi) = 100%. Общее количество элементов, находящихся в сплаве, равно: Sn 59,01%; Pb 33,18%; Bi 7,81%; всего 100%*.

Заметим, что количество двойной и тройной эвтектик (или количество двойной эвтектики и оставшегося расплава на тройную эвтектику) можно также вычислить известным методом отрезков. Для этого необходимо точку Ф соединить с точкой Е

* Этот расчет рекомендуется провести самостоятельно.

тройной эвтектики и продолжить прямую на сторону треугольника Sn—Pb (точка O). Длины этих отрезков будут равны: EO=42 мм; EF=33 мм и FO=9 мм. Очевидно, линия EO отражает общее количество двух эвтектик, равное 60% (при избыточном количестве кристаллов Sn—40%). Решая пропорции, получим следующие величины эвтектик:

$$\frac{42 - 60}{33 - x} \quad x = \frac{33 \times 60}{42} = \frac{1980}{42} = 47,14\% \text{ эвт. (Sn + Pb);}$$

$$\frac{42 - 60}{9 - y} \quad y = \frac{9 \times 60}{42} = \frac{540}{42} = 12,86\% \text{ эвт. (Sn + Pb + Bi).}$$

Из результатов расчета видно, что расхождения в количестве эвтектик достигают $\sim \pm 7\%$. Следовательно, при расчетах нужно придерживаться одной выбранной методики, а также учитывать, что при нанесении расчетных величин на диаграмму фигуративная точка расплава может оказаться несколько смещенной по отношению к данной точке Ф. Это зависит от точности измерения линии и точности графического исполнения самих диаграмм.

Определяя количество элементов в сплаве при 47,14% эвт. (Sn+Pb), 12,86% эвт. (Sn+Pb+Bi) и 40% избыточных кристаллов Sn, получим Sn 60,02%; Pb 34,95% и Bi 5,03%. Расчет показывает их относительную сходимость.

Рассмотренный способ определения местоположения расплава по структурным составляющим изделий можно применить и для силикатных систем, но для этого важно, чтобы сложные конфигурации пограничных линий диаграммы не препятствовали необходимым графическим построениям.

Из приведенного описания видно, что пересчеты химических анализов различных видов минерального сырья и керамических изделий позволяют получить весьма обширную и интересную информацию.

ТАБЛИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ

В настоящий раздел включены: 1) коэффициенты для пересчета процентных содержаний химических элементов и их окислов в атомные и формульные количества; 2) коэффициенты для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества; 3) коэффициенты для пересчета процентных содержаний гидроокисей в формульные количества; 4) коэффициенты для пересчета процентных содержаний бескислородных соединений в формульные количества; 5) коэффициенты для вычисления атомных количеств и числа атомов химических элементов; 6) таблицы для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$; 7) таблица теоретического состава и плотности плагиоклазов (по П. Н. Чирвинскому, 1953); 8) таблица среднего химического состава и плотности главных минералов изверженных горных пород (по П. Н. Чирвинскому, 1953).

Таблицы коэффициентов составлены с учетом уточненных международных атомных масс элементов 1960 г.

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний химических элементов или их соединений в атомные или формульные количества отражают величину этих количеств, соответствующую 100%-ному содержанию данного элемента или соединения, и представляют собой частное от деления 100% на атомную или формульную массу компонента. Например, коэффициент для нахождения формульного количества Al_2O_3 будет равен $100 : 101,96 = 0,980777$, а формульное количество 30,4% Al_2O_3 равно произведению $30,4 \times 0,980777 = 0,298156 = 0,298 \times 1000 = 298$.

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний химических элементов и их окислов в атомные и формульные количества

Элементы и окислы	Порядковый номер элемента	Символ элемента, формула окисла	Атомная или формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Азот	7	N	14,008	7,138778
азотистый ангидрит		N ₂ O ₃	76,016	1,315513
азотный ангидрид		N ₂ O ₅	108,016	0,925789
диоксид		NO ₂	46,008	2,173535
закись		N ₂ O	44,016	2,271901
окись		NO	30,008	3,332445
Алюминий	13	Al	26,98	3,706449
окись (глинозем)		Al ₂ O ₃	101,96	0,980777
Аргон	18	Ar	39,944	2,503505
Барий	56	Ba	137,36	0,728014
окись		BaO	153,36	0,652061
перекись		BaO ₂	169,36	0,590458
Бериллий	4	Be	9,013	11,095085
окись		BeO	25,013	3,997921
Бор	5	B	10,82	9,242144
окись		B ₂ O ₃	69,64	1,435956
Бром	35	Br	79,916	1,251314
Ванадий	23	V	50,95	1,962709
окись (II)		VO	66,95	1,493652
окись (III)		V ₂ O ₃	149,90	0,667111
диоксид		VO ₂	82,95	1,205546
окись (V)		V ₂ O ₅	181,90	0,549753
Висмут	83	Bi	208,980	0,478515
окись (III)		Bi ₂ O ₃	465,96	0,214611
окись (V)		Bi ₂ O ₅	497,96	0,200819
Водород	1	H	1,008	99,206349
вода		H ₂ O	18,016	5,550622
вода (тяжелая)		D ₂ O	20,029	4,992760
перекись		H ₂ O ₂	34,016	2,939793
Вольфрам	74	W	183,86	0,543892
диоксид		WO ₂	215,86	0,463263
триоксид		WO ₃	231,86	0,431295
Гадолиний	64	Gd	157,26	0,635890
окись		Gd ₂ O ₃	362,52	0,275847
Галлий	31	Ga	69,72	1,434309
закись (II)		GaO	85,72	1,166589
окись (III)		Ga ₂ O ₃	187,44	0,533504
Гафний	72	Hf	178,50	0,560224
диоксид		HfO ₂	210,50	0,475059
Гелий	2	He	4,003	24,981264
Германий	32	Ge	72,60	1,377410
окись (II)		GeO	88,60	1,128668
диоксид		GeO ₂	104,60	0,956023
Гольмий	67	Ho	164,94	0,606281
Диспрозий	66	Dy	162,51	0,615347
окись		Dy ₂ O ₃	373,02	0,268082
Европий	63	Eu	152,0	0,657895
окись		Eu ₂ O ₃	352,0	0,284091

Элементы и окислы	Порядковый номер элемента	Символ элемента, формула окисла	Атомная или формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Железо	26	Fe	55,85	1,790510
закись		FeO	71,85	1,391788
окись (III)		Fe ₂ O ₃	159,70	0,626174
закись—окись (II, III)		Fe ₃ O ₄	231,55	0,431872
Золото	79	Au	197,0	0,507614
закись (I)		Au ₂ O	410,0	0,243902
окись (III)		Au ₂ O ₃	442,0	0,226244
Индий	49	In	114,82	0,870928
окись (II)		InO	130,82	0,764409
окись (III)		In ₂ O ₃	277,64	0,360179
Иод	53	I	126,91	0,787960
окись (III, V)		I ₂ O ₄	317,82	0,314644
окись (V)		I ₂ O ₅	333,82	0,299563
Иридий	77	Ir	192,2	0,520291
окись (III)		Ir ₂ O ₃	432,4	0,231267
двуокись		IrO ₂	224,2	0,446330
Иттербий	70	Yb	173,04	0,577901
окись		Yb ₂ O ₃	394,08	0,253756
Иттрий	39	Y	88,92	1,124636
окись		Y ₂ O ₃	225,84	0,442791
Кадмий	48	Cd	112,41	0,889601
закись		Cd ₂ O	240,82	0,415248
окись		CdO	128,41	0,778756
Калий	19	K	39,100	2,557545
окись		K ₂ O	94,20	1,061571
перекись		K ₂ O ₂	110,20	0,907441
перекись		K ₂ O ₄	142,20	0,703235
Кальций	20	Ca	40,08	2,495010
окись (известь)		CaO	56,08	1,783167
Кислород	8	O	16,00	6,250000
озон		O ₃	48,00	2,083333
Кобальт	27	Co	58,94	1,696641
закись		CoO	74,94	1,334401
окись (III)		Co ₂ O ₃	165,88	0,602845
закись—окись		Co ₃ O ₄	240,82	0,415248
Кремний	14	Si	28,09	3,559986
кремнезем (окись)		SiO ₂	60,09	1,664170
недоокись		SiO	44,09	2,268088
Криптон	36	Kr	83,80	1,193317
Ксенон	54	Xe	131,30	0,761615
Лантан	57	La	138,92	0,719839
окись		La ₂ O	325,84	0,306899
Литий	3	Li	6,940	14,409222
окись		Li ₂ O ₃	29,88	3,346720
Лютеций	71	Lu	174,99	0,571461
Магний	12	Mg	24,32	4,111842
окись		MgO	40,32	2,480159
Марганец	25	Mn	54,94	1,820167
закись (II)		MnO	70,94	1,409642
закись—окись		Mn ₃ O ₄	228,82	0,437025
окись (III)		Mn ₂ O ₃	157,88	0,633392
двуокись		MnO ₂	86,94	1,150219
трехокись (марганцовистый ангидрид)		MnO ₃	102,94	0,971440

Элементы и окислы	Порядковый номер элемента	Символ элемента, формула окисла	Атомная или формульная масса	Коэффициент для пересчета К
марганцовый ангидрид		Mn_2O_7	221,88	0,450694
Медь	29	Cu	63,54	1,573812
закись		Cu_2O	143,08	0,698910
недокись		Cu_4O	270,16	0,370151
окись		CuO	79,54	1,257229
Молибден	42	Mo	95,95	1,042209
двуокись		MoO_2	127,95	0,781555
трехокись		MoO_3	143,95	0,694686
пятиокись		Mo_2O_5	271,90	0,367782
Мышьяк	33	As	74,91	1,334935
окись (III)		As_2O_3	197,82	0,505510
окись (V) (мышьяковый ангидрид)		As_2O_5	229,82	0,435123
Натрий	11	Na	22,991	4,349528
окись		Na_2O	61,982	1,613372
перекись		Na_2O_2	77,982	1,282347
Неодим	60	Nd	144,27	0,693145
окись		Nd_2O_3	336,54	0,297141
Неон	10	Ne	20,183	4,954665
Никель	28	Ni	58,71	1,703287
закись		NiO	74,71	1,338509
закись—окись		Ni_3O_4	240,13	0,416441
окись		Ni_2O_3	165,42	0,604522
Ниобий	41	Nb	92,61	1,076310
окись (II)		NbO	108,91	0,918189
двуокись		NbO_2	124,92	0,800512
окись (V)		Nb_2O_5	265,82	0,376194
Олово	50	Sn	118,70	0,842460
окись (II)		SnO	134,70	0,742390
двуокись		SnO_2	150,70	0,663570
Осмий	76	Os	190,2	0,525762
закись (II)		OsO	206,2	0,484966
окись (III)		Os_2O_2	428,4	0,233427
двуокись		Os_2O_3	222,2	0,450045
трехокись		OsO_3	238,2	0,419815
четырёхокись		OsO_4	254,2	0,393391
Палладий	46	Pd	106,4	0,939850
закись (I)		Pd_2O	228,8	0,437063
окись (II)		PdO	122,4	0,816993
двуокись		PdO_2	138,4	0,722543
Платина	78	Pt	195,09	0,512584
двуокись		PtO_2	227,09	0,440354
Празеодим	59	Pr	140,92	0,709622
(окись III)		Pr_2O_3	329,84	0,303177
четырёхокись		PrO_4	204,92	0,487995
Рений	75	Re	186,22	0,536999
четырёхокись		ReO_4	250,22	0,399648
семнокись (ангидрид)		Re_2O_7	484,44	0,206424
Родий	45	Rh	102,91	0,971723
закись (II)		RhO	118,91	0,840972
окись (III)		Rh_2O_3	253,82	0,393980
двуокись		RhO_2	134,91	0,741235

Элементы и окислы	Порядковый номер элемента	Символ элемента, формула окисла	Атомная или формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Ртуть	80	Hg	200,61	0,498480
закись (I)		Hg ₂ O	417,22	0,239682
окись (II)	37	HgO	216,61	0,461659
Рубидий		Rb	85,48	1,169864
окись		Rb ₂ O	186,96	0,534874
перекиси:		Rb ₂ O ₂	202,96	0,492708
		Rb ₂ O ₃	218,96	0,456704
		Rb ₂ O ₄	234,96	0,425604
		Ru	101,1	0,989120
Рутений	44	Ru ₂ O ₃	250,20	0,399680
окись (III)		RuO ₂	133,1	0,751315
двуокись		RuO ₄	165,1	0,605694
четырёхокись		62	Sm	150,35
Самарий	Sm ₂ O ₃		348,70	0,286779
окись	Sm ₄ O ₉		745,40	0,134156
перекись	82	Pb	207,21	0,482602
Свинец		Pb ₂ O	430,42	0,232331
закись		PbO	223,21	0,448009
окись		PbO ₂	239,21	0,418043
двуокись		Pb ₂ O ₃	462,42	0,216254
закись—окись		Pb ₃ O ₄	685,63	0,145851
сурик		34	Se	78,96
Селен	SeO ₂		110,96	0,901226
двуокись	16	S	32,066	3,118568
Сера		S ₂ O ₃	112,132	0,891806
окись (III)		SO ₂	64,066	1,560890
двуокись		SO ₃	80,066	1,248970
трехокись		S ₂ O ₇	176,132	0,567756
дву-семиокись	47	Ag	107,880	0,926956
Серебро		Ag ₂ O	231,76	0,431481
окись (I)		AgO	123,880	0,807233
окись (II)		Ag ₂ O ₂	247,76	0,403616
перекись		21	Sc	44,96
Скандий	Sc ₂ O ₃		137,92	0,725058
окись	38		Sr	87,63
Стронций		SrO	103,63	0,964972
окись		SrO ₂	119,63	0,835911
перекись	51	Sb	121,76	0,821288
Сурьма		Sb ₂ O ₃	291,52	0,343030
окись (III)		Sb ₂ O ₄	307,52	0,325182
окись (III, V)		Sb ₂ O ₅	323,52	0,309100
окись (V)		81	Tl	204,39
Таллий	Tl ₂ O		424,78	0,235416
закись (I)	Tl ₂ O ₃		456,78	0,218924
окись (III)	73	Ta	180,95	0,552639
Тантал		Ta ₂ O ₂	393,90	0,253872
окись		Ta ₂ O ₄	425,90	0,234797
окись (IV)		Ta ₂ O ₅	441,90	0,226296
окись (V)		52	Te	127,61
Теллур	TeO		143,61	0,696330
окись	TeO ₂		159,61	0,626527
двуокись	TeO ₃		175,61	0,569444
трехокись				

Элементы и окислы	Порядковый номер элемента	Символ элемента, формула окисла	Атомная или формулярная масса	Коэффициент для пересчета К
Тербий	65	Tb	158,93	0,629208
Титан	22	Ti	47,90	2,087683
окись (III)		Ti ₂ O ₃	143,80	0,695410
двуокись		TiO ₂	79,90	1,251564
перекись		TiO ₃	95,90	1,042753
Торий	90	Th	232,05	0,430942
двуокись		ThO ₂	264,05	0,378716
Тулий	69	Tm	168,94	0,591926
Углерод	6	C	12,011	8,325701
недоокись		C ₂ O ₂	68,033	1,469875
окись		CO	28,011	3,570026
двуокись (угольный ангидрид)		CO ₂	44,011	2,272159
Уран	92	U	238,07	0,420045
двуокись		UO ₂	270,07	0,370274
трехокись		UO ₃	286,07	0,349565
урановокислый		U ₃ O ₈	842,21	0,118735
Фосфор	15	P	30,975	3,228410
фосфористый ангидрид		P ₂ O ₃	109,95	0,909504
		или		
		P ₄ O ₆	219,90	0,454752
фосфористо-фосфорный ангидрид		P ₂ O ₄	125,95	0,793966
фосфорный ангидрид		P ₂ O ₅	141,95	0,704473
Фтор	9	F	19,00	5,263158
окись		F ₂ O	54,00	1,851852
Хлор	17	Cl	35,457	2,820318
ангидрид хлорноватистой кислоты		Cl ₂ O	86,914	1,150563
ангидрид хлорной кислоты		Cl ₂ O ₇	182,914	0,546705
двуокись		ClO ₂	67,457	1,482426
четырёхокись		ClO ₄	99,457	1,005460
Хром	24	Cr	52,01	1,922707
закаись (II)		CrO	68,01	1,470372
окись (III)		Cr ₂ O ₃	152,02	0,657808
двуокись		CrO ₂	84,01	1,190334
трехокись (хромовый ангидрид)		CrO ₃	100,01	0,999900
Цезий	55	Cs	132,91	0,752389
окись		Cs ₂ O	281,82	0,354836
перекиси:		Cs ₂ O ₂	297,82	0,335773
		Cs ₂ O ₃	313,82	0,318654
		Cs ₂ O ₄	329,82	0,303196
Церий	58	Ce	140,13	0,713623
окись (III)		Ce ₂ O ₃	328,26	0,304637
окись (IV)		CeO ₂	172,13	0,580956
перекись		CeO ₃	188,13	0,531547
Цинк	30	Zn	65,38	1,529520
окись		ZnO	81,38	1,228803
перекись		ZnO ₂	97,38	1,026905
Цирконий	40	Zr	91,22	1,096251
двуокись		ZrO ₂	123,22	0,811557
Эрбий	68	Er	167,27	0,597836
окись		Er ₂ O ₃	382,54	0,261411

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний минералов в формулярные количества

Минералы	Химическая формула в окисной форме	Формулярная масса	Коэффициент для пересчета
Акмит (эгирин)	Na ₂ O · Fe ₂ O ₃ · 4SiO ₂	462,042	0,216431
Аксинит	4CaO · 2MnO · 2Al ₂ O ₃ · B ₂ O ₃ · 8SiO ₂ × × H ₂ O	1138,496	0,087835
Алаит	V ₂ O ₅ · H ₂ O	261,90	0,381825
Алит	3CaO · SiO ₂ (C ₃ S)	228,33	0,437963
Алунит	K ₂ O · 3Al ₂ O ₃ · 4SO ₃ · 6H ₂ O	828,440	0,120709
Альбит	Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	524,482	0,190664
Альмандин	3FeO · Al ₂ O ₃ · 3SiO ₂	497,78	0,200892
Алюминаты	K ₂ O · Al ₂ O ₃	196,16	0,509788
	Na ₂ O · Al ₂ O ₃	163,942	0,609972
	CaO · Al ₂ O ₃ · (CA)	158,04	0,632751
	CaO · 2Al ₂ O ₃ (CA ₂)	260,00	0,384615
	CaO · 6Al ₂ O ₃ (CA ₆)	667,84	0,149736
	3CaO · Al ₂ O ₃ (C ₃ A)	270,20	0,370096
	4CaO · Al ₂ O ₃ (C ₄ A)	326,28	0,306485
	5CaO · 3Al ₂ O ₃ · (C ₅ A ₃)	585,28	0,170567
	3CaO · 5Al ₂ O ₃ · (C ₃ A ₅)	678,04	0,147484
	12CaO · 7Al ₂ O ₃ · (C ₁₂ A ₇)	1386,68	0,072115
	3CaO · MgO · 2Al ₂ O ₃ · (C ₃ MA ₂)	412,48	0,242436
	7CaO · MgO · 5Al ₂ O ₃ · (C ₇ MA ₅)	942,68	0,106081
	8CaO · Na ₂ O · 3Al ₂ O ₃ · (C ₈ NA ₃)	816,502	0,122474
Алюмосиликаты	CaO · Al ₂ O ₃ · SiO ₂ · (CAS)	218,13	0,458442
	3CaO · Al ₂ O ₃ · SiO ₂ (C ₃ AS)	330,29	0,302764
	K ₂ O · Al ₂ O ₃ · SiO ₂ · (KAS)	256,25	0,390244
Алюмоферриты	6CaO · MgO · 4Al ₂ O ₃ · SiO ₂ · (C ₆ MA ₄ S)	844,73	0,118381
	CaO · Al ₂ O ₃ · 2Fe ₂ O ₃ · (CAF ₂)	477,44	0,209450
	6CaO · 2Al ₂ O ₃ · Fe ₂ O ₃ · (C ₆ A ₂ F)	700,10	0,142837
	6CaO · Al ₂ O ₃ · 2Fe ₂ O ₃ · (C ₆ AF ₂)	757,84	0,131954
	2MgO · 2FeO · 2Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 4H ₂ O	620,504	0,161159
	Na ₂ O · Al ₂ O ₃ · 4SiO ₂ · 2H ₂ O	440,334	0,227100
Амезит	TiO ₂	79,90	1,251564
Анальцим	PbO · SO ₃	303,276	0,329733
Анализит (рутил)	CaO · SO ₃	136,146	0,734506
Англезит	3CaO · Fe ₂ O ₃ · 3SiO ₂	508,21	0,196769
Андрадит	Al ₂ O ₃ · 3SiO ₂ · 2H ₂ O	318,262	0,314207
Аноксит	CaO · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	278,22	0,359428
Анортит	MnO · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂	293,08	0,341204
Анортит марганцевый	7MgO · 8SiO ₂ · H ₂ O	780,976	0,128045
Антофиллит	3CaO · P ₂ O ₅	336,21	0,297433
Апатит	K ₂ O · SO ₃	174,266	0,573835
Аркинит	As ₂ O ₃	197,82	0,505510
Арсенолит	2MgO · B ₂ O ₃ · H ₂ O	168,296	0,594191
Ашарит	ZrO ₂	123,22	0,811557
Бадделейт	BaO · SO ₃	233,426	0,428401
Барит	Al ₂ O ₃ · 3SiO ₂ · 4H ₂ O	354,294	0,282251
Бейделлит	2CaO · SiO ₂ · (C ₂ S)	172,25	0,580552
Белит (ларнит)	3BeO · Al ₂ O ₃ · 6SiO ₂	537,539	0,186033
Берилл	Bi ₂ O ₃	465,96	0,214611
Бисмит	Al ₂ O ₃ · 2H ₂ O	137,992	0,724680
Боксит			

Минералы	Химическая формула в окисной форме	Формульная масса	Коэффициент для пересчета
Браунит	Mn_2O_3	157,88	0,633392
Браунит двухкальциевый	$2CaO \cdot Mn_2O_3$	270,04	0,370316
Браунмиллерит (целит)	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 \cdot (C_4AF)$	485,98	0,205770
Бромеллит	BeO	25,013	3,997921
Брусит	$MgO \cdot H_2O$	58,336	1,714207
Бузенит	NiO	74,71	1,338509
Валентинит	Sb_2O_3	291,52	0,343030
Везувиан	$10CaO \cdot MgO \cdot FeO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 9SiO_2 \times \times 2H_2O$	1453,732	0,068788
Виллемит	$2ZnO \cdot SiO_2$	222,85	0,448732
Витерит	BaO · CO ₂	197,371	0,506660
Витлокит	$3CaO \cdot P_2O_5$	310,19	0,322383
Воластонит	CaO · SiO ₂	116,17	0,860807
Вюстит	FeO	71,85	1,391788
Галаксит	$MnO \cdot Al_2O_3$	172,90	0,578369
Галлуазит	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$	294,204	0,339900
Ганит	$ZnO \cdot Al_2O_3$	183,34	0,545435
Гардистонит	$2CaO \cdot ZnO \cdot 2SiO_2$	313,72	0,318756
Гаусманит	$MnO \cdot Mn_2O_3$	228,82	0,437025
Геденберgit	CaO · FeO · 2SiO ₂	248,11	0,403047
Гейкилит	MgO · TiO ₂	120,22	0,831808
Гексагидрит	$MgO \cdot SO_3 \cdot 6H_2O$	228,482	0,437671
Геленит	$2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot (C_9AS)$	274,21	0,364684
Геленит ферритовый	$2CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot (C_2FS)$	331,95	0,301250
Гельвин	$6MnO \cdot 6BeO \cdot 6SiO_2 \cdot 2MnS$	1110,27	0,090068
Гематит	Fe ₂ O ₃	159,70	0,626174
Герцинит	FeO · Al ₂ O ₃	173,81	0,575341
Гетеролит	$ZnO \cdot Mn_2O_3$	239,26	0,417955
Гётит	Fe ₂ O ₃ · H ₂ O	177,716	0,562696
Гидраргиллит (гиббсит)	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	156,008	0,640993
Гидромусковит (серицит)	$0,5K_2O \cdot H_3O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	768,576	0,130111
Гидроалюминаты	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	378,296	0,264343
	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot H_2O$	214,176	0,466906
	$3Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$	396,002	0,252524
Гидроалюмосиликаты	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	426,412	0,234515
	CaO · Al ₂ O ₃ · 2SiO ₂ · 2H ₂ O	314,252	0,318216
	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	320,154	0,312350
Гильгенштокит	$4CaO \cdot P_2O_5$	366,27	0,273023
Гиперстен	FeO · MgO · 2SiO ₂	232,35	0,430385
Гипс	CaSO ₄ · 2H ₂ O	172,178	0,580794
Глауберит	Na ₂ SO ₄ · CaSO ₄	278,194	0,359461
Глауберова соль (мирабилит)	Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	322,208	0,310359
Глаукофан	$Na_2O \cdot MgO \cdot FeO \cdot CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2 \times \times H_2O$	830,928	0,120347
Гордонит	$MgO \cdot Al_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 9H_2O$	446,374	0,224027
Гроссуляр	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	450,47	0,221990
Данбурит	CaO · B ₂ O ₃ · 2SiO ₂	245,90	0,406669
Датолит	$2CaO \cdot B_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	319,996	0,312504
Девитрит	$Na_2O \cdot 3CaO \cdot 6SiO_2$	590,762	0,169273

Минералы	Химическая формула в окисной форме	Формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Диаспор (бёмцит)	$Al_2O_3 \cdot H_2O$	119,976	0,833500
Диопсид	$CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$	216,58	0,461723
Дистен (андалузит, силлиманит)	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	162,05	0,617093
Доломит	$CaO \cdot MgO \cdot 2CO_2$	184,422	0,542235
Дюмортьерит	$8Al_2O_3 \cdot B_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$	1263,876	0,079122
Египетская синь	$CuO \cdot CaO \cdot 4SiO_2$	375,98	0,265972
Жадент	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	404,302	0,247340
Иддингсит	$MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$	452,354	0,221066
Известь	CaO	56,08	1,783167
Иллит	$K_2O \cdot 5Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 4H_2O$	1096,694	0,091183
Ильваит	$CaO \cdot 4FeO \cdot Fe_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	761,556	0,131310
Ильменит	$FeO \cdot TiO_2$	151,75	0,658979
Калиофилит (фацелит)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	316,34	0,316116
Кальцит	$CaO \cdot CO_2$	100,091	0,999091
Каолинит (диккит)	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	258,172	0,387339
Касситерит	SnO_2	150,70	0,663570
Кварц	SiO_2	60,09	1,664170
Кизерит	$MgO \cdot SO_3 \cdot H_2O$	138,402	0,722533
Кордиерит	$2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$	585,01	0,170937
Корунд	Al_2O_3	101,96	0,980777
Ксенотим	$Y_2O_3 \cdot P_2O_5$	367,79	0,271894
Куприт	Cu_2O	143,08	0,698910
Купротунгстит	$CuWO_3$	311,40	0,321130
Куспидин	$3CaO \cdot CaF_2 \cdot 2SiO_2$	366,50	0,272831
Лейцит	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$	436,52	0,229085
Лепидолит	$K_2O \cdot 2Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2 \cdot 2H_2O$	772,672	0,129421
Лимонит	$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	373,448	0,267775
Людвицит	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot FeO \cdot Fe_2O_3$	422,15	0,236883
Люнебургит	$3MgO \cdot B_2O_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$	476,678	0,209785
Магнезиохромит	$MgO \cdot Cr_2O_3$	192,34	0,519913
Магнезит	$MgO \cdot CO_2$	84,331	1,185804
Магнетит	$FeO \cdot Fe_2O_3$	231,55	0,431872
Мадисонит	$2CaO \cdot 2MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	475,03	0,210513
Манганит	$Mn_2O_3 \cdot H_2O$	175,896	0,568518
Манганозит	MnO	70,94	1,409642
Маргарит	$CaO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	398,196	0,251133
Мейонит	$3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot CaO \cdot CO_2$	934,751	0,106980
Мелантерит	$FeO \cdot SO_3 \cdot 7H_2O$	278,028	0,359676
Мервинит	$3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$	328,74	0,304192
Метасиликат железа (ферросилит)	$FeO \cdot SiO_2$	131,94	0,757920
Метасиликат калия	$K_2O \cdot SiO_2$	154,29	0,648130
Метасиликат магния (энстатит)	$MgO \cdot SiO_2$	100,41	0,995917
Метасиликат натрия	$Na_2O \cdot SiO_2$	122,072	0,819189
Молибдит	MoO_3	143,95	0,694686
Монтчеллит	$CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$	156,49	0,639018
Монтчеллит железистый	$CaO \cdot FeO \cdot SiO_2$	188,02	0,531858
Монтчеллит марганцевистый	$CaO \cdot MnO \cdot SiO_2$	187,11	0,534445

Минералы	Химическая формула в окисной форме	Формульная масса	Коэффициент для пересчета
Монтмориллонит	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$	396,368	0,252291
Муилит	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot (A_2S_2)$	426,06	0,234709
Мусковит	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	796,652	0,125525
Нагелъшмитит	$7CaO \cdot P_2O_5 \cdot 2SiO_2$	654,69	0,152744
Натролит	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$	380,244	0,262989
Нефелин	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	284,122	0,351961
Нонтронит	$Na_2O \cdot 6Fe_2O_3 \cdot Al_2O_3 \cdot 22SiO_2 \cdot 30H_2O$	2984,602	0,033505
Окерманит	или $Fe_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	315,912	0,316544
Окерманит железистый	$2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2 \cdot (C_2MS_2)$	272,66	0,366757
Окерманит ферритовый	$2CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$	304,19	0,328742
Оливин	$2CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot (C_2FS_2)$	392,04	0,255076
Ортоклаз (микроклин)	$MgO \cdot FeO \cdot SiO_2$	172,26	0,580518
Ортосиликат железа (фаялит)	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	556,70	0,179630
Ортосиликат магнаия (форстерит)	$2FeO \cdot SiO_2$	203,79	0,490701
Ортосиликат натрия	$2MgO \cdot SiO_2 (M_2S)$	140,73	0,710581
Отавит	$2Na_2O \cdot SiO_2 (N_2S)$	184,054	0,543319
Парагонит	$CdO \cdot CO_2$	172,421	0,579976
Пектолит	$Na_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	764,434	0,130816
Пеннин	$Na_2O \cdot 4CaO \cdot 6SiO_2 \cdot H_2O$	664,858	0,150408
Периклаз	$Al_2O_3 \cdot 3MgO \cdot 2FeO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$	618,954	0,161563
Перовскит	MgO	40,32	2,480159
Петалит	$CaO \cdot TiO_2$	135,98	0,735402
Пиролозит	$LiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 8SiO_2$	612,56	0,163249
Пироп	MnO_2	86,94	1,150219
Пирофанит	$3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	403,19	0,248022
Пирофиллит	$MnO \cdot TiO_2$	150,84	0,662954
Поллуцит	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$	360,336	0,277519
Псевдобрукит	$2Cs_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 9SiO_2 \cdot H_2O$	1326,386	0,075393
Пумпеллиит	$FeO \cdot TiO_2$	151,75	0,658979
Ранкинит	$6CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 4H_2O$	1135,054	0,088102
Родонит	$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot (C_3S_2)$	288,42	0,346717
Родохрозит	$MnO \cdot SiO_2$	131,03	0,763184
Санборнит	$MnO \cdot CO_2$	114,951	0,869936
Сапфирин	$BaO \cdot 2SiO_2$	273,54	0,365577
Сепнолит	$2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot SiO_2$	344,65	0,290149
Сернокислый магнаий	$4MgO \cdot 5Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	791,260	0,126381
Серпентин (антгорит)	$2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$	296,942	0,336766
Сидерит	$MgO \cdot SO_3$	120,386	0,830661
Сидерофиллит	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	277,172	0,360787
Силикаты калия	$FeO \cdot CO_2$	115,861	0,861303
Силикаты натрия	$K_2O \cdot 6FeO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$	1023,832	0,097672
Силикокарнотит	$K_2O \cdot 2SiO_2 \cdot (KS_2)$	214,38	0,466461
Сколецит	$K_2O \cdot 4SiO_2 \cdot (KS_2)$	334,56	0,298900
Смикит	$Na_2O \cdot 2SiO_2 \cdot (NS_2)$	182,162	0,548962
Смитсонит	$3Na_2O \cdot 2SiO_2 \cdot (N_3S_2)$	306,126	0,326663
	$2Na_2O \cdot CaO \cdot 3SiO_2$	360,314	0,277536
	$Na_2O \cdot CaO \cdot SiO_2$	178,152	0,551318
	$3CaO \cdot P_2O_5 \cdot 2CaO \cdot SiO_2$	482,44	0,207280
	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 3H_2O$	392,358	0,254869
	$MnO \cdot SO_3 \cdot H_2O$	169,022	0,591639
	$ZnO \cdot CO_2$	125,391	0,797505

Минералы	Химическая формула в окисной форме	Формульная масса	Коэффициент для пересчета
Сода	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	286,153	0,349463
Содалит	$3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$	969,262	0,103171
Спессартин	$3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	495,05	0,202000
Сподумен	$\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$	372,20	0,268673
Сомольнокит	$\text{FeO} \cdot \text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	169,932	0,588471
Ставролит	$2\text{FeO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	911,876	0,109664
Стронцианит	$\text{SrO} \cdot \text{CO}_2$	147,641	0,677319
Сфен (титанит)	$\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	196,07	0,510022
Сферикобальтит	$\text{CaO} \cdot \text{CO}_2$	118,951	0,840682
Тальк	$3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	379,336	0,263619
Тенардит	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SO}_3$	142,048	0,703987
Тефроит	$2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$	201,97	0,495123
Титанат бария	$\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2$	233,26	0,428706
Титанат натрия	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{TiO}_2$	141,882	0,704811
Томасит	$8\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$	650,68	0,153685
Торит	$\text{ThO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	324,14	0,308509
Треворит	$\text{NiO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	234,41	0,426603
Тремолит	$2\text{CaO} \cdot 5\text{MgO} \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	812,496	0,123078
Тунгстит	WO_3	231,86	0,431295
Уваровит	$3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	500,53	0,199788
Фенакит	$2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$	110,116	0,908133
Ферримолибдит	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{MoO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	735,678	0,135929
Ферриты:	$\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{CF})$	215,78	0,463435
	$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{C}_2\text{F})$	271,86	0,367836
	$\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot (\text{CF}_2)$	375,48	0,266326
	$\text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	200,02	0,499950
	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	221,682	0,451097
	$\text{CdO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	288,11	0,347090
	$\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	1111,56	0,089964
	$\text{PbO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$	1181,41	0,084645
	$\text{PbO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$	542,61	0,184294
(Франклинит)	$\text{ZnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	241,08	0,414800
(Якобсит)	$\text{MnO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	230,64	0,433576
Флогопит	$\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	834,652	0,119810
Хризоберилл	$\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	126,973	0,787569
Хромит	$\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	223,87	0,446688
Хромит кальциевый	$\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$	208,10	0,480538
Цедестин	$\text{SrO} \cdot \text{SO}_3$	183,696	0,544378
Цельзиан	$\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	375,50	0,266312
Церуссит	$\text{PbO} \cdot \text{CO}_2$	267,221	0,374222
Цинкит	ZnO	81,38	1,228803
Цинкозит	$\text{ZnO} \cdot \text{SO}_3$	161,446	0,619402
Циркон	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	183,31	0,545524
Цирконат бария	$\text{BaO} \cdot \text{ZrO}_2$	276,58	0,361559
Цирконат кальция	$\text{CaO} \cdot \text{ZrO}_2$	179,30	0,557724
Цирконат магния	$\text{MgO} \cdot \text{ZrO}_2$	163,54	0,611471
Цирконат стронция	$\text{SrO} \cdot \text{ZrO}_2$	226,85	0,440820
Цирконат тория	$\text{ThO}_2 \cdot \text{ZrO}_2$	387,27	0,258218
Циозит	$4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	908,756	0,110041
Шамозит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{FeO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	713,544	0,140146
Шаньявскит	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	174,024	0,574633
Шеелит	$\text{CaO} \cdot \text{WO}_3$	287,94	0,347295
Шпинель магнезиальная	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	142,28	0,702839
Штольцит (распит)	$\text{PbO} \cdot \text{WO}_3$	455,07	0,219746
Эпидот	$4\text{CaO} \cdot 1,5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	995,366	0,100466

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний гидроокисей в формульные количества

Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета K	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета K
Al(OH) ₃	78,004	1,281986	Mg(OH) ₂	58,336	1,714207
Au(OH) ₃	248,024	0,403187	Mn(OH) ₂	88,956	1,124151
Ba(OH) ₂	171,376	0,583512	Mn(OH) ₃	105,964	0,943717
Be(OH) ₂	43,029	2,324014	NaOH	39,999	2,500062
Bi(OH) ₃	260,004	0,384609	Ni(OH) ₂	92,726	1,078446
Ca(OH) ₂	74,096	1,349601	Ni(OH) ₃	109,734	0,911295
Cd(OH) ₂	146,426	0,682939	Pb(OH) ₂	241,226	0,414549
Co(OH) ₂	92,956	1,075778	Pd(OH) ₂	140,416	0,712170
Co(OH) ₃	109,964	0,909389	Pd(OH) ₄	174,432	0,573289
Cr(OH) ₃	103,034	0,970553	Pt(OH) ₂	229,106	0,436479
CsOH	149,918	0,667031	Rb(OH)	102,488	0,975724
Cu(OH) ₂	97,556	1,025052	Sm(OH) ₃	201,374	0,496588
Er(OH) ₃	218,294	0,458098	Sn(OH) ₂	152,716	0,654810
Fe(OH) ₂	89,866	1,112768	Sn(OH) ₄	186,732	0,535527
Fe(OH) ₃	106,874	0,935681	Sr(OH) ₂	121,646	0,822057
Ga(OH) ₃	120,744	0,828198	Th(OH) ₄	300,082	0,333242
Gd(OH) ₃	208,284	0,480114	TiOH	221,398	0,451675
In(OH) ₃	165,844	0,602976	Tl(OH) ₃	255,414	0,391521
KOH	56,108	1,782277	Y(OH) ₃	139,944	0,714572
La(OH) ₃	189,944	0,526471	Zn(OH) ₂	99,396	1,006077
LiOH	23,948	4,175714	Zr(OH) ₄	159,252	0,627936

Коэффициенты для пересчета процентных содержаний бескислородных соединений в формульные количества

Минералы	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета K
----------	--------------------	------------------	-------------------------------

Сульфиды

Алабандин	MnS	87,006	1,149346
Ализонит	3Cu ₂ S · PbS	716,714	0,139526
Антимонит	Sb ₂ S ₃	339,718	0,294362
Аргентит (и акантит)	Ag ₂ S	247,826	0,403509
Арсенопирит	FeAsS	162,826	0,614153
Аурипигмент	As ₂ · S ₃	246,018	0,406474
Борнит	Cu ₅ · FeS ₄	501,814	0,199277
Валлериит	Cu ₃ · Fe ₄ S ₇	638,482	0,156621
Ваэсит	NiS ₂	122,842	0,814054
Виоларит	FeNi ₂ S ₄	301,534	0,331638
Висмутин	Bi ₂ S ₃	514,158	0,194493
Вюртцит	ZnS	97,446	1,026209
Галенит	PbS	239,276	0,417927
Гауэрит	MnS ₂	119,072	0,839828
Герсдорфит	NiAsS	165,686	0,603551

Минералы	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Герценберgit	SnS	150,766	0,663280
Гринокит	CdS	144,476	0,692156
Гудмундит	FeSbS	209,676	0,476926
Джейлуит	CoS	91,006	1,098829
Диморфит	$\text{As}_4 \cdot \text{S}_3$	395,838	0,252629
Добрелит	FeCr_2S_4	288,134	0,347061
Карролит	CuCo_2S_4	309,684	0,322910
Каттиерит	CuS_2	123,072	0,812532
Киноварь (и метациннабарит)	HgS	232,676	0,429782
Кобальтин	CoAsS	165,916	0,602715
Ковеллин	CuS	95,606	1,045959
Кокинерит	Cu_4AgS	394,106	0,253739
Кубанит	CuFe_2S_3	271,438	0,368408
Куперит	PtS	227,156	0,440226
Лаурит	RuS_2	165,232	0,605210
Лаутит	CuAsS	170,516	0,586455
Линнеит	$\text{CoS} \cdot \text{Co}_2\text{S}_3$	305,084	0,327779
Миллерит	NiS	90,776	1,101613
Молибденит	MoS_2	160,82	0,621813
Ольдгамит	CaS	72,146	1,386078
Пирит (и марказит)	FeS_2	119,982	0,833458
Полидимит	Ni_3S_4	272,328	0,367204
Реальгар	AsS	106,976	0,934789
Станнин	$\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$	397,828	0,251365
Сфалерит	ZnS	97,446	1,026209
Тиллит	SnSPbS	390,042	0,256383
Троилит	FeS	87,916	1,137449
Тунгстенит	WS_2	247,992	0,403239
Ульманит	NiSbS	212,536	0,470509
Халькозин	Cu_2S	159,146	0,628354
Халькопирит	CuFeS_2	183,522	0,544894
Штернберgit	AgFe_2S_3	315,778	0,316678
Штротмейерит	CuAgS	203,486	0,491434
Ялпайт	Ag_3CuS_2	451,312	0,221576

Селениды

Амвалит	FeSe	134,81	0,741785
Берцелианит	Cu_2Se	206,04	0,485343
Гуанахуанит	Bi_2Se_3	654,84	0,152709
Кадмоселит	CdSe	191,37	0,522548
Клаусталит	PbSe	286,17	0,349443
Клокманит	CuSe	142,50	0,701754
Науманнит	Ag_2Se	294,72	0,339305
Тиманнит	HgSe	279,57	0,357692
Умангит	$\text{CuSe} \cdot \text{Cu}_2\text{Se}$	348,54	0,286911
Ферроселит	FeSe_2	213,77	0,467792
Фрибольдит	CoSe	137,90	0,725163
Штиллеит	ZnSe	144,34	0,692809
Эвкайрит	CuAgSe	250,38	0,399393

Минералы	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета К
Теллуриды			
Алтаит	PbTe	334,82	0,298668
Вейссит	Cu ₅ Te ₃	700,53	0,142749
Верлит	Bi ₃ Te ₂	882,16	0,113358
Гессит	Ag ₂ Te	343,37	0,291231
Жозеит (грюнлингит)	Bi ₄ TeS ₂	1027,662	0,097308
Калаверит	AuTe ₂	452,22	0,221131
Колорадоит	HgTe	328,22	0,304674
Мелонит	NiTe ₂	313,93	0,318542
Монтбрайт	Au ₂ Te ₃	776,83	0,128728
Рикардит	Cu ₄ Te ₃	636,99	0,156988
Сильванит	AuAgTe	432,49	0,231219
Теллуровисмутит	Bi ₂ Te ₂ S	800,79	0,124877
Тетрадимит	Bi ₂ Te ₂ S	705,246	0,141794
Фробергит	FeTe ₂	311,07	0,321471
Хедлейит	Bi ₇ Te ₃	1845,69	0,054180
Эмпессит	AgTe	235,49	0,424646
Арсениды			
Альгодонит	Cu ₆ As	456,15	0,219226
Витнеит	Cu ₉ As	646,77	0,154614
Домейкит	Cu ₄ As	265,53	0,376605
Лёллингит	FeAs ₂	205,67	0,486216
Маухерит	Ni ₃ As ₂	325,95	0,306796
Моддерит	CoAs	133,85	0,747105
Никелин	NiAs	133,62	0,748391
Раммельсбергит	NiAs ₂	208,53	0,479547
Саффорит	CoAs ₂	208,76	0,479019
Скуттерудит	CoAs ₃	283,67	0,352522
Сперрилит	PtAs ₂	344,91	0,289931
Хлоантит	NiAs ₃	283,44	0,352808
Антимониды			
Брейтгауптит	NiSb	180,47	0,554109
Горсфордит	Cu ₆ Sb	503,00	0,198807
Дискразит	Ag ₃ Sb	445,40	0,224517
Палладий—антимонид	Pd ₃ Sb	440,96	0,226778
Сульфосоли			
Айкинит	2PbS · Cu ₂ S · Bi ₂ S ₃ (или PbCu × × BiS ₃)	1151,856 (575,928)	0,086816 0,173633
Андорит	2PbS · Ag ₂ S · 3Sb ₂ S ₃ (или PbAgSb ₃ S ₆)	1745,532 (872,766)	0,057289 0,114578
Баумгауерит	4PbS · 3As ₂ S ₃	1695,158	0,058992
Беегерит	6PbS · Bi ₂ S ₃	1949,814	0,051287
Болвиан	Ag ₂ S · 6Sb ₂ S ₃	2286,134	0,043742
Булаңжерит	5PbS · 2Sb ₂ S ₃	1875,816	0,053310
Бурнонит	2PbS · Cu ₂ S · Sb ₂ S ₃	977,416	0,102311
Виттихенит	3Cu ₂ S · Bi ₂ S ₃	991,596	0,100848
Галеновисмутит	PbS · Bi ₂ S ₃	753,434	0,132726

Минералы	Химическая формула	Формулярная масса	Коэффициент для пересчета К
Геокронит	$5\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	1536,098	0,065100
Германит	$\text{Cu}_3 \cdot \text{GeS}_4$	391,484	0,255438
Гистриксит	$5\text{CuFeS}_2 \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3 \cdot 7\text{Bi}_2\text{S}_3$	5196,152	0,019245
Гитерманит	$3\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	963,846	0,103751
Гладит	$2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$ (или $\text{PbCu} \times \text{Bi}_2\text{S}_3$)	3208,488 (1604,244)	0,031167 0,062335
Гунгаррит	$4\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	1471,262	0,067969
Джемсонит	$4\text{PbS} \cdot \text{FeS} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	2064,174	0,048446
Дюфренуазит	$2\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	724,570	0,138013
Зелигманит	$2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	883,716	0,113159
Козалит	$2\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	992,710	0,100734
Ксантоконит	$3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	989,496	0,101062
Ленгенбахит	$6\text{PbS} \cdot \text{Ag}_2\text{S} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	2175,518	0,045966
Ливейнгит	$5\text{PbS} \cdot 4\text{As}_2\text{S}_3$	2180,452	0,045862
Ливингстонит	$\text{HgS} \cdot 2\text{Sb}_2\text{S}_3$	912,112	0,109636
Лиллианит	$3\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	1231,986	0,081170
Линдстрёмит	$2\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	2180,172	0,045868
Лорандит	$\text{Ti}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	686,864	0,145589
Матильдит	$\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	761,984	0,131236
Менегинит	$4\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	1296,822	0,077112
Миаргирит	$\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	587,544	0,170200
Овихиит	$5\text{PbS} \cdot \text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{Sb}_2\text{S}_3$	2463,360	0,040595
Павонит	$\text{Ag}_2\text{S} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	1790,300	0,055857
Пираргирит	$3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	1083,196	0,092319
Пирсеит	$9\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	2476,452	0,040380
Плагинит	$5\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$	2555,252	0,039135
Платинит	$\text{PbS} \cdot \text{Bi}_2\text{Se}_3$	894,116	0,111842
Полибазит	$9\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	2570,152	0,038908
Прустит	$3\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	989,496	0,101062
Ратит	$3\text{PbS} \cdot 2\text{As}_2\text{S}_3$	1209,864	0,082654
Рецбаннит	$3\text{PbS} \cdot \text{Cu}_2\text{S} \cdot 5\text{Bi}_2\text{S}_3$	3447,764	0,029004
Самсонит	$2\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{MnS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	922,376	0,108416
Сарторит	$\text{PbS} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	485,294	0,206061
Семсейит	$9\text{PbS} \cdot 4\text{Sb}_2\text{S}_3$	3512,356	0,028471
Смитит	$\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	493,844	0,202493
Стефанит	$5\text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	1578,848	0,063337
Сулльванит	Cu_3VS_4	369,834	0,270392
Теннантит	$3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	723,456	0,138225
Тетраэдрит	$3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	817,156	0,122376
Устарасаит	$\text{PbS} \cdot 3\text{Bi}_2\text{S}_3$	1781,750	0,056125
Фаматинит	$\text{Cu}_3 \cdot \text{SbS}_4$	440,644	0,226941
Франкеит	$\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$	2084,594	0,047971
Фрейслебенит	$\text{Pb}_3\text{Ag}_5\text{Sb}_5\text{S}_{12}$	2154,622	0,046412
Фюлёппит	$\text{Pb}_3\text{Sb}_8\text{S}_{15}$	2076,700	0,048153
Халькостибит	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	498,864	0,200455
Цинкениит	$\text{PbS} \cdot \text{Sb}_2\text{S}_3$	578,994	0,172713
Шапбахит	$\text{PbS} \cdot \text{Ag}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	1001,260	0,099874
Эмплектит	$\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{Bi}_2\text{S}_3$	673,304	0,148521
Энардит	$3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_3$	787,588	0,126970

Минералы	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета K
Фториды			
Авогадрит	KBF_4	125,92	0,794155
Веберит	$2\text{NaF} \cdot \text{MgF}_2 \cdot \text{AlF}_3$	230,282	0,434250
Виллиомит	NaF	41,991	2,381463
Гие ратит	K_2SiF_6	220,29	0,453947
Замбонинит	$2\text{MgF}_2 \cdot \text{CaF}_2$	202,72	0,493291
Кароббинит	KF	58,10	1,721170
Криолит	Na_3AlF_6	209,953	0,476297
Криолитионит	$3\text{NaF} \cdot 3\text{LiF} \cdot 2\text{AlF}_3$	371,753	0,268996
Малладрит	Na_2SiF_6	188,072	0,531711
Ноцерит	$3\text{CaF}_2 \cdot \text{MgF}_2 \cdot 2\text{MgO}$	377,20	0,265111
Пахнолит (и томсенолит)	$\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	222,067	0,450315
Селлаит	MgF_2	62,32	1,604621
Флюеллит	$\text{AlF}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	101,996	0,980431
Флюорит	CaF_2	78,08	1,280738
Фтористый алюминий	AlF_3	83,98	1,190760
Фтористый бериллий	BeF_2	47,013	2,127071
Фтористый иттрий	YF_3	145,92	0,685307
Фтористый лантан	LaF_3	195,92	0,510412
Фтористый литий	LiF	25,94	3,855050
Фтористый стронций	SrF_2	125,63	0,795988
Фтористый церий	CeF_3	197,13	0,507279
	Na_2BeF_4	130,995	0,763388
Хиолит	$5\text{NaF} \cdot 3\text{AlF}_3$	461,895	0,216499
Эльпазолит	K_2NaAlF_6	242,171	0,412931
Ярлит	$\text{NaF} \cdot 3\text{SrF}_2 \cdot 3\text{AlF}_3$	670,821	0,149071
Хлориды			
Автофагастит	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	170,486	0,586558
Бишофит	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	203,330	0,491811
Галит	NaCl	58,448	1,710923
	или Na_2Cl_2	116,896	0,855461
Гидрогалит	$\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	94,480	1,058425
Гидрофиант	$\text{KCl} \cdot \text{CaCl}_2$	185,551	0,538935
Дугласит	$2\text{KCl} \cdot \text{FeCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	311,910	0,320605
Каломель	HgCl_2	236,067	0,423609
	или Hg_2Cl_2	472,134	0,211804
Карналит	$\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	277,887	0,359858
Кераргирит	AgCl	143,337	0,697657
Котуннит	PbCl_2	278,124	0,359552
Лавренсит	FeCl_2	126,764	0,788868
Матлокит	Pb FCl	261,667	0,382165
Митчерлихит	$2\text{KCl} \cdot \text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	319,600	0,312891
Молизит	FeCl_3	162,221	0,616443
Нантокит	CuCl	98,997	1,010132
Нашатырь	NH_4Cl	53,497	1,869264
Псевдокотуннит	$\text{PbCl}_2 \cdot \text{KCl}$	352,681	0,283542
Риннеит	$3\text{KCl} \cdot \text{NaCl} \cdot \text{FeCl}_2$	408,883	0,244569
Сильвин	KCl	74,557	1,341256
Скаккит	NnCl_2	125,854	0,794571

Минералы	Химическая формула	Формульная масса	Коэффициент для пересчета K
Тахгидрит	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	517,654	0,193179
Хлоралюминит	$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	241,447	0,414170
Хлорманганокалит	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{KCl}$	424,082	0,235803
Хлорманкалит	$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{KCl}$	424,992	0,235299
Хлоромгнезит	MgCl_2	95,234	1,050045
Эритросидерит	$2\text{KCl} \cdot \text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	329,351	0,303627

Коэффициенты для вычисления атомных количеств и числа атомов химических элементов

В таблице помещены коэффициенты для вычисления атомных количеств элементов и катионов в окислах и коэффициенты для расчета числа атомов катионов в элементарной и окисной формах в объеме $10\,000 \text{ \AA}^3$. Коэффициенты графы 4 представляют собой произведение коэффициента для вычисления атомных или формульных количеств окислов на число катионов в соединении. Так, например, коэффициент для определения атомного количества катионов Al в Al_2O_3 будет равен: $0,980777 \times 2 = 1,961554$, а Si в SiO_2 — $1,664170 \times 1 = 1,664170$.

Коэффициенты в графах 5 и 6 представляют собой произведение соответствующего коэффициента графы 4 на число Авогадро. Так, коэффициент для расчета числа атомов Si в элементарной форме (при плотности породы 1) равен: $3,559986 \times 60,234 = 214,432197$, а число атомов Si в SiO_2 — $1,664170 \times 60,234 = 100,239616$. Число атомов катионов для данного процентного содержания окисла при данной плотности породы равно произведению трех указанных параметров. Например, число атомов Si при SiO_2 77,46% и плотности породы 2,68 будет равно: $100,239616 \times 2,68 \times 77,46\% = 268,642171 \times 0,7746 = 208,090226 = 208,1$ атомов Si. Так как на 1 атом Si приходится 2 атома O, то в 77,46% SiO_2 атомов O $208,1 \times 2 = 416,2$.

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его оксида	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в оксидах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в $10\,000\ \text{Å}^3$) R_f	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в $10\,000\ \text{Å}^3$) R_o
7	Азот	N	7,138778	429,997154	—
		N ₂ O ₃	2,631026	—	158,477220
		N ₂ O ₅	1,851578	—	111,527949
		NO ₂	2,173535	—	130,920707
		N ₂ O	4,543802	—	273,691370
13	Алюминий	NO	3,332445	—	200,726492
		Al	3,706449	223,254249	—
		Al ₂ O ₃	1,961554	—	118,152244
18	Аргон	Ar	2,503505	150,796120	—
56	Барий	Ba	0,728014	43,851195	—
		BaO	0,652061	—	39,276242
		BaO ₂	0,590458	—	35,565647
4	Бериллий	Be	11,095085	668,301350	—
		BeO	3,997921	—	240,810774
5	Бор	B	9,242144	556,691302	—
		B ₂ O ₃	2,871912	—	172,986747
35	Бром	Br	1,251314	75,371647	—
23	Ванадий	V	1,962709	118,221814	—
		VO	1,493652	—	89,968635
		V ₂ O ₃	1,334222	—	80,365528
		VO ₂	1,205546	—	72,614858
		V ₂ O ₅	1,099506	—	66,227644
83	Висмут	Bi	0,478515	28,822873	—
		Bi ₂ O ₃	0,429222	—	25,853758
		Bi ₂ O ₅	0,401638	—	24,192263
		H	99,206349	5975,595226	—
1	Водород	H ₂ O	11,101244	—	668,672331
		D ₂ O	9,985520	—	601,467812
		H ₂ O ₂	5,879586	—	354,150983
		W	0,543892	32,760791	—
74	Вольфрам	WO ₂	0,463263	—	27,904184
		WO ₃	0,431295	—	25,978623
64	Гадолиний	Gd	0,635890	38,302198	—
		Gd ₂ O ₃	0,551694	—	33,230736
31	Галлий	Ga	1,434309	86,394168	—
		GaO	1,166589	—	70,268322
		Ga ₂ O ₃	1,067008	—	64,270160
72	Гафний	Hf	0,560224	33,744532	—
		HfO ₂	0,475095	—	28,614704
2	Гелий	He	24,981264	1504,721456	—
32	Германий	Ge	1,377410	82,966914	—
		GeO	1,128668	—	67,984188
		GeO ₂	0,956023	—	57,585089
67	Гольмий	Ho	0,6062281	36,518730	—
66	Диспрозий	Dy	0,615347	37,064811	—
		Dy ₂ O ₃	0,536164	—	32,295302
		Eu	0,657895	39,627647	—
63	Европий	Eu ₂ O ₃	0,568182	—	34,223875
26	Железо	Fe	1,790510	107,849579	—

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его оксида	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в оксидах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в $10\,000\text{ \AA}^3$) R_i	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в $10\,000\text{ \AA}^3$) R_o
		FeO	1,391788	—	83,832958
		Fe ₂ O ₃	1,252348	—	75,433929
79	Золото	Fe ₃ O ₄	1,295616	—	78,040134
		Au	0,507614	30,575622	—
		Au ₂ O ₃	0,452488	—	27,255162
49	Индий	In	0,870928	52,459477	—
		InO	0,764409	—	46,043412
		In ₂ O ₃	0,720358	—	43,390044
53	Иод	I	0,787960	47,461983	—
		I ₂ O ₄	0,629288	—	37,904533
		I ₂ O ₅	0,599126	—	36,087755
77	Иридий	Ir	0,520291	31,339208	—
		Ir ₂ O ₃	0,462534	—	27,860273
		IrO ₂	0,446030	—	26,866171
70	Иттербий	Yb	0,577901	34,809289	—
		Yb ₂ O ₃	0,507512	—	30,569478
39	Иттрий	Y	1,124606	67,739518	—
		Y ₂ O ₃	0,885582	—	53,342146
48	Кадмий	Cd	0,889601	53,584227	—
		Cd ₂ O	0,830496	—	50,024096
		CdO	0,778756	—	46,907589
19	Калий	K	2,557545	154,051166	—
		K ₂ O	2,123142	—	127,885335
		K ₂ O ₂	1,814882	—	109,317602
		K ₂ O ₄	1,406470	—	84,717314
20	Кальций	Ca	2,495010	150,284432	—
		CaO	1,783167	—	107,407281
8	Кислород	O	6,250000	376,462500	—
27	Кобальт	Co	1,696641	102,195474	—
		CoO	1,334401	—	80,376310
		Co ₂ O ₃	1,205690	—	72,623531
		Co ₃ O ₄	1,245744	—	75,036144
14	Кремний	Si	3,559986	214,432197	—
		SiO ₂	1,664170	—	100,239616
		SiO	2,268088	—	136,616013
36	Криптон	Kr	1,193317	71,878256	—
54	Ксенон	Xe	0,761615	45,875118	—
57	Лантан	La	0,719839	43,358782	—
		La ₂ O ₃	0,613798	—	36,971509
3	Литий	Li	14,409222	867,925078	—
		Li ₂ O	6,693440	—	403,172665
71	Лютеций	Lu	0,571461	34,421382	—
12	Магний	Mg	4,111842	247,672691	—
		MgO	2,480159	—	1,49389897
25	Марганец	Mn	1,820167	109,635939	—
		MnO	1,409642	—	84,908376
		Mn ₂ O ₄	1,311075	—	78,971292
		Mn ₂ O ₃	1,266784	—	76,303467
		MnO ₂	1,150219	—	69,282291

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его окисла	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в окислах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в $10\,000 \text{ \AA}^3$) R_i	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в $10\,000 \text{ \AA}^3$) R_o
29	Медь	MnO ₃	0,971440	—	58,513717
		Mn ₂ O ₇	0,901388	—	54,294205
		Cu	1,573812	94,796992	—
		Cu ₂ O	1,397820	—	84,196290
42	Молибден	Cu ₄ O	1,480604	—	89,182701
		CuO	1,257229	—	75,727932
		Mo	1,042209	62,776417	—
		MoO ₂	0,781555	—	47,076184
33	Мышьяк	MoO ₃	0,694686	—	41,843717
		Mo ₂ O ₅	0,735564	—	44,305962
		As	1,334935	80,408475	—
		As ₂ O ₃	1,011020	—	60,897779
11	Натрий	As ₂ O ₅	0,870246	—	52,418398
		Na	4,349528	261,989470	—
60	Неодим	Na ₂ O	3,226744	—	194,359698
		Na ₂ O ₂	2,564694	—	154,481778
10	Неон	Nd	0,693145	41,750896	—
28	Никель	Nd ₂ O ₃	0,594282	—	35,795982
		Ne	4,954665	298,439292	—
41	Ниобий	Ni	1,703287	102,595789	—
		NiO	1,338509	—	80,623751
		Ni ₃ O ₄	1,249323	—	75,251722
		Ni ₂ O ₃	1,209044	—	72,825556
50	Олово	Nb	1,076310	64,830457	—
		NbO	0,918189	—	55,306196
		NbO ₂	0,800512	—	48,218040
		Nb ₂ O ₅	0,752388	—	45,319339
76	Осмий	Sn	0,842460	50,744736	—
		SnO	0,742390	—	44,717119
		SnO ₂	0,663570	—	39,969475
		Os	0,525762	31,668748	—
		OsO	0,484966	—	29,211442
		Os ₂ O ₃	0,466854	—	28,120484
		OsO ₂	0,450045	—	27,108011
		OsO ₃	0,419815	—	25,287137
46	Палладий	OsO ₄	0,393391	—	23,695513
		Pd	0,939850	56,610925	—
		Pd ₂ O	0,874126	—	52,652105
		PdO	0,816993	—	49,210756
78	Платина	PdO ₂	0,722543	—	43,521655
		Pt	0,512584	30,874985	—
59	Празеодим	PtO ₂	0,440354	—	26,524283
		Pr	0,709622	42,743372	—
		Pr ₂ O ₃	0,606355	—	36,523127
		PrO ₄	0,487995	—	29,393891
75	Рений	Re	0,536999	32,345598	—
		ReO ₄	0,399668	—	24,072398
45	Родий	Re ₂ O ₇	0,412848	—	24,867486
		Rh	0,971723	58,530763	—

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его окисла	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в окислах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в 10 000 Å ³) R_i	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в 10 000 Å ³) R_o
80	Ртуть	RhO	0,840972	—	50,655107
		Rh ₂ O ₃	0,787960	—	47,461983
		RhO ₂	0,741235	—	44,647549
		Hg	0,498480	30,025444	—
37	Рубидий	Hg ₂ O	0,479364	—	28,874011
		HgO	0,461659	—	27,807568
		Rb	1,169864	70,465588	—
		Rb ₂ O	1,069748	—	64,435201
44	Рутений	Rb ₂ O ₂	0,985416	—	59,355547
		Rb ₂ O ₃	0,913408	—	55,018217
		Rb ₂ O ₄	0,851208	—	51,271663
		Ru	0,989120	59,578654	—
62	Самарий	Ru ₂ O ₃	0,799360	—	48,148650
		RuO ₂	0,751315	—	45,254708
		RuO ₄	0,605694	—	36,483372
		Sm	0,665115	40,062537	—
82	Свинец	Sm ₂ O ₃	0,573558	—	34,547693
		Sm ₄ O ₉	0,536624	—	32,323010
		Pb	0,482602	29,069049	—
		Pb ₂ O	0,464662	—	27,988451
34	Селен	PbO	0,448009	—	26,985374
		PbO ₂	0,418043	—	25,180402
		Pb ₂ O ₃	0,432508	—	26,051687
		Pb ₃ O ₄	0,437553	—	26,355567
16	Сера	Se	1,266464	76,284193	—
		SeO ₂	0,901226	—	54,284447
		S	3,118568	187,843825	—
		S ₂ O ₃	1,783612	—	107,434085
47	Серебро	SO ₂	1,560890	—	94,018648
		SO ₃	1,248970	—	75,230459
		S ₂ O ₇	1,135512	—	68,396430
		Ag	0,926956	55,834268	—
21	Скандий	Ag ₂ O	0,862962	—	51,979653
		AgO	0,807233	—	48,622873
		Ag ₂ O ₂	0,807232	—	48,622812
		Sc	2,224199	133,972403	—
38	Стронций	Sc ₂ O ₃	1,450116	—	87,346287
		Sr	1,141162	68,736752	—
		SrO	0,964972	—	58,124123
		SrO ₂	0,835911	—	50,350263
51	Сурьма	Sb	0,821288	49,469461	—
		Sb ₂ O ₃	0,686060	—	41,324138
		Sb ₂ O ₄	0,650364	—	39,174025
		Sb ₂ O ₅	0,618200	—	37,236659
81	Таллий	Tl	0,489261	29,470147	—
		Tl ₂ O	0,470832	—	28,360095
		Tl ₂ O ₃	0,437848	—	26,373336
73	Тантал	Ta	0,552639	33,287658	—

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его окисла	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в окислах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в $10\,000 \text{ \AA}^3$) R_l	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в $10\,000 \text{ \AA}^3$) R_o
52	Теллур	Ta_2O_2	0,507744	—	30,583452
		Ta_2O_4	0,469594	—	28,285525
		Ta_2O_5	0,452592	—	27,261427
		Te	0,783638	47,201651	—
		TeO	0,696330	—	41,942741
		TeO ₂	0,626527	—	37,738227
65	Тербий	TeO ₃	0,569444	—	34,299890
		Tb	0,629208	37,899715	—
22	Титан	Tj	2,087683	125,749498	—
		Ti ₂ O ₃	1,390820	—	83,774652
90	Торий	TiO ₂	1,251564	—	75,386706
		TiO ₃	1,042753	—	62,809184
		Th	0,430942	25,957360	—
		ThO ₂	0,378716	—	22,811580
69	Тулий	Tm	0,591926	35,654071	—
		6	Углерод	C	8,325701
92	Уран	C ₃ O ₂	4,409625	—	265,609352
		CO	3,570026	—	215,036946
		CO ₂	2,272159	—	136,861225
		U	0,420045	25,300991	—
15	Фосфор	UO ₂	0,370274	—	22,303084
		UO ₃	0,349565	—	21,055698
		U ₃ O ₈	0,356205	—	21,455652
		P	3,228410	194,460048	—
		P ₂ O ₃	1,819008	—	109,566128
		или P ₄ O ₆	1,819008	—	109,566128
9	Фтор	P ₂ O ₄	1,587932	—	95,647496
		P ₂ O ₅	1,408946	—	84,866453
17	Хлор	F	5,263158	317,021059	—
		F ₂ O	3,703704	—	223,088907
		Cl	2,820318	169,879034	—
		Cl ₂ O	2,301126	—	138,606023
24	Хром	Cl ₂ O ₇	1,093410	—	65,860458
		ClO ₂	1,482426	—	89,292448
		ClO ₄	1,005460	—	60,562878
		Cr	1,922707	115,812333	—
		CrO	1,470372	—	88,566387
		Cr ₂ O ₃	1,315616	—	79,244814

Порядковый номер	Элемент	Символ элемента и формула его окисла	Коэффициент для расчета атомных количеств элементов и катионов в окислах	Коэффициент для расчета числа атомов в элементарной форме (в $10\,000\text{ A}^3$) R_i	Коэффициент для расчета числа атомов в окисной форме (в $10\,000\text{ A}^3$) R_o
24	Хром	Cr_2O_3	1,190334	—	71,698578
		CrO_3	0,999900	—	60,227977
55	Цезий	Cs	0,752389	45,319399	—
		Cs_2O	0,709672	—	42,746383
		Cs_2O_2	0,671546	—	40,449902
		Cs_2O_3	0,637308	—	38,387610
		Cs_2O_4	0,606392	—	36,525416
58	Церий	Ce	0,713623	42,984368	—
		Ce_2O_3	0,609274	—	36,699010
		CeO_2	0,580956	—	34,993304
		CeO_3	0,531547	—	32,017202
30	Цинк	Zn	1,529520	92,129108	—
		ZnO	1,228803	—	74,015720
		ZnO_2	1,026905	—	61,854596
40	Цирконий	Zr	1,096251	66,031583	—
		ZrO_2	0,811557	—	48,883324
68	Эрбий	Er	0,597836	36,010054	—
		Er_2O_3	0,522822	—	34,491660

Таблицы для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$

Таблицы составлены для 15 основных пар глинистых минералов. В ней также показаны (для удобства выбора соответствующей таблицы при расчетах) отношения формульных количеств $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ при некоторых процентных содержаниях двух минералов.

Например, в таблице XII нонтронит — монтмориллонит отношение $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ изменяется от 0,250 до 0,008 и при 25% нонтронита и 75% монтмориллонита оно равно 0,208.

В некоторых таблицах интервалы процентных содержаний минералов значительно сокращены и при необходимости, пользуясь коэффициентами минералов в заголовках таблиц, их можно достроить. В связи с этим читателю рекомендуется ознакомиться с полной таблицей. Работа с таблицами подробно описана в текстовой части.

Глинистые минералы	Отношение формульных количеств $Al_2O_3:SiO_2$							
	0—100	10—90	25—75	50—50	60—40	75—25	90—10	100—0
I. Каолинит—аллофан	0,866	0,799	0,718	0,621	0,591	0,552	0,519	0,500
II. Галлузит—каолинит	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
III. Мусковит—каолинит	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
IV. Гидрагиллит—каолинит	0,500	0,592	0,776	1,327	1,741	2,982	7,948	—
V. Фолерит—каолинит	0,500	0,508	0,521	0,544	0,553	0,567	0,582	0,592
VI. Монотермит—каолинит	0,500	0,481	0,454	0,411	0,395	0,371	0,348	0,333
VII. Монтмориллонит—каолинит	0,500	0,468	0,424	0,359	0,335	0,301	0,270	0,250
VIII. Монтмориллонит—монотермит	0,333	0,324	0,310	0,289	0,281	0,269	0,257	0,250
IX. Монотермит—бейделлит	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333	0,333
X. Монтмориллонит—бейделлит	0,333	0,324	0,310	0,288	0,280	0,268	0,257	0,250
XI. Бейделлит—гидрослюда	0,450	0,438	0,420	0,390	0,378	0,361	0,344	0,333
XII. Нонтронит—монтмориллонит	0,250	0,234	0,208	0,157	0,133	0,092	0,044	0,008
XIII. Нонтронит—гидрослюда	0,450	0,414	0,357	0,254	0,209	0,138	0,062	0,008
XIV. Монтмориллонит—гидрослюда	0,450	0,426	0,391	0,338	0,319	0,291	0,266	0,250
XV. Альбит—анортит	0,500	0,450	0,384	0,295	0,265	0,224	0,188	0,167

I. Каолинит — аллофан

Содержание, минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Каолинит	Аллофан	Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Аллофан $Al_2O_3 \cdot 1,155SiO_2 \cdot 7,258H_2O$ ($K = 0,330990$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$1,155 SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,33099	0,38229	0,866	0,33099	0,38229	0,866
1	99	0,00387	0,00774	0,500	0,32768	0,37847	0,866	0,33155	0,38621	0,858
2	98	0,00775	0,01550	0,500	0,32437	0,37465	0,866	0,33212	0,39015	0,851
3	97	0,01162	0,02324	0,500	0,32106	0,37082	0,866	0,33268	0,39406	0,844
4	96	0,01549	0,03098	0,500	0,31775	0,36700	0,866	0,33324	0,39798	0,837
5	95	0,01937	0,03874	0,500	0,31444	0,36318	0,866	0,33381	0,40192	0,831
6	94	0,02324	0,04648	0,500	0,31113	0,35936	0,866	0,33437	0,40584	0,824
7	93	0,02711	0,05422	0,500	0,30782	0,35553	0,866	0,33493	0,40975	0,817
8	92	0,03099	0,06198	0,500	0,30451	0,35170	0,866	0,33550	0,41368	0,811
9	91	0,03486	0,06972	0,500	0,30120	0,34789	0,866	0,33606	0,41761	0,805
10	90	0,03873	0,07746	0,500	0,29789	0,34406	0,866	0,33662	0,42152	0,799
11	89	0,04261	0,08522	0,500	0,29458	0,34024	0,866	0,33719	0,42546	0,793
12	88	0,04648	0,09296	0,500	0,29127	0,33642	0,866	0,33775	0,42936	0,787
13	87	0,05035	0,10070	0,500	0,28796	0,33259	0,866	0,33831	0,43329	0,781
14	86	0,05423	0,10846	0,500	0,28465	0,32877	0,866	0,33888	0,43723	0,775
15	85	0,05810	0,11620	0,500	0,28134	0,32495	0,866	0,33944	0,44115	0,769
16	84	0,06197	0,12394	0,500	0,27803	0,32112	0,866	0,34000	0,44506	0,764
17	83	0,06585	0,13170	0,500	0,27472	0,31730	0,866	0,34057	0,44900	0,759
18	82	0,06972	0,13944	0,500	0,27141	0,31348	0,866	0,34113	0,45292	0,753
19	81	0,07359	0,14718	0,500	0,26810	0,30966	0,866	0,34169	0,45684	0,748
20	80	0,07747	0,15494	0,500	0,26479	0,30583	0,866	0,34226	0,46077	0,743
21	79	0,08134	0,16268	0,500	0,26148	0,30201	0,866	0,34282	0,46469	0,738
22	78	0,08521	0,17042	0,500	0,25817	0,29819	0,866	0,34338	0,46861	0,733
23	77	0,08909	0,17818	0,500	0,25486	0,29436	0,866	0,34395	0,47254	0,728
24	76	0,09296	0,18592	0,500	0,25155	0,29054	0,866	0,34451	0,47646	0,723
25	75	0,09683	0,19366	0,500	0,24824	0,28672	0,866	0,34507	0,48038	0,718

II. Галлуазит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Галлуазит	Каолинит	Галлуазит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K = 0,339900$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00340	0,00680	0,500	0,38347	0,76694	0,500	0,38687	0,77374	0,500
2	98	0,00680	0,01360	0,500	0,37959	0,75918	0,500	0,38639	0,77278	0,500
3	97	0,01020	0,02040	0,500	0,37572	0,75144	0,500	0,38592	0,77184	0,500
4	96	0,01360	0,02720	0,500	0,37185	0,74370	0,500	0,38545	0,77090	0,500
5	95	0,01700	0,03400	0,500	0,36797	0,73594	0,500	0,38497	0,76994	0,500
6	94	0,02039	0,04078	0,500	0,36410	0,72820	0,500	0,38449	0,76898	0,500
7	93	0,02379	0,04758	0,500	0,36023	0,74046	0,500	0,38402	0,76804	0,500
8	92	0,02719	0,05438	0,500	0,35635	0,71270	0,500	0,38354	0,76708	0,500
9	91	0,03059	0,06118	0,500	0,35248	0,70496	0,500	0,38307	0,76614	0,500
10	90	0,03399	0,06798	0,500	0,34861	0,69722	0,500	0,38260	0,76520	0,500
11	89	0,03739	0,07478	0,500	0,34473	0,68946	0,500	0,38212	0,76424	0,500
12	88	0,04079	0,08158	0,500	0,34086	0,68172	0,500	0,38165	0,76330	0,500
13	87	0,04419	0,08838	0,500	0,33698	0,67396	0,500	0,38117	0,76234	0,500
14	86	0,04759	0,09518	0,500	0,33311	0,66622	0,500	0,38070	0,76140	0,500
15	85	0,05098	0,10196	0,500	0,32924	0,65848	0,500	0,38022	0,76044	0,500
16	84	0,05438	0,10876	0,500	0,32536	0,65072	0,500	0,37974	0,75948	0,500
17	83	0,05778	0,11556	0,500	0,32149	0,64298	0,500	0,37927	0,75854	0,500
18	82	0,06118	0,12236	0,500	0,31762	0,63524	0,500	0,37880	0,75760	0,500
19	81	0,06458	0,12916	0,500	0,31374	0,62748	0,500	0,37832	0,75664	0,500
20	80	0,06798	0,13596	0,500	0,30987	0,61974	0,500	0,37785	0,75570	0,500
21	79	0,07138	0,14276	0,500	0,30600	0,61200	0,500	0,37738	0,75476	0,500
22	78	0,07478	0,14956	0,500	0,30212	0,60424	0,500	0,37690	0,75380	0,500
23	77	0,07818	0,15636	0,500	0,29825	0,59650	0,500	0,37643	0,75286	0,500
24	76	0,08158	0,16316	0,500	0,29438	0,58876	0,500	0,37596	0,75192	0,500
25	75	0,08498	0,16996	0,500	0,29050	0,58100	0,500	0,37548	0,75096	0,500

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Галлуазит	Каолинит	Галлуазит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K = 0,339900$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
26	74	0,08837	0,17674	0,500	0,28663	0,57326	0,500	0,37500	0,75000	0,500
27	73	0,09177	0,18354	0,500	0,28276	0,56552	0,500	0,37453	0,74906	0,500
28	72	0,09517	0,19034	0,500	0,27888	0,55776	0,500	0,37405	0,74810	0,500
29	71	0,09857	0,19714	0,500	0,27501	0,55002	0,500	0,37358	0,74716	0,500
30	70	0,10197	0,20394	0,500	0,27114	0,54228	0,500	0,37311	0,74622	0,500
31	69	0,10537	0,21074	0,500	0,26726	0,53452	0,500	0,37263	0,74526	0,500
32	68	0,10877	0,21754	0,500	0,26339	0,52678	0,500	0,37216	0,74432	0,500
33	67	0,11217	0,22434	0,500	0,25952	0,51904	0,500	0,37169	0,74338	0,500
34	66	0,11557	0,23114	0,500	0,25564	0,51128	0,500	0,37121	0,74242	0,500
35	65	0,11896	0,23792	0,500	0,25177	0,50354	0,500	0,37073	0,74146	0,500
36	64	0,12236	0,24472	0,500	0,24790	0,49580	0,500	0,37026	0,74052	0,500
37	63	0,12576	0,25152	0,500	0,24402	0,48804	0,500	0,36978	0,73956	0,500
38	62	0,12916	0,25832	0,500	0,24015	0,48030	0,500	0,36931	0,73862	0,500
39	61	0,13256	0,26512	0,500	0,23628	0,47256	0,500	0,36884	0,73768	0,500
40	60	0,13596	0,27192	0,500	0,23240	0,46480	0,500	0,36836	0,73672	0,500
41	59	0,13936	0,27872	0,500	0,22853	0,45706	0,500	0,36789	0,73578	0,500
42	58	0,14276	0,28552	0,500	0,22466	0,44932	0,500	0,36742	0,73484	0,500
43	57	0,14616	0,29232	0,500	0,22078	0,44156	0,500	0,36694	0,73388	0,500
44	56	0,14956	0,29912	0,500	0,21691	0,43382	0,500	0,36647	0,73294	0,500
45	55	0,15296	0,30592	0,500	0,21304	0,42608	0,500	0,36600	0,73200	0,500
46	54	0,15635	0,31270	0,500	0,20916	0,41832	0,500	0,36551	0,73102	0,500
47	53	0,15975	0,31950	0,500	0,20529	0,41058	0,500	0,36504	0,73008	0,500
48	52	0,16315	0,32630	0,500	0,20142	0,40284	0,500	0,36457	0,72914	0,500
49	51	0,16655	0,33310	0,500	0,19754	0,39508	0,500	0,36409	0,72818	0,500
50	50	0,16995	0,33990	0,500	0,19367	0,38734	0,500	0,36362	0,72724	0,500

III. Мусковит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 , SiO_2 и единицы расчета K_2O							Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Мусковит	Каолинит	Мусковит $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,125525$)				Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		K_2O	$3Al_2O_3$	$6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00126	0,00378	0,00756	0,500	0,38347	0,76694	0,500	0,38725	0,77450	0,500
2	98	0,00251	0,00753	0,01506	0,500	0,37959	0,75918	0,500	0,38712	0,77424	0,500
3	97	0,00377	0,01131	0,02262	0,500	0,37572	0,75144	0,500	0,38703	0,77406	0,500
4	96	0,00502	0,01506	0,03012	0,500	0,37185	0,74370	0,500	0,38691	0,77382	0,500
5	95	0,00628	0,01884	0,03768	0,500	0,36797	0,73594	0,500	0,38681	0,77362	0,500
6	94	0,00753	0,02259	0,04518	0,500	0,36410	0,72820	0,500	0,38669	0,77338	0,500
7	93	0,00879	0,02637	0,05274	0,500	0,36023	0,72046	0,500	0,38660	0,77320	0,500
8	92	0,01004	0,03012	0,06024	0,500	0,35635	0,71270	0,500	0,38647	0,77294	0,500
9	91	0,01130	0,03390	0,06780	0,500	0,35248	0,70496	0,500	0,38638	0,77276	0,500
10	90	0,01255	0,03765	0,07530	0,500	0,34861	0,69722	0,500	0,38626	0,77252	0,500
11	89	0,01381	0,04143	0,08286	0,500	0,34473	0,68946	0,500	0,38616	0,77232	0,500
12	88	0,01506	0,04518	0,09036	0,500	0,34086	0,68172	0,500	0,38604	0,77208	0,500
13	87	0,01632	0,04896	0,09792	0,500	0,33698	0,67396	0,500	0,38594	0,77188	0,500
14	86	0,01757	0,05271	0,10542	0,500	0,33311	0,66622	0,500	0,38582	0,77164	0,500
15	85	0,01883	0,05649	0,11298	0,500	0,32924	0,65848	0,500	0,38573	0,77146	0,500
16	84	0,02008	0,06024	0,12048	0,500	0,32536	0,65072	0,500	0,38560	0,77120	0,500
17	83	0,02134	0,06402	0,12804	0,500	0,32149	0,64298	0,500	0,38551	0,77102	0,500
18	82	0,02259	0,06777	0,13554	0,500	0,31762	0,63524	0,500	0,38539	0,77078	0,500
19	81	0,02385	0,07155	0,14310	0,500	0,31374	0,62748	0,500	0,38529	0,77058	0,500
20	80	0,02510	0,07530	0,15060	0,500	0,30987	0,61974	0,500	0,38517	0,77034	0,500
21	79	0,02636	0,07908	0,15816	0,500	0,30600	0,61200	0,500	0,38508	0,77016	0,500
22	78	0,02762	0,08286	0,16572	0,500	0,30212	0,60424	0,500	0,38498	0,76996	0,500
23	77	0,02887	0,08661	0,17322	0,500	0,29825	0,59650	0,500	0,38486	0,76972	0,500
24	76	0,03013	0,09039	0,18078	0,500	0,29438	0,58876	0,500	0,38477	0,76954	0,500
25	75	0,03138	0,09414	0,18828	0,500	0,29050	0,58100	0,500	0,38464	0,76928	0,500

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 , SiO_2 и единицы расчета K_2O							Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Мусковит	Каолинит	Мусковит $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,125525$)				Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		K_2O	$3Al_2O_3$	$6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,09540	0,28620	0,57240	0,500	0,09296	0,18592	0,500	0,37916	0,75832	0,500
77	23	0,09665	0,28995	0,57990	0,500	0,08909	0,17818	0,500	0,37904	0,75808	0,500
78	22	0,09791	0,29373	0,58746	0,500	0,08521	0,17042	0,500	0,37894	0,75788	0,500
79	21	0,09916	0,29748	0,59496	0,500	0,08134	0,16268	0,500	0,37882	0,75764	0,500
80	20	0,10042	0,30126	0,60252	0,500	0,07747	0,15494	0,500	0,37873	0,75746	0,500
81	19	0,10168	0,30504	0,61008	0,500	0,07359	0,14718	0,500	0,37863	0,75726	0,500
82	18	0,10293	0,30879	0,61758	0,500	0,06972	0,13944	0,500	0,37851	0,75702	0,500
83	17	0,10419	0,31257	0,62514	0,500	0,06585	0,13170	0,500	0,37842	0,75684	0,500
84	16	0,10544	0,31632	0,63264	0,500	0,06197	0,12394	0,500	0,37829	0,75658	0,500
85	15	0,10670	0,32010	0,64020	0,500	0,05810	0,11620	0,500	0,37820	0,75640	0,500
86	14	0,10795	0,32385	0,64770	0,500	0,05423	0,10846	0,500	0,37808	0,75616	0,500
87	13	0,10921	0,32763	0,65526	0,500	0,05035	0,10070	0,500	0,37798	0,75596	0,500
88	12	0,11046	0,33138	0,66276	0,500	0,04648	0,09296	0,500	0,37786	0,75572	0,500
89	11	0,11172	0,33516	0,67032	0,500	0,04261	0,08522	0,500	0,37777	0,75554	0,500
90	10	0,11297	0,33891	0,67782	0,500	0,03873	0,07746	0,500	0,37764	0,75528	0,500
91	9	0,11423	0,34269	0,68538	0,500	0,03486	0,06972	0,500	0,37755	0,75510	0,500
92	8	0,11548	0,34644	0,69288	0,500	0,03099	0,06198	0,500	0,37743	0,75486	0,500
93	7	0,11674	0,35022	0,70044	0,500	0,02711	0,05422	0,500	0,37733	0,75466	0,500
94	6	0,11799	0,35397	0,70794	0,500	0,02324	0,04648	0,500	0,37721	0,75442	0,500
95	5	0,11925	0,35775	0,71550	0,500	0,01937	0,03874	0,500	0,37712	0,75424	0,500
96	4	0,12050	0,36150	0,72300	0,500	0,01549	0,03098	0,500	0,37699	0,75398	0,500
97	3	0,12176	0,36528	0,73056	0,500	0,01162	0,02324	0,500	0,37690	0,75380	0,500
98	2	0,12301	0,36903	0,73806	0,500	0,00775	0,01550	0,500	0,37678	0,75356	0,500
99	1	0,12427	0,37281	0,74562	0,500	0,00387	0,00774	0,500	0,37668	0,75336	0,500
100	0	0,12553	0,37659	0,75318	0,500	—	—	—	0,37659	0,75318	0,500

IV. Гидрагиллит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Гидрагиллит (глюбоцит)	Каолинит	Гидрагиллит $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ($K = 0,640993$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	SiO_2	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00641	—	—	0,38347	0,76694	0,500	0,38988	0,76694	0,508
2	98	0,01282	—	—	0,37959	0,75918	0,500	0,39241	0,75918	0,517
3	97	0,01923	—	—	0,37572	0,75144	0,500	0,39495	0,75144	0,526
4	96	0,02564	—	—	0,37185	0,74370	0,500	0,39749	0,74370	0,534
5	95	0,03205	—	—	0,36797	0,73594	0,500	0,40002	0,73594	0,544
6	94	0,03846	—	—	0,36410	0,72820	0,500	0,40256	0,72820	0,553
7	93	0,04487	—	—	0,36023	0,72046	0,500	0,40510	0,72046	0,562
8	92	0,05128	—	—	0,35635	0,71270	0,500	0,40763	0,71270	0,572
9	91	0,05769	—	—	0,35248	0,70496	0,500	0,41017	0,70496	0,582
10	90	0,06410	—	—	0,34861	0,69722	0,500	0,41271	0,69722	0,592
11	89	0,07051	—	—	0,34473	0,68946	0,500	0,41524	0,68946	0,602
12	88	0,07692	—	—	0,34086	0,68172	0,500	0,41778	0,68172	0,613
13	87	0,08333	—	—	0,33698	0,67396	0,500	0,42031	0,67396	0,624
14	86	0,08974	—	—	0,33311	0,66622	0,500	0,42285	0,66622	0,635
15	85	0,09615	—	—	0,32924	0,65848	0,500	0,42539	0,65848	0,646
16	84	0,10256	—	—	0,32536	0,65072	0,500	0,42792	0,65072	0,658
17	83	0,10897	—	—	0,32149	0,64298	0,500	0,43046	0,64298	0,669
18	82	0,11538	—	—	0,31762	0,63524	0,500	0,43300	0,63524	0,682
19	81	0,12179	—	—	0,31374	0,62748	0,500	0,43553	0,62748	0,694
20	80	0,12820	—	—	0,30987	0,61974	0,500	0,43807	0,61974	0,707
21	79	0,13461	—	—	0,30600	0,61200	0,500	0,44061	0,61200	0,720
22	78	0,14102	—	—	0,30212	0,60424	0,500	0,44314	0,60424	0,733
23	77	0,14743	—	—	0,29825	0,59650	0,500	0,44568	0,59650	0,747
24	76	0,15384	—	—	0,29438	0,58876	0,500	0,44822	0,58876	0,761
25	75	0,16025	—	—	0,29050	0,58100	0,500	0,45075	0,58100	0,776

V. Фолерит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Фолерит	Каолинит	Фолерит $Al_2O_3 \cdot 1,69 SiO_2 \cdot 1,92 H_2O$ ($K = 0,419986$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	1,69 SiO_2	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	2 SiO_2	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00420	0,00710	0,592	0,38347	0,76694	0,500	0,38767	0,77404	0,501
2	98	0,00840	0,01420	0,592	0,37959	0,75918	0,500	0,38799	0,77338	0,502
3	97	0,01260	0,02129	0,592	0,37572	0,75144	0,500	0,38832	0,77273	0,50253
4	96	0,01680	0,02839	0,592	0,37185	0,74370	0,500	0,38865	0,77209	0,503
5	95	0,02100	0,03549	0,592	0,36797	0,73594	0,500	0,38897	0,77143	0,504
6	94	0,02520	0,04259	0,592	0,36410	0,72820	0,500	0,38930	0,77079	0,505
7	93	0,02940	0,04969	0,592	0,36023	0,72046	0,500	0,38963	0,77015	0,506
8	92	0,03360	0,05678	0,592	0,35635	0,71270	0,500	0,38995	0,76948	0,507
9	91	0,03780	0,06388	0,592	0,35248	0,70496	0,500	0,39028	0,76884	0,50762
10	90	0,04200	0,07098	0,592	0,34861	0,69722	0,500	0,39061	0,76820	0,508
11	89	0,04620	0,07808	0,592	0,34473	0,68946	0,500	0,39093	0,76754	0,509
12	88	0,05040	0,08518	0,592	0,34086	0,68172	0,500	0,39126	0,76690	0,510
13	87	0,05460	0,09227	0,592	0,33698	0,67396	0,500	0,39158	0,76623	0,511
14	86	0,05880	0,09937	0,592	0,33311	0,66622	0,500	0,39191	0,76559	0,512
15	85	0,06300	0,10647	0,592	0,32924	0,65848	0,500	0,39224	0,76495	0,513
16	84	0,06720	0,11357	0,592	0,32536	0,65072	0,500	0,39256	0,76429	0,51363
17	83	0,07140	0,12067	0,592	0,32149	0,64298	0,500	0,39289	0,76365	0,514
18	82	0,07560	0,12776	0,592	0,31762	0,63524	0,500	0,39322	0,76300	0,515
19	81	0,07980	0,13486	0,592	0,31374	0,62748	0,500	0,39354	0,76234	0,516
20	80	0,08400	0,14196	0,592	0,30987	0,61974	0,500	0,39387	0,76170	0,517
21	79	0,08820	0,14906	0,592	0,30600	0,61200	0,500	0,39420	0,76106	0,518
22	78	0,09240	0,15616	0,592	0,30212	0,60424	0,500	0,39452	0,76040	0,519
23	77	0,09660	0,16325	0,592	0,29825	0,59650	0,500	0,39485	0,75975	0,520
24	76	0,10080	0,17035	0,592	0,29438	0,58876	0,500	0,39518	0,75911	0,52058
25	75	0,10500	0,17745	0,592	0,29050	0,58100	0,500	0,39550	0,75845	0,521

VI. Монотермит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монотермит	Каолинит	Монотермит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 0,2K_2O \cdot 2H_2O$ ($K = 0,296646$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00297	0,00891	0,333	0,38347	0,76694	0,500	0,38644	0,77585	0,498
2	98	0,00593	0,01779	0,333	0,37959	0,75918	0,500	0,38552	0,77697	0,496
3	97	0,00890	0,02670	0,333	0,37572	0,75144	0,500	0,38462	0,77814	0,494
4	96	0,01187	0,03561	0,333	0,37185	0,74370	0,500	0,38372	0,77931	0,492
5	95	0,01483	0,04449	0,333	0,36797	0,73594	0,500	0,38280	0,78043	0,490
6	94	0,01780	0,05340	0,333	0,36410	0,72820	0,500	0,38190	0,78160	0,489
7	93	0,02077	0,06231	0,333	0,36023	0,72046	0,500	0,38100	0,78277	0,487
8	92	0,02373	0,07119	0,333	0,35635	0,71270	0,500	0,38008	0,78389	0,485
9	91	0,02670	0,08010	0,333	0,35248	0,70496	0,500	0,37918	0,78506	0,483
10	90	0,02966	0,08898	0,333	0,34861	0,69722	0,500	0,37827	0,78620	0,481
11	89	0,03263	0,09789	0,333	0,34473	0,68946	0,500	0,37736	0,78735	0,479
12	88	0,03560	0,10680	0,333	0,34086	0,68172	0,500	0,37646	0,78852	0,477
13	87	0,03856	0,11568	0,333	0,33698	0,67396	0,500	0,37554	0,78964	0,476
14	86	0,04153	0,12459	0,333	0,33311	0,66622	0,500	0,37464	0,79081	0,474
15	85	0,04450	0,13350	0,333	0,32924	0,65848	0,500	0,37374	0,79198	0,472
16	84	0,04746	0,14238	0,333	0,32536	0,65072	0,500	0,37282	0,79310	0,470
17	83	0,05043	0,15129	0,333	0,32149	0,64298	0,500	0,37192	0,79427	0,468
18	82	0,05340	0,16020	0,333	0,31762	0,63524	0,500	0,37102	0,79544	0,466
19	81	0,05636	0,16908	0,333	0,31374	0,62748	0,500	0,37010	0,79656	0,465
20	80	0,05933	0,17799	0,333	0,30987	0,61974	0,500	0,36920	0,79773	0,463
21	79	0,06230	0,18690	0,333	0,30600	0,61200	0,500	0,36830	0,79890	0,461
22	78	0,06526	0,19578	0,333	0,30212	0,60424	0,500	0,36738	0,80002	0,459
23	77	0,06823	0,20469	0,333	0,29825	0,59650	0,500	0,36648	0,80119	0,457
24	76	0,07120	0,21360	0,333	0,29438	0,58876	0,500	0,36558	0,80236	0,456
25	75	0,07416	0,22248	0,333	0,29050	0,58100	0,500	0,36466	0,80348	0,454

VII. Монтмориллонит — каолинит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Каолинит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K = 0,252291$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,38734	0,77468	0,500	0,38734	0,77468	0,500
1	99	0,00252	0,01008	0,250	0,38347	0,76694	0,500	0,38599	0,77702	0,497
2	98	0,00505	0,02020	0,250	0,37959	0,75918	0,500	0,38464	0,77938	0,494
3	97	0,00757	0,03028	0,250	0,37572	0,75144	0,500	0,38329	0,78172	0,490
4	96	0,01009	0,04036	0,250	0,37185	0,74370	0,500	0,38194	0,78406	0,487
5	95	0,01261	0,05044	0,250	0,36797	0,73594	0,500	0,38058	0,78638	0,484
6	94	0,01514	0,06056	0,250	0,36410	0,72820	0,500	0,37924	0,78876	0,481
7	93	0,01766	0,07064	0,250	0,36023	0,72046	0,500	0,37789	0,79110	0,478
8	92	0,02018	0,08072	0,250	0,35635	0,71270	0,500	0,37653	0,79342	0,475
9	91	0,02271	0,09084	0,250	0,35248	0,70496	0,500	0,37519	0,79580	0,471
10	90	0,02523	0,10092	0,250	0,34861	0,69722	0,500	0,37384	0,79814	0,468
11	89	0,02775	0,11100	0,250	0,34473	0,68946	0,500	0,37248	0,80046	0,465
12	88	0,03027	0,12108	0,250	0,34086	0,68172	0,500	0,37113	0,80280	0,462
13	87	0,03280	0,13120	0,250	0,33698	0,67396	0,500	0,36978	0,80516	0,459
14	86	0,03532	0,14128	0,250	0,33311	0,66622	0,500	0,36843	0,80760	0,456
15	85	0,03784	0,15136	0,250	0,32924	0,65848	0,500	0,36708	0,80984	0,453
16	84	0,04037	0,16148	0,250	0,32536	0,65072	0,500	0,36573	0,81220	0,450
17	83	0,04289	0,17156	0,250	0,32149	0,64298	0,500	0,36438	0,81454	0,447
18	82	0,04541	0,18164	0,250	0,31762	0,63524	0,500	0,36303	0,81688	0,444
19	81	0,04794	0,19176	0,250	0,31374	0,62748	0,500	0,36168	0,81924	0,441
20	80	0,05046	0,20184	0,250	0,30987	0,61974	0,500	0,36033	0,82158	0,439
21	79	0,05298	0,21192	0,250	0,30600	0,61200	0,500	0,35898	0,82392	0,436
22	78	0,05550	0,22200	0,250	0,30212	0,60424	0,500	0,35762	0,82624	0,433
23	77	0,05803	0,23212	0,250	0,29825	0,59650	0,500	0,35628	0,82862	0,430
24	76	0,06055	0,24220	0,250	0,29438	0,58876	0,500	0,35493	0,83096	0,427
25	75	0,06307	0,25228	0,250	0,29050	0,58100	0,500	0,35357	0,83328	0,424

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Каолинит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K = 0,252291$)			Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ($K = 0,387339$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,19174	0,76696	0,250	0,09296	0,18592	0,500	0,28470	0,95288	0,299
77	23	0,19426	0,77704	0,250	0,08909	0,17818	0,500	0,28335	0,95522	0,297
78	22	0,19679	0,78716	0,250	0,08521	0,17042	0,500	0,28200	0,95758	0,294
79	21	0,19931	0,79724	0,250	0,08134	0,16268	0,500	0,28065	0,95992	0,292
80	20	0,20183	0,80732	0,250	0,07747	0,15494	0,500	0,27930	0,96226	0,290
81	19	0,20436	0,81744	0,250	0,07359	0,14718	0,500	0,27795	0,96462	0,288
82	18	0,20688	0,82752	0,250	0,06972	0,13944	0,500	0,27660	0,96696	0,286
83	17	0,20940	0,83760	0,250	0,06585	0,13170	0,500	0,27525	0,96930	0,284
84	16	0,21192	0,84768	0,250	0,06197	0,12394	0,500	0,27389	0,97162	0,282
85	15	0,21445	0,85780	0,250	0,05810	0,11620	0,500	0,27255	0,97400	0,280
86	14	0,21697	0,86788	0,250	0,05423	0,10846	0,500	0,27120	0,97634	0,278
87	13	0,21949	0,87796	0,250	0,05035	0,10070	0,500	0,26984	0,97866	0,276
88	12	0,22202	0,88808	0,250	0,04648	0,09296	0,500	0,26850	0,98104	0,274
89	11	0,22454	0,89816	0,250	0,04261	0,08522	0,500	0,26715	0,98338	0,272
90	10	0,22706	0,90824	0,250	0,03873	0,07746	0,500	0,26579	0,98570	0,270
91	9	0,22958	0,91832	0,250	0,03486	0,06972	0,500	0,26444	0,98804	0,268
92	8	0,23211	0,92844	0,250	0,03099	0,06198	0,500	0,26310	0,99042	0,266
93	7	0,23463	0,93852	0,250	0,02711	0,05422	0,500	0,26174	0,99274	0,264
94	6	0,23715	0,94860	0,250	0,02324	0,04648	0,500	0,26039	0,99508	0,262
95	5	0,23968	0,95872	0,250	0,01937	0,03874	0,500	0,25905	0,99746	0,260
96	4	0,24220	0,96880	0,250	0,01549	0,03098	0,500	0,25769	0,99978	0,258
97	3	0,24472	0,97888	0,250	0,01162	0,02324	0,500	0,25634	1,00212	0,256
98	2	0,24725	0,98900	0,250	0,00775	0,01550	0,500	0,25500	1,00450	0,254
99	1	0,24977	0,99908	0,250	0,00387	0,00774	0,500	0,25364	1,00682	0,252
100	0	0,25229	1,00916	0,250	—	—	—	0,25229	1,00916	0,250

VIII. Монтмориллонит — монотермит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Монотермит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K = 0,252291$)			Монотермит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 0,2K_2O \cdot 2H_2O$ ($K = 0,296646$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,29665	0,88995	0,333	0,29665	0,88995	0,333
1	99	0,00252	0,01008	0,250	0,29368	0,88104	0,333	0,29620	0,89112	0,332
2	98	0,00505	0,02020	0,250	0,29071	0,87213	0,333	0,29576	0,89233	0,331
3	97	0,00757	0,03028	0,250	0,28775	0,86325	0,333	0,29532	0,89353	0,33051
4	96	0,01009	0,04036	0,250	0,28478	0,85434	0,333	0,29487	0,89470	0,330
5	95	0,01261	0,05044	0,250	0,28181	0,84543	0,333	0,29442	0,89587	0,329
6	94	0,01514	0,06056	0,250	0,27885	0,83655	0,333	0,29399	0,89711	0,328
7	93	0,01766	0,07064	0,250	0,27588	0,82764	0,333	0,29354	0,89828	0,327
8	92	0,02018	0,08072	0,250	0,27291	0,81873	0,333	0,29309	0,89945	0,326
9	91	0,02271	0,09084	0,250	0,26995	0,80985	0,333	0,29266	0,90069	0,325
10	90	0,02523	0,10092	0,250	0,26698	0,80094	0,333	0,29221	0,90186	0,324
11	89	0,02775	0,11100	0,250	0,26401	0,79203	0,333	0,29176	0,90303	0,323
12	88	0,03027	0,12108	0,250	0,26105	0,78315	0,333	0,29132	0,90423	0,322
13	87	0,03280	0,13120	0,250	0,25808	0,77424	0,333	0,29088	0,90544	0,321
14	86	0,03532	0,14128	0,250	0,25512	0,76536	0,333	0,29044	0,90664	0,320
15	85	0,03784	0,15136	0,250	0,25215	0,75645	0,333	0,28999	0,90781	0,319
16	84	0,04037	0,16148	0,250	0,24918	0,74754	0,333	0,28955	0,90902	0,31853
17	83	0,04289	0,17156	0,250	0,24622	0,73866	0,333	0,28911	0,91022	0,318
18	82	0,04541	0,18164	0,250	0,24325	0,72975	0,333	0,28866	0,91139	0,317
19	81	0,04794	0,19176	0,250	0,24028	0,72084	0,333	0,28822	0,91260	0,316
20	80	0,05046	0,20184	0,250	0,23732	0,71196	0,333	0,28778	0,91380	0,315
21	79	0,05298	0,21192	0,250	0,23435	0,70305	0,333	0,28733	0,91497	0,314
22	78	0,05550	0,22200	0,250	0,23138	0,69414	0,333	0,28688	0,91614	0,313
23	77	0,05803	0,23212	0,250	0,22842	0,68526	0,333	0,28645	0,91738	0,312
24	76	0,06055	0,24220	0,250	0,22545	0,67635	0,333	0,28600	0,91855	0,311
25	75	0,06307	0,25228	0,250	0,22248	0,66744	0,333	0,28555	0,91972	0,310

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Монотермит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K = 0,252291$)			Монотермит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 0,2K_2O \cdot 2H_2O$ ($K = 0,296646$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,19174	0,76696	0,250	0,07120	0,21360	0,333	0,26294	0,98056	0,268
77	23	0,19426	0,77704	0,250	0,06823	0,20469	0,333	0,26249	0,98173	0,267
78	22	0,19679	0,78716	0,250	0,06526	0,19578	0,333	0,26205	0,98294	0,26660
79	21	0,19931	0,79724	0,250	0,06230	0,18690	0,333	0,26161	0,98414	0,266
80	20	0,20183	0,80732	0,250	0,05933	0,17799	0,333	0,26116	0,98531	0,265
81	19	0,20436	0,81744	0,250	0,05636	0,16908	0,333	0,26072	0,98652	0,264
82	18	0,20688	0,82752	0,250	0,05340	0,16020	0,333	0,26028	0,98772	0,26352
83	17	0,20940	0,83760	0,250	0,05043	0,15129	0,333	0,25983	0,98889	0,263
84	16	0,21192	0,84768	0,250	0,04746	0,14238	0,333	0,25938	0,99006	0,262
85	15	0,21445	0,85780	0,250	0,04450	0,13350	0,333	0,25895	0,99130	0,261
86	14	0,21697	0,86788	0,250	0,04153	0,12459	0,333	0,25850	0,99247	0,260
87	13	0,21949	0,87796	0,250	0,03856	0,11568	0,333	0,25805	0,99364	0,25970
88	12	0,22202	0,88808	0,250	0,03560	0,10680	0,333	0,25762	0,99488	0,259
89	11	0,22454	0,89816	0,250	0,03263	0,09789	0,333	0,25717	0,99605	0,258
90	10	0,22706	0,90824	0,250	0,02966	0,08898	0,333	0,25672	0,99722	0,257
91	9	0,22958	0,91832	0,250	0,02670	0,08010	0,333	0,25628	0,99842	0,25669
92	8	0,23211	0,92844	0,250	0,02373	0,07119	0,333	0,25584	0,99963	0,256
93	7	0,23463	0,93852	0,250	0,02077	0,06231	0,333	0,25540	1,00083	0,255
94	6	0,23715	0,94860	0,250	0,01780	0,05340	0,333	0,25495	1,00200	0,254
95	5	0,23968	0,95872	0,250	0,01483	0,04449	0,333	0,25451	1,00321	0,253
96	4	0,24220	0,96880	0,250	0,01187	0,03561	0,333	0,25407	1,00441	0,25296
97	3	0,24472	0,97888	0,250	0,00890	0,02670	0,333	0,25362	1,00558	0,252
98	2	0,24725	0,98900	0,250	0,00593	0,01779	0,333	0,25318	1,00679	0,251
99	1	0,24977	0,99908	0,250	0,00297	0,00891	0,333	0,25274	1,00799	0,25074
100	0	0,25229	1,00916	0,250	—	—	—	0,25229	1,00916	0,250

IX. Монотермит — бейделлит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монотермит	Бейделлит	Монотермит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 0,2K_2O \cdot 2H_2O$ ($K=0,296646$)			Бейделлит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K=0,282251$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,28225	0,84675	0,333	0,28225	0,84675	0,333
1	99	0,00297	0,00891	0,333	0,27943	0,83829	0,333	0,28240	0,84720	0,333
2	98	0,00593	0,01779	0,333	0,27661	0,82983	0,333	0,28254	0,84762	0,333
3	97	0,00890	0,02670	0,333	0,27378	0,82134	0,333	0,28268	0,84804	0,333
4	96	0,01187	0,03561	0,333	0,27096	0,81288	0,333	0,28283	0,84849	0,333
5	95	0,01483	0,04449	0,333	0,26814	0,80442	0,333	0,28297	0,84891	0,333
6	94	0,01780	0,05340	0,333	0,26532	0,79596	0,333	0,28312	0,84936	0,333
7	93	0,02077	0,06231	0,333	0,26249	0,78747	0,333	0,28326	0,84978	0,333
8	92	0,02373	0,07119	0,333	0,25967	0,77901	0,333	0,28340	0,85020	0,333
9	91	0,02670	0,08010	0,333	0,25685	0,77055	0,333	0,28355	0,85065	0,333
10	90	0,02966	0,08898	0,333	0,25403	0,76209	0,333	0,28369	0,85107	0,333
11	89	0,03263	0,09789	0,333	0,25120	0,75360	0,333	0,28383	0,85149	0,333
12	88	0,03560	0,10680	0,333	0,24838	0,74514	0,333	0,28398	0,85194	0,333
13	87	0,03856	0,11568	0,333	0,24556	0,73668	0,333	0,28412	0,85236	0,333
14	86	0,04153	0,12459	0,333	0,24274	0,72822	0,333	0,28427	0,85281	0,333
15	85	0,04450	0,13350	0,333	0,23991	0,71973	0,333	0,28441	0,85323	0,333
16	84	0,04746	0,14238	0,333	0,23709	0,71127	0,333	0,28455	0,85365	0,333
17	83	0,05043	0,15129	0,333	0,23427	0,70281	0,333	0,28470	0,85410	0,333
18	82	0,05340	0,16020	0,333	0,23145	0,69435	0,333	0,28485	0,85455	0,333
19	81	0,05636	0,16908	0,233	0,22862	0,68586	0,333	0,28498	0,85494	0,333
20	80	0,05933	0,17799	0,333	0,22580	0,67740	0,333	0,28513	0,85539	0,333
21	79	0,06230	0,18690	0,333	0,22298	0,66894	0,333	0,28528	0,85584	0,333
22	78	0,06526	0,19578	0,333	0,22016	0,66048	0,333	0,28542	0,85626	0,333
23	77	0,06823	0,20469	0,333	0,21733	0,65199	0,333	0,28556	0,85668	0,333
24	76	0,07120	0,21360	0,333	0,21451	0,64353	0,333	0,28571	0,85713	0,333
25	75	0,07416	0,22248	0,333	0,21169	0,63507	0,333	0,28585	0,85755	0,333

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монотермит	Бейделлит	Монотермит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2K_2O \cdot 2H_2O$ ($K=0,296646$)			Бейделлит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K=0,282251$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,22545	0,67635	0,333	0,06774	0,20322	0,333	0,29319	0,87957	0,333
77	23	0,22842	0,68526	0,333	0,06492	0,19476	0,333	0,29334	0,88002	0,333
78	22	0,23138	0,69414	0,333	0,06210	0,18630	0,333	0,29348	0,88044	0,333
79	21	0,23435	0,70305	0,333	0,05927	0,17781	0,333	0,29362	0,88086	0,333
80	20	0,23732	0,71196	0,333	0,05645	0,16935	0,333	0,29377	0,88131	0,333
81	19	0,24028	0,72084	0,333	0,05363	0,16089	0,333	0,29391	0,88173	0,333
82	18	0,24325	0,72975	0,333	0,05081	0,15243	0,333	0,29406	0,88218	0,333
83	17	0,24622	0,73866	0,333	0,04798	0,14394	0,333	0,29420	0,88260	0,333
84	16	0,24918	0,74754	0,333	0,04516	0,13548	0,333	0,29434	0,88302	0,333
85	15	0,25215	0,75645	0,333	0,04234	0,12702	0,333	0,29449	0,88347	0,333
86	14	0,25512	0,76536	0,333	0,03952	0,11856	0,333	0,29464	0,88392	0,333
87	13	0,25808	0,77424	0,333	0,03669	0,11007	0,333	0,29477	0,88431	0,333
88	12	0,26105	0,78315	0,333	0,03387	0,10161	0,333	0,29492	0,88476	0,333
89	11	0,26401	0,79203	0,333	0,03105	0,09315	0,333	0,29506	0,88518	0,333
90	10	0,26698	0,80094	0,333	0,02823	0,08469	0,333	0,29521	0,88563	0,333
91	9	0,26995	0,80985	0,333	0,02540	0,07620	0,333	0,29535	0,88605	0,333
92	8	0,27291	0,81873	0,333	0,02258	0,06774	0,333	0,29549	0,88647	0,333
93	7	0,27588	0,82764	0,333	0,01976	0,05928	0,333	0,29564	0,88692	0,333
94	6	0,27885	0,83655	0,333	0,01694	0,05082	0,333	0,29579	0,88737	0,333
95	5	0,28181	0,84543	0,333	0,01411	0,04233	0,333	0,29592	0,88776	0,333
96	4	0,28478	0,85434	0,333	0,01129	0,03387	0,333	0,29607	0,88821	0,333
97	3	0,28775	0,86325	0,333	0,00847	0,02541	0,333	0,29622	0,88866	0,333
98	2	0,29071	0,87213	0,333	0,00564	0,01692	0,333	0,29635	0,88905	0,333
99	1	0,29368	0,88104	0,333	0,00282	0,00846	0,333	0,29650	0,88950	0,333
100	0	0,29665	0,88995	0,333	—	—	—	0,29665	0,88995	0,333

X. Монтмориллонит — бейделлит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Бейделлит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Бейделлит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K=0,282251$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,28225	0,84675	0,333	0,28225	0,84675	0,333
1	99	0,00252	0,01008	0,250	0,27943	0,83829	0,333	0,28195	0,84837	0,332
2	98	0,00505	0,02020	0,250	0,27661	0,82983	0,333	0,28166	0,85003	0,331
3	97	0,00757	0,03028	0,250	0,27378	0,82134	0,333	0,28135	0,85162	0,330
4	96	0,01009	0,04036	0,250	0,27096	0,81288	0,333	0,28105	0,85324	0,329
5	95	0,01261	0,05044	0,250	0,26814	0,80442	0,333	0,28075	0,85486	0,328
6	94	0,01514	0,06056	0,250	0,26532	0,79596	0,333	0,28046	0,85652	0,327
7	93	0,01766	0,07064	0,250	0,26249	0,78747	0,333	0,28015	0,85811	0,326
8	92	0,02018	0,08072	0,250	0,25967	0,77901	0,333	0,27985	0,85973	0,3251
9	91	0,02271	0,09084	0,250	0,25685	0,77055	0,333	0,27956	0,86139	0,325
10	90	0,02523	0,10092	0,250	0,25403	0,76209	0,333	0,27926	0,86301	0,324
11	89	0,02775	0,11100	0,250	0,25120	0,75360	0,333	0,27895	0,86460	0,323
12	88	0,03027	0,12108	0,250	0,24838	0,74514	0,333	0,27865	0,86622	0,322
13	87	0,03280	0,13120	0,250	0,24556	0,73668	0,333	0,27836	0,86788	0,321
14	86	0,03532	0,14128	0,250	0,24274	0,72822	0,333	0,27806	0,86950	0,320
15	85	0,03784	0,15136	0,250	0,23991	0,71973	0,333	0,27775	0,87109	0,319
16	84	0,04037	0,16148	0,250	0,23709	0,71127	0,333	0,27746	0,87275	0,318
17	83	0,04289	0,17156	0,250	0,23427	0,70281	0,333	0,27716	0,87437	0,317
18	82	0,04541	0,18164	0,250	0,23145	0,69435	0,333	0,27686	0,87599	0,316
19	81	0,04794	0,19176	0,250	0,22862	0,68586	0,333	0,27656	0,87762	0,315
20	80	0,05046	0,20184	0,250	0,22580	0,67740	0,333	0,27626	0,87924	0,314
21	79	0,05298	0,21192	0,250	0,22298	0,66894	0,333	0,27596	0,88086	0,313
22	78	0,05550	0,22200	0,250	0,22016	0,66048	0,333	0,27566	0,88248	0,312
23	77	0,05803	0,23212	0,250	0,21733	0,65199	0,333	0,27536	0,88411	0,311
24	76	0,06055	0,24220	0,250	0,21451	0,64353	0,333	0,27506	0,88573	0,31055
25	75	0,06307	0,25228	0,250	0,21169	0,63507	0,333	0,27476	0,88735	0,310

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Бейделлит	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Бейделлит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K=0,282251$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,19174	0,76696	0,250	0,06774	0,20322	0,333	0,25948	0,97018	0,267
77	23	0,19426	0,77704	0,250	0,06492	0,19476	0,333	0,25918	0,97180	0,26670
78	22	0,19679	0,78716	0,250	0,06210	0,18630	0,333	0,25889	0,97346	0,266
79	21	0,19931	0,79724	0,250	0,05927	0,17781	0,333	0,25858	0,97505	0,265
80	20	0,20183	0,80732	0,250	0,05645	0,16935	0,333	0,25828	0,97667	0,264
81	19	0,20436	0,81744	0,250	0,05363	0,16089	0,333	0,25799	0,97833	0,26370
82	18	0,20688	0,82752	0,250	0,05081	0,15243	0,333	0,25769	0,97995	0,263
83	17	0,20940	0,83760	0,250	0,04798	0,14394	0,333	0,25738	0,98154	0,262
84	16	0,21192	0,84768	0,250	0,04516	0,13548	0,333	0,25708	0,98316	0,261
85	15	0,21445	0,85780	0,250	0,04234	0,12702	0,333	0,25679	0,98482	0,26075
86	14	0,21697	0,86788	0,250	0,03952	0,11856	0,333	0,25649	0,98644	0,260
87	13	0,21949	0,87796	0,250	0,03669	0,11007	0,333	0,25618	0,98803	0,259
88	12	0,22202	0,88808	0,250	0,03387	0,10161	0,333	0,25589	0,98969	0,25856
89	11	0,22454	0,89816	0,250	0,03105	0,09315	0,333	0,25559	0,99131	0,258
90	10	0,22706	0,90824	0,250	0,02823	0,08469	0,333	0,25529	0,99293	0,257
91	9	0,22958	0,91832	0,250	0,02540	0,07620	0,333	0,25498	0,99452	0,256
92	8	0,23211	0,92844	0,250	0,02258	0,06774	0,333	0,25469	0,99618	0,25567
93	7	0,23463	0,93852	0,250	0,01976	0,05928	0,333	0,25439	0,99780	0,255
94	6	0,23715	0,94860	0,250	0,01694	0,05082	0,333	0,25409	0,99942	0,254
95	5	0,23968	0,95872	0,250	0,01411	0,04233	0,333	0,25379	1,00105	0,25352
96	4	0,24220	0,96880	0,250	0,01129	0,03387	0,333	0,25349	1,00267	0,253
97	3	0,24472	0,97888	0,250	0,00847	0,02541	0,333	0,25319	1,00429	0,252
98	2	0,24725	0,98900	0,250	0,00564	0,01692	0,333	0,25289	1,00592	0,251
99	1	0,24977	0,99908	0,250	0,00282	0,00846	0,333	0,25259	1,00754	0,25070
100	0	0,25229	1,00916	0,250	—	—	—	0,25229	1,00916	0,250

XI. Бейделлит — гидрослюда

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Бейделлит	Гидрослюда	Бейделлит $Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ ($K=0,282251$)			Гидрослюда* ($K=0,355763$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$3SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2,22SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,35576	0,78979	0,450	0,35576	0,78979	0,450
1	99	0,00282	0,00846	0,333	0,35221	0,78191	0,450	0,35503	0,79037	0,449
2	98	0,00564	0,01692	0,333	0,34865	0,77400	0,450	0,35429	0,79092	0,448
3	97	0,00847	0,02541	0,333	0,34509	0,76610	0,450	0,35356	0,79151	0,447
4	96	0,01129	0,03387	0,333	0,34153	0,75820	0,450	0,35282	0,79207	0,445
5	95	0,01411	0,04233	0,333	0,33797	0,75029	0,450	0,35208	0,79262	0,444
6	94	0,01694	0,05082	0,333	0,33442	0,74241	0,550	0,35136	0,79324	0,443
7	93	0,01976	0,05928	0,333	0,33086	0,73451	0,450	0,35062	0,79379	0,442
8	92	0,02258	0,06774	0,333	0,32730	0,72661	0,450	0,34988	0,79435	0,440
9	91	0,02540	0,07620	0,333	0,32374	0,71870	0,450	0,34914	0,79490	0,439
10	90	0,02823	0,08469	0,333	0,32019	0,71082	0,450	0,34842	0,79551	0,438
11	89	0,03105	0,09315	0,333	0,31663	0,70292	0,450	0,34768	0,79607	0,437
12	88	0,03387	0,10161	0,333	0,31307	0,69502	0,450	0,34694	0,79663	0,436
13	87	0,03669	0,11007	0,333	0,30951	0,68711	0,450	0,34620	0,79718	0,434
14	86	0,03952	0,11856	0,333	0,30596	0,67923	0,450	0,34548	0,79779	0,433
15	85	0,04234	0,12702	0,333	0,30240	0,67133	0,450	0,34474	0,79835	0,432
16	84	0,04516	0,13548	0,333	0,29884	0,66342	0,450	0,34400	0,79890	0,431
17	83	0,04798	0,14394	0,333	0,29528	0,65552	0,450	0,34326	0,79946	0,429
18	82	0,05081	0,15243	0,333	0,29173	0,64764	0,450	0,34254	0,80007	0,428
19	81	0,05363	0,16089	0,333	0,28817	0,63974	0,450	0,34180	0,80063	0,427
20	80	0,05645	0,16935	0,333	0,28461	0,63183	0,450	0,34106	0,80118	0,426
21	79	0,05927	0,17781	0,333	0,28105	0,62393	0,450	0,34032	0,80174	0,424
22	78	0,06210	0,18630	0,333	0,27750	0,61605	0,450	0,33960	0,80235	0,423
23	77	0,06492	0,19476	0,333	0,27394	0,60815	0,450	0,33886	0,80291	0,422
24	76	0,06774	0,20322	0,333	0,27038	0,60024	0,450	0,33812	0,80346	0,421
25	75	0,07056	0,21168	0,333	0,26682	0,59234	0,450	0,33738	0,80402	0,420

* Химическая формула гидрослюды, рассчитанная по анализу из работы М. Ф. Видуловой (1957 г.), имеет вид: $Al_2O_3 \cdot 2,22SiO_2 \cdot 0,01Fe_2O_3 \cdot x \cdot 0,02MgO \cdot 0,03CaO \cdot 0,1K_2O \cdot 0,11Na_2O \cdot 1,41H_2O$

XII. Нонтронит — монтмориллонит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 -и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Нонтронит	Монтмориллонит	Нонтронит $Al_2O_3 \cdot 126,6SiO_2 \cdot 62,6Fe_2O_3 \times 126,6H_2O$ ($K=0,005003$)			Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$126,6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,25229	1,00916	0,250	0,25229	1,00916	0,250
1	99	0,00005	0,00633	0,008	0,24977	0,99908	0,250	0,24982	1,00541	0,248
2	98	0,00010	0,01266	0,008	0,24725	0,98900	0,250	0,24735	1,00166	0,247
3	97	0,00015	0,01899	0,008	0,24472	0,97888	0,250	0,24487	0,99787	0,245
4	96	0,00020	0,02532	0,008	0,24220	0,96880	0,250	0,24240	0,99412	0,244
5	95	0,00025	0,03165	0,008	0,23968	0,95872	0,250	0,23993	0,99037	0,242
6	94	0,00030	0,03798	0,008	0,23715	0,94860	0,250	0,23745	0,98658	0,241
7	93	0,00035	0,04431	0,008	0,23463	0,93852	0,250	0,23498	0,98283	0,239
8	92	0,00040	0,05064	0,008	0,23211	0,92844	0,250	0,23251	0,97908	0,237
9	91	0,00045	0,05697	0,008	0,22958	0,91832	0,250	0,23003	0,97529	0,236
10	90	0,00050	0,06330	0,008	0,22706	0,90824	0,250	0,22756	0,97154	0,234
11	89	0,00055	0,06963	0,008	0,22454	0,89816	0,250	0,22509	0,96779	0,233
12	88	0,00060	0,07596	0,008	0,22202	0,88808	0,250	0,22262	0,96404	0,231
13	87	0,00065	0,08229	0,008	0,21949	0,87796	0,250	0,22014	0,96025	0,229
14	86	0,00070	0,08862	0,008	0,21697	0,86788	0,250	0,21767	0,95650	0,228
15	85	0,00075	0,09495	0,008	0,21445	0,85780	0,250	0,21520	0,95275	0,226
16	84	0,00080	0,10128	0,008	0,21192	0,84768	0,250	0,21272	0,94896	0,224
17	83	0,00085	0,10761	0,008	0,20940	0,83760	0,250	0,21025	0,94521	0,222
18	82	0,00090	0,11394	0,008	0,20688	0,82752	0,250	0,20778	0,94146	0,221
19	81	0,00095	0,12027	0,008	0,20436	0,81744	0,250	0,20531	0,93771	0,219
20	80	0,00100	0,12660	0,008	0,20183	0,80732	0,250	0,20283	0,93392	0,217
21	79	0,00105	0,13293	0,008	0,19931	0,79724	0,250	0,20036	0,93017	0,215
22	78	0,00110	0,13926	0,008	0,19679	0,78716	0,250	0,19789	0,92642	0,214
23	77	0,00115	0,14559	0,008	0,19426	0,77704	0,250	0,19541	0,92263	0,212
24	76	0,00120	0,15192	0,008	0,19174	0,76696	0,250	0,19294	0,91888	0,210
25	75	0,00125	0,15825	0,008	0,18922	0,75688	0,250	0,19047	0,91513	0,208

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Нонтронит	Монтмориллонит	Нонтронит $Al_2O_3 \cdot 126,6SiO_2 \cdot 62,6Fe_2O_3 \times 126,6H_2O$ ($K=0,005003$)			Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$126,6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
51	49	0,00255	0,32283	0,008	0,12362	0,49448	0,250	0,12617	0,81731	0,154
52	48	0,00260	0,32916	0,008	0,12110	0,48440	0,250	0,12370	0,81356	0,152
53	47	0,00265	0,33549	0,008	0,11858	0,47432	0,250	0,12123	0,80981	0,150
54	46	0,00270	0,34182	0,008	0,11605	0,46420	0,250	0,11875	0,80602	0,147
55	45	0,00275	0,34815	0,008	0,11353	0,45412	0,250	0,11628	0,80227	0,145
56	44	0,00280	0,35448	0,008	0,11101	0,44404	0,250	0,11381	0,79852	0,143
57	43	0,00285	0,36081	0,008	0,10849	0,43396	0,250	0,11134	0,79477	0,140
58	42	0,00290	0,36714	0,008	0,10596	0,42384	0,250	0,10886	0,79098	0,138
59	41	0,00295	0,37347	0,008	0,10344	0,41376	0,250	0,10639	0,78723	0,135
60	40	0,00300	0,37980	0,008	0,10092	0,40368	0,250	0,10392	0,78348	0,133
61	39	0,00305	0,38613	0,008	0,09839	0,39356	0,250	0,10144	0,77969	0,130
62	38	0,00310	0,39246	0,008	0,09587	0,38348	0,250	0,09897	0,77594	0,128
63	37	0,00315	0,39879	0,008	0,09335	0,37340	0,250	0,09650	0,77219	0,125
64	36	0,00320	0,40512	0,008	0,09082	0,36328	0,250	0,09402	0,76840	0,122
65	35	0,00325	0,41145	0,008	0,08830	0,35320	0,250	0,09155	0,76465	0,120
66	34	0,00330	0,41778	0,008	0,08578	0,34312	0,250	0,08908	0,76090	0,117
67	33	0,00335	0,42411	0,008	0,08326	0,33304	0,250	0,08661	0,75715	0,114
68	32	0,00340	0,43044	0,008	0,08073	0,32292	0,250	0,08413	0,75336	0,112
69	31	0,00345	0,43677	0,008	0,07821	0,31284	0,250	0,08166	0,74961	0,109
70	30	0,00350	0,44310	0,008	0,07569	0,30276	0,250	0,07919	0,74586	0,106
71	29	0,00355	0,44943	0,008	0,07316	0,29264	0,250	0,07671	0,74207	0,103
72	28	0,00360	0,45576	0,008	0,07064	0,28256	0,250	0,07424	0,73832	0,101
73	27	0,00365	0,46209	0,008	0,06812	0,27248	0,250	0,07177	0,73457	0,098
74	26	0,00370	0,46842	0,008	0,06560	0,26240	0,250	0,06930	0,73082	0,095
75	25	0,00375	0,47475	0,008	0,06307	0,25228	0,250	0,06682	0,72703	0,092

XIII. Нонтронит — гидрослюда

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Нонтронит	Гидрослюда	Нонтронит $Al_2O_3 \cdot 126,6SiO_2 \cdot 62,6F_2O_3 \times$ $\times 126,6H_2O$ ($K=0,005003$)			Гидрослюда* ($K=0,355763$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$126,6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2,22SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,35576	0,78979	0,450	0,35576	0,78979	0,450
1	99	0,00005	0,00633	0,008	0,35221	0,78191	0,450	0,35226	0,78824	0,447
2	98	0,00010	0,01266	0,008	0,34865	0,77400	0,450	0,34875	0,78666	0,443
3	97	0,00015	0,01899	0,008	0,34509	0,76610	0,450	0,34524	0,78509	0,440
4	96	0,00020	0,02532	0,008	0,34153	0,75820	0,450	0,34173	0,78352	0,436
5	95	0,00025	0,03165	0,008	0,33797	0,75029	0,450	0,33822	0,78194	0,433
6	94	0,00030	0,03798	0,008	0,33442	0,74241	0,450	0,33472	0,78039	0,429
7	93	0,00035	0,04431	0,008	0,33086	0,73451	0,450	0,33421	0,77882	0,425
8	92	0,00040	0,05064	0,008	0,32730	0,72661	0,450	0,32770	0,77725	0,422
9	91	0,00045	0,05697	0,008	0,32374	0,71870	0,450	0,32419	0,77567	0,418
10	90	0,00050	0,06330	0,008	0,32019	0,71082	0,450	0,32069	0,77412	0,414
11	89	0,00055	0,06963	0,008	0,31663	0,70292	0,450	0,31718	0,77255	0,411
12	88	0,00060	0,07596	0,008	0,31307	0,69502	0,450	0,31367	0,77098	0,407
13	87	0,00065	0,08229	0,008	0,30951	0,68711	0,450	0,31016	0,76940	0,403
14	86	0,00070	0,08862	0,008	0,30596	0,67923	0,450	0,30666	0,76785	0,399
15	85	0,00075	0,09495	0,008	0,30240	0,67133	0,450	0,30315	0,76628	0,396
16	84	0,00080	0,10128	0,008	0,29884	0,66342	0,450	0,29964	0,76470	0,392
17	83	0,00085	0,10761	0,008	0,29528	0,65552	0,450	0,29613	0,76313	0,388
18	82	0,00090	0,11394	0,008	0,29173	0,64764	0,450	0,29263	0,76158	0,384
19	81	0,00095	0,12027	0,008	0,28817	0,63974	0,450	0,28912	0,76001	0,380
20	80	0,00100	0,12660	0,008	0,28461	0,63183	0,450	0,28561	0,75843	0,377
21	79	0,00105	0,13293	0,008	0,28105	0,62393	0,450	0,28210	0,75686	0,373
22	78	0,00110	0,13926	0,008	0,27750	0,61605	0,450	0,27860	0,75531	0,369
23	77	0,00115	0,14559	0,008	0,27394	0,60815	0,450	0,27509	0,75374	0,365
24	76	0,00120	0,15192	0,008	0,27038	0,60024	0,450	0,27158	0,75216	0,361
25	75	0,00125	0,15825	0,008	0,26682	0,59234	0,450	0,26807	0,75059	0,357

* Химическую формулу гидрослюды смотри в сноске к табл. XI.

XIV. Монтмориллонит — гидрослюда

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмориллонит	Гидрослюда	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Гидрослюда* ($K=0,355763$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2,22SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	0,35576	0,78979	0,450	0,35576	0,78979	0,450
1	99	0,00252	0,01008	0,250	0,35221	0,78191	0,450	0,35473	0,79199	0,448
2	98	0,00505	0,02020	0,250	0,34865	0,77400	0,450	0,35370	0,79420	0,445
3	97	0,00757	0,03028	0,250	0,34509	0,76610	0,450	0,35266	0,79638	0,443
4	96	0,01009	0,04036	0,250	0,34153	0,75820	0,450	0,35162	0,79856	0,440
5	95	0,01261	0,05044	0,250	0,33797	0,75029	0,450	0,35058	0,80073	0,438
6	94	0,01514	0,06056	0,250	0,33442	0,74241	0,450	0,34956	0,80297	0,435
7	93	0,01766	0,07064	0,250	0,33086	0,73451	0,450	0,34852	0,80515	0,433
8	92	0,02018	0,08072	0,250	0,32730	0,72661	0,450	0,34748	0,80733	0,430
9	91	0,02271	0,09084	0,250	0,32374	0,71870	0,450	0,34645	0,80954	0,428
10	90	0,02523	0,10092	0,250	0,32019	0,71082	0,450	0,34542	0,81174	0,426
11	89	0,02775	0,11100	0,250	0,31663	0,70292	0,450	0,34438	0,81392	0,423
12	88	0,03027	0,12108	0,250	0,31307	0,69502	0,450	0,34334	0,81610	0,421
13	87	0,03280	0,13120	0,250	0,30951	0,68711	0,450	0,34231	0,81831	0,418
14	86	0,03532	0,14128	0,250	0,30596	0,67923	0,450	0,34128	0,82051	0,416
15	85	0,03784	0,15136	0,250	0,30240	0,67133	0,450	0,34024	0,82269	0,414
16	84	0,04037	0,16148	0,250	0,29884	0,66342	0,450	0,33921	0,82490	0,411
17	83	0,04289	0,17156	0,250	0,29528	0,65552	0,450	0,33817	0,82708	0,409
18	82	0,04541	0,18164	0,250	0,29173	0,64764	0,450	0,33714	0,82928	0,407
19	81	0,04794	0,19176	0,250	0,28817	0,63974	0,450	0,33611	0,83150	0,404
20	80	0,05046	0,20184	0,250	0,28461	0,63183	0,450	0,33507	0,83367	0,402
21	79	0,05298	0,21192	0,250	0,28105	0,62393	0,450	0,33403	0,83585	0,400
22	78	0,05550	0,22200	0,250	0,27750	0,61605	0,450	0,33300	0,83805	0,397
23	77	0,05803	0,23212	0,250	0,27394	0,60815	0,450	0,33197	0,84027	0,395
24	76	0,06055	0,24220	0,250	0,27038	0,60024	0,450	0,33093	0,84244	0,393
25	75	0,06307	0,25228	0,250	0,26682	0,59234	0,450	0,32989	0,84462	0,391

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 и SiO_2						Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Монтмо-риллонит	Гидро-слюда	Монтмориллонит $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 3H_2O$ ($K=0,252291$)			Гидрослюда* ($K=0,355763$)			Al_2O_3	SiO_2	
		Al_2O_3	$4SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Al_2O_3	$2,22SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
76	24	0,19174	0,76696	0,250	0,08538	0,18954	0,450	0,27712	0,95610	0,290
77	23	0,19426	0,77704	0,250	0,08183	0,18166	0,450	0,27609	0,95870	0,288
78	22	0,19679	0,78716	0,250	0,07827	0,17376	0,450	0,27506	0,96092	0,286
79	21	0,19931	0,79724	0,250	0,07471	0,16586	0,450	0,27402	0,96310	0,285
80	20	0,20183	0,80732	0,250	0,07115	0,15795	0,450	0,27298	0,96527	0,283
81	19	0,20436	0,81744	0,250	0,06759	0,15005	0,450	0,27195	0,96749	0,281
82	18	0,20688	0,82752	0,250	0,06404	0,14217	0,450	0,27092	0,96969	0,279
83	17	0,20940	0,83760	0,250	0,06048	0,13427	0,450	0,26988	0,97187	0,278
84	16	0,21192	0,84768	0,250	0,05692	0,12636	0,450	0,26884	0,97404	0,276
85	15	0,21445	0,85780	0,250	0,05336	0,11846	0,450	0,26781	0,97626	0,274
86	14	0,21697	0,86788	0,250	0,04981	0,11058	0,450	0,26678	0,97846	0,273
87	13	0,21949	0,87796	0,250	0,04625	0,10268	0,450	0,26574	0,98064	0,271
88	12	0,22202	0,88808	0,250	0,04269	0,09477	0,450	0,26471	0,98285	0,269
89	11	0,22454	0,89816	0,250	0,03913	0,08687	0,450	0,26367	0,98503	0,268
90	10	0,22706	0,90824	0,250	0,03558	0,07899	0,450	0,26264	0,98723	0,266
91	9	0,22958	0,91832	0,250	0,03202	0,07108	0,450	0,26160	0,98940	0,264
92	8	0,23211	0,92844	0,250	0,02846	0,06318	0,450	0,26057	0,99162	0,263
93	7	0,23463	0,93852	0,250	0,02490	0,05528	0,450	0,25953	0,99380	0,261
94	6	0,23715	0,94860	0,250	0,02135	0,04740	0,450	0,25850	0,99600	0,260
95	5	0,23968	0,95872	0,250	0,01779	0,03949	0,450	0,25747	0,99821	0,258
96	4	0,24220	0,96880	0,250	0,01423	0,03159	0,450	0,25643	1,00039	0,256
97	3	0,24472	0,97888	0,250	0,01067	0,02369	0,450	0,25539	1,00257	0,255
98	2	0,24725	0,98900	0,250	0,00712	0,01581	0,450	0,25437	1,00481	0,253
99	1	0,24977	0,99908	0,250	0,00356	0,00790	0,450	0,25333	1,00698	0,252
100	0	0,25229	1,00916	0,250	—	—	—	0,25229	1,00916	0,250

* Химическую формулу гидрослюда см. в списке к табл. XI.

XV. Альбит — анортит

Содержание минералов, %		Формульные количества Al_2O_3 , SiO_2 и единиц расчета Na_2O , CaO								Сумма формульных количеств		$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$
Альбит	Анортит	Альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ($K = 0,190664$)				Анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ($K = 0,359428$)				Al_2O_3	SiO_2	
		Na_2O	Al_2O_3	$6SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	CaO	Al_2O_3	$2SiO_2$	$\frac{Al_2O_3}{SiO_2}$			
0	100	—	—	—	—	0,35943	0,35943	0,71886	0,500	0,35943	0,71886	0,500
1	99	0,00191	0,00191	0,01146	0,167	0,35583	0,35583	0,71166	0,500	0,35774	0,72312	0,495
2	98	0,00381	0,00381	0,02286	0,167	0,35224	0,35224	0,70448	0,500	0,35605	0,72734	0,490
3	97	0,00572	0,00572	0,03432	0,167	0,34865	0,34865	0,69730	0,500	0,35437	0,73162	0,484
4	96	0,00763	0,00763	0,04578	0,167	0,34505	0,34505	0,69010	0,500	0,35268	0,73588	0,479
5	95	0,00953	0,00953	0,05718	0,167	0,34146	0,34146	0,68292	0,500	0,35099	0,74010	0,474
6	94	0,01144	0,01144	0,06864	0,167	0,33786	0,33786	0,67572	0,500	0,34930	0,74436	0,469
7	93	0,01335	0,01335	0,08010	0,167	0,33427	0,33427	0,66854	0,500	0,34762	0,74864	0,464
8	92	0,01525	0,01525	0,09150	0,167	0,33067	0,33067	0,66134	0,500	0,34592	0,75284	0,459
9	91	0,01716	0,01716	0,10296	0,167	0,32708	0,32708	0,65416	0,500	0,34424	0,75712	0,455
10	90	0,01907	0,01907	0,11442	0,167	0,32349	0,32349	0,64698	0,500	0,34256	0,76140	0,450
11	89	0,02097	0,02097	0,12582	0,167	0,31989	0,31989	0,63978	0,500	0,34086	0,76560	0,445
12	88	0,02288	0,02288	0,13728	0,167	0,31630	0,31630	0,63260	0,500	0,33918	0,76988	0,441
13	87	0,02479	0,02479	0,14874	0,167	0,31270	0,31270	0,62540	0,500	0,33749	0,77414	0,436
14	86	0,02669	0,02669	0,16014	0,167	0,30911	0,30911	0,61822	0,500	0,33580	0,77836	0,431
15	85	0,02860	0,02860	0,17160	0,167	0,30551	0,30551	0,61102	0,500	0,33411	0,78262	0,427
16	84	0,03051	0,03051	0,18306	0,167	0,30192	0,30192	0,60384	0,500	0,33243	0,78690	0,422
17	83	0,03241	0,03241	0,19446	0,167	0,29833	0,29833	0,59666	0,500	0,33074	0,79112	0,418
18	82	0,03432	0,03432	0,20592	0,167	0,29473	0,29473	0,58946	0,500	0,32905	0,79538	0,414
19	81	0,03623	0,03623	0,21738	0,167	0,29114	0,29114	0,58228	0,500	0,32737	0,79966	0,409
20	80	0,03813	0,03813	0,22878	0,167	0,28754	0,28754	0,57508	0,500	0,32567	0,80386	0,405
21	79	0,04004	0,04004	0,24024	0,167	0,28395	0,28395	0,56790	0,500	0,32399	0,80814	0,401
22	78	0,04195	0,04195	0,25170	0,167	0,28035	0,28035	0,56070	0,500	0,32230	0,81240	0,397
23	77	0,04385	0,04385	0,26310	0,167	0,27676	0,27676	0,55352	0,500	0,32061	0,81662	0,393
24	76	0,04576	0,04576	0,27456	0,167	0,27317	0,27317	0,54634	0,500	0,31893	0,82090	0,389
25	75	0,04767	0,04767	0,28602	0,167	0,26957	0,26957	0,53914	0,500	0,31724	0,82516	0,384

Теоретический состав (в %) и плотности плагиоклазов

По П. Н. Чирвинскому (Чернов, Лип, 1963)

% Ап	Окислы, %				Плотность, г/см ³
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	
0	68,81	19,40	0,00	11,79	2,624
5	67,46	20,31	1,06	11,77	2,631
10	66,12	21,22	2,11	10,55	2,637
15	64,79	22,12	3,16	9,93	2,644
20	64,46	23,01	4,21	9,32	2,651
25	62,14	23,90	5,25	8,71	2,658
30	60,83	24,78	6,28	8,11	2,664
35	59,53	25,66	7,30	7,51	2,671
40	58,24	26,53	8,32	6,91	2,678
45	56,95	27,40	9,33	6,32	2,684
50	57,67	28,26	10,34	5,73	2,691
55	54,40	29,12	11,34	5,14	2,693
60	53,14	29,97	12,34	4,55	2,705
65	51,88	30,82	13,33	3,97	2,711
70	50,63	31,66	14,31	3,40	2,718
75	49,39	32,50	15,29	2,82	2,725
80	48,16	33,33	16,26	2,25	2,731
85	46,93	34,16	17,23	1,60	1,738
90	45,71	34,98	18,19	1,12	2,745
95	44,49	35,80	19,15	0,56	2,751
100	43,28	36,62	20,10	0,00	2,758

Средний химический состав и плотности главных минералов изверженных горных пород

По П. Н. Чирвинскому (Чернов, Лип, 1963)

Номера минералов	Окислы, %															Плотность, г/см ³	
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	BaO	Cr ₂ O ₃	NiO	F		P ₂ O ₅
1	64,85	—	18,87	0,29	0,08	0,13	0,01	0,52	2,82	12,10	0,27	0,03	—	—	—	—	2,559
2	65,20	—	18,99	—	—	—	—	0,35	2,47	13,09	—	—	—	—	—	—	2,56
3	64,45	—	19,65	0,64	—	0,14	—	0,94	5,58	8,14	0,31	0,02	—	—	—	—	2,602
4	43,97	—	32,89	0,80	—	0,04	—	0,43	15,73	5,45	0,99	—	—	—	—	—	2,63
5	34,24	0,88	1,49	1,00	37,70	23,62	0,15	0,33	0,13	0,04	0,14	—	—	0,04	—	—	3,29
6	40,04	0,38	0,81	0,47	11,33	45,64	0,23	0,19	0,06	—	0,42	—	0,08	0,02	—	—	3,36
7	30,07	40,08	—	—	—	—	—	28,5	—	—	—	—	—	—	—	—	3,52
8	38,03	—	24,41	11,43	1,03	0,45	0,31	22,61	—	—	2,25	—	—	—	—	—	3,37
9	53,45	0,18	2,34	2,02	13,00	25,83	0,14	3,15	—	—	0,57	—	0,15	—	—	—	3,50
10	51,02	0,01	3,84	1,37	15,47	21,59	0,40	5,70	0,20	0,04	0,27	—	—	—	—	—	3,34
11	51,91	0,40	1,63	6,29	6,77	11,22	—	19,56	1,83	0,44	0,01	—	—	—	—	—	3,37
12	49,83	0,35	2,31	24,20	6,02	1,55	0,62	4,17	10,37	0,57	0,32	—	—	—	—	—	3,51
13	50,39	0,51	3,95	1,73	9,20	15,15	0,19	17,82	0,18	0,09	0,82	—	0,07	—	—	—	3,28
14	47,99	0,46	6,27	3,24	11,23	14,8	0,25	12,91	1,69	0,67	0,97	—	—	—	0,03	0,04	3,25
15	48,10	0,90	6,16	6,86	9,80	13,10	0,59	11,82	1,69	0,59	0,79	—	—	—	0,01	—	3,19
16	41,41	1,64	7,55	8,21	22,19	2,95	0,85	7,61	4,48	1,79	1,02	—	—	—	0,06	0,11	3,45
17	45,83	0,34	10,13	4,73	10,59	13,28	0,15	11,43	1,58	0,48	1,32	—	0,04	—	0,06	—	3,22
18	44,95	0,41	33,51	1,76	0,64	0,81	0,05	0,37	1,32	10,47	5,30	0,01	—	—	0,13	—	2,85

Номера минералов	Окислы, %																Плотность, г/см ³
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	BaO	Cr ₂ O ₃	NiO	F	P ₂ O ₅	
19	36,46	1,25	17,15	8,17	14,46	8,70	0,36	0,98	0,91	8,23	2,87	0,01	—	—	0,18	—	3,06
20	34,05	1,77	12,98	13,30	19,69	3,41	1,73	0,92	1,81	7,36	3,18	—	—	—	0,20	—	3,14
21	36,41	1,19	15,39	10,29	11,02	11,93	0,29	1,89	1,00	6,29	3,88	0,03	0,04	—	0,07	—	2,96
22	—	—	—	68,97	31,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,2
23	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,65
24	—	—	71,8	—	—	28,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,5—3,7
25	42,9	—	—	—	—	51,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,217
26	24	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0—4,35

1 — микроклин и ортоклаз из гранитов и гранит-пегматитов, среднее из 106; плотность — среднее из 35; 2 — микроклин-пертит, среднее из 16; 3 — микроклин и ортоклаз из щелочных и нефелиновых сиенитов, среднее из 32; плотность — среднее из 13; 4 — нефелин из нефелиновых сиенитов, среднее из 16; 5 — оливин из основных глубинных пород; среднее из 5; 6 — оливин из ультраосновных пород, среднее из 13; плотность — среднее из 5; 7 — сфен, теоретическое содержание; плотность — среднее из 5; 8 — эвдот, среднее из 13; плотность — среднее из 7; 9 — ромбические пироксены (бронзит и гиперстен) из диоритов, среднее из 2; 10 — гиперстен из габбро-норитов, среднее из 10; плотность — среднее из 8; 11 — диопсид из гранитов, среднее из 2; 12 — эгириин и эгириин-авгит из нефелиновых сиенитов, среднее из 22; плотность — среднее из 11; 13 — авгит (диаллаг) из габбро-норитов, среднее из 30; плотность — среднее из 19; 14 — роговая обманка из нормальных гранитов, среднее из 9; 15 — роговая обманка из сиенитов, среднее из 8; плотность — среднее из 4; 16 — роговая обманка из нефелиновых сиенитов, среднее из 23; плотность — среднее из 8; 17 — роговая обманка из диоритов, среднее из 24; плотность — среднее из 6; 18 — мусковит из гранитов и гранит-пегматитов, среднее из 37; плотность — среднее из 7; 19 — биотит из гранитов и гранит-пегматитов, среднее из 51; плотность — среднее из 20. Возможно содержание Li₂O до 0,25%; 20 — биотит из нефелиновых сиенитов, среднее из 18; плотность — среднее из 3; 21 — биотит из диоритов и тоналитов, среднее из 9; плотность — среднее из 4; 22 — магнетит, теоретическое содержание; 23 — кварц, теоретическое содержание; 24 — шпинель, теоретическое содержание; 25 — форстерит, теоретическое содержание; 26 — фаялит, теоретическое содержание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Августиник А. И. Керамика. М., Промстройиздат, 1957, 484 с.
- Авидон В. П. О выборе участков под детальную разведку месторождений строительного сырья.—«Тр. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа». Ставропольиздат, 1962, с. 273—280.
- Авидон В. П. О комплексном изучении месторождений строительного сырья.—«Тр. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа». Ставропольиздат, 1964, с. 222—230.
- Авидон В. П. Предварительные испытания глин в полевых условиях. М., «Недра», 1968, 169 с.
- Авидон В. П. Таблицы для пересчета весовых процентных содержаний окислов в формульные и атомные (ионные) количества. М., «Недра», 1968, 108 с.
- Авидон В. П. Таблицы для пересчета формульных количеств минералов в весовые проценты. М., «Недра», 1970, 168 с.
- Авидон В. П. Пересчет весовых процентных содержаний киновари на металл.—«Информационный сборник о новом производственно-техническом опыте». № 16. Ессентуки, Северо-Кавказское правление НТГО, 1970, с. 64—67.
- Авидон В. П. Опыт петрохимических пересчетов горных пород Луны.—«Тезисы докладов IV конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа». Орджоникидзе, Северо-Осетинское изд-во, 1974.
- Агафшин Н. П. Металлы и сплавы. М., «Просвещение», 1967, 144 с.
- Астахов К. В. Современное состояние периодической системы Д. И. Менделеева. М., «Знание», 1968, 79 с.
- Беляев А. И. Металлургия легких металлов. М., Metallurgizdat, 1962, 442 с.
- Белянкин Д. С., Иванов Б. В., Лапин В. В. Петрография технического камня. М., Изд-во АН СССР, 1952, 584 с.
- Бетехин А. Г. Минералогия. М., Госгеолиздат, 1950, 956 с.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Руководство по расчету формул минералов. М., «Наука», 1964, 224 с.
- Будников П. П., Пивинский Ю. Е. Новые керамические материалы. М., «Знание», 1968, 48 с.
- Бутт Ю. М. Практикум по технологии вяжущих веществ. М., Промстройиздат, 1953.
- Бутт Ю. М., Дудеров Г. Н., Матвеев М. А. Общая технология силикатов. М., Госстройиздат, 1962, 463 с.
- Бутт Ю. М., Тимашев В. В. Портландцементный клинкер. М., Стройиздат, 1967, 304 с.
- Григорьев Д. П. Основы конституции минералов. М., «Недра», 1966, 76 с.
- Дана Э. С. Описательная минералогия. М.—Л., ОНТИ—НКТП—СССР., 1937, 423 с.
- Заварицкий А. Н. Пересчет химических анализов изверженных горных пород. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Зайонц Р. М., Кордонская Р. К. Керамические химически стойкие изделия. М., Стройиздат, 1966, 188 с.

Исследования и использования глин (матер. совещ. по глинам). Львов, Изд-во Львовского гос. ун-та, 1958.

Казницын Ю. В., Рудник В. А. Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. М., «Недра», 1968.

Лабораторный практикум по металлографии и физическим свойствам металлов и сплавов. М., Metallurgizdat, 1966, 248 с. Авт.: Б. И. Кример, Е. В. Панченко, Л. А. Шишко, В. Н. Николаева, Ю. С. Авраамов.

Макареня А. А., Трифонов Д. Н. Периодический закон Д. И. Менделеева. М., «Просвещение», 1969, 160 с.

Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. Под редакцией М. Ф. Викуловой. Госгеолтехиздат, 1957, 448 с.

Неметаллические ископаемые СССР, т. IV. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, с 771.

Неницеску К. Д. Общая химия. М., «Мир», 1968.

Никифоров В. М. Технология металлов и конструкционные материалы. М., «Высшая школа», 1968, 360 с.

Перевалов В. И. Технология огнеупоров. М., Metallurgizdat, 1944, 528 с.

Петров В. П. Основы учения о древних корях выветривания. М., «Недра», 1967, 344 с.

Розен О. М. Пересчет химических анализов седиментогенных кристаллических сланцев на компоненты осадочной породы.—«Советская геология», 1970, № 7, с. 31—44.

Роква М. Л., Мачабели Г. А., Мерабишвили М. С. Поиски, разведка и оценка месторождений бентонитовых глин. М., «Недра», 1971, 76 с. (КИМС).

Самохоцкий А. И., Кунявский М. Н. Металловедение. М., Metallurgizdat, 1967, 456 с.

Сауков А. А., Озерова Н. А. Металлы в осадочных толщах. М., «Наука», 1965.

Соболев В. С. Введение в минералогию силикатов. Львов, Изд-во Львовского гос. ун-та, 1949, 331 с.

Справочник по производству цемента. М., Госстройиздат, 1963.

Твалчрелидзе А. А., Филатов С. С. Глины отбеливающие.— В кн.: Неметаллические ископаемые СССР, т. IV. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1941, 771 с.

Требования промышленности к качеству минерального сырья.— В кн.: Справочник для геологов. Вып. 54 (глины и каолин). М., Госгеолтехиздат, 1962.

Чернов В. И., Лин Н. Г. Практическое руководство по петрографическому изучению магматических пород под микроскопом. М., Росвузиздат, 1963.

Четвериков С. Д. Руководство к петрохимическим пересчетам. М., Госгеолтехиздат, 1956, 246 с.

Чухров Ф. В., Берхин С. И., Ермилова Л. П. Глинистые минералы месторождения Акмая. Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Эйтель В. Физическая химия силикатов. М., Изд-во иностр. лит., 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Вычисление формульных и атомных количеств при помощи коэффициентов	4
Области применения коэффициентов и примеры пересчета	8
Примеры пересчетов, применяемых в минералогии	9
Примеры пересчетов, применяемых в литологии	12
Примеры пересчетов, применяемых в петрохимии	15
Примеры пересчетов, применяемых в геохимии	18
Примеры пересчетов, применяемых при геологоразведочных работах	27
Примеры пересчетов, применяемых в производстве вяжущих веществ	63
Примеры пересчетов, применяемых в металлургическом производстве	73
Примеры пересчетов, применяемых в производстве керамики	101
Таблицы коэффициентов	109
Кoeffициенты для пересчета процентных содержаний химических элементов и их окислов в атомные и формульные количества	110
Кoeffициенты для пересчета процентных содержаний минералов в формульные количества	115
Кoeffициенты для пересчета процентных содержаний гидроокисей в формульные количества	120
Кoeffициенты для пересчета процентных содержаний бескислородных соединений в формульные количества	120
Кoeffициенты для вычисления атомных количеств и числа атомов химических элементов	125
Таблицы для определения процентных содержаний глинистых минералов по отношениям формульных количеств $Al_2O_3 : SiO_2$	131
Теоретический состав (в %) и плотности плагиоклазов	156
Средний химический состав и плотности главных минералов изверженных горных пород	157
Список литературы	159

Валентин Павлович Авидон

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДЛЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ И ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ПЕРЕСЧЕТОВ

Редактор издательства *Р. В. Добровольская*
 Обложка художника *С. А. Смирновой*
 Технический редактор *Э. А. Болдырева*
 Корректор *Л. М. Кауфман*

Сдано в набор 15/IX 1975 г. Подписано в печать 25/XI 1975 г. Т-20051 Формат 60×90^{1/16}
 Бумага № 2 Печ. л. 10,0 Уч.-изд. л. 10,79 Тир. 4000 экз. Зак. № 1057/5681-14 Цена 54 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
 Московская типография № 6 Союзполиграфпрома
 при Государственном комитете Совета Министров СССР
 по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
 109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

300 гр

54 коп.

5658

НЕДРА