

УДК 552.26

СIPWD - НОВЫЙ АЛГОРИТМ ПЕРЕСЧЕТА РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА МИНАЛЫ

М.И.Дубровский

Геологический институт Кольского научного центра РАН, г.Апатиты

Предложен усовершенствованный способ преобразования химического состава, выраженного в оксидной форме, в соответствующие миналы, поскольку метод СIPW в оригинальном варианте не удовлетворяет классификационным потребностям для всех магматических горных пород. Метод расширен до уровня крайней недосыщенности кремнеземом и с различными интервалами железистости: выделено 4 варианта и 23 подварианта алгоритмов. Согласно новому алгоритму пересчета, для главных породообразующих минералов магматических пород имеется 9 уровней (групп) степени насыщенности по SiO_2 и четыре уровня (ряда) насыщенности $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ глиноземом (Al_2O_3). Добавлено десять новых нормативных миналов: альсилит (*als*), дисиликат натрия (*dsn*), дисиликат калия (*dsk*), геленит (*qh*), акерманит (*ak*), ферро-акерманит (*Feak*), монтичеллит (*mo*), кирштейнит (*kir*), периклаз (*per*) и вюстит (*wu*). Поэтому, в отличие от оригинального метода СIPW, усовершенствованный и расширенный метод следует называть СIPWD, т.е. с добавлением заглавной буквы фамилии автора.

Деление оксидной системы на минальные подсистемы для «стандартных» магматических условий можно осуществить с использованием способа пересчета химических анализов по системе СIPW [1-4] смысл которого заключается в том, чтобы образовать определенные ассоциации миналов, различающиеся по степени насыщенности кремнеземом и глиноземом. В системе пересчетов СIPW эти новые компоненты неудачно были названы стандартными минералами, что привело к возражениям и дискуссиям, которые не прекращаются и до настоящего времени. Тем более, что номенклатура этих компонентов совпадает с номенклатурой реально существующих минералов и поэтому много недоразумений связано с сопоставлением рассчитанного «минального» состава с реальным минеральным.

Вот что по этому поводу писал А.Н.Заварицкий [2]: «Некоторые из петрографов выражали отрицательное отношение к способу пересчета анализов по системе СIPW. В большинстве случаев возражения сводятся к указаниям на расхождение нормы с реальным минералогическим составом. Это возражение основано на очевидном недоразумении, и в основе его лежит логическая ошибка, известная под названием *ignotatio elenchi*, так как авторы системы никогда не смешивали этих двух различных вещей, а в последствии Вашингтоном, во избежание этого недоразумения, даже прежний термин «стандартные минералы» был заменен термином «минальные молекулы». Тем не менее еще до сих пор можно встретить повторения этих возражений» (с.89). Хотя это было сказано в 1950 г., о несоответствии минального и минерального выражения продолжают писать [1,3,5,6] и преподносят это как большой недостаток метода пересчета. Так Хуан [6] пишет: «Сравнение нормативных и модальных составов в обоих случаях отчетливо свидетельствует (сравниваются составы двух пород - Д.М.И.), что нормативный состав не может отразить истинный минералогический характер этих пород и не помога-

ет нам ни в представлении о внешнем облике породы, ни в понимании ее происхождения. Этот метод в то же время имеет большое и очевидное значение в качестве метода фиксирования результатов химического изучения породы, проверки ее минералогического состава и как средство сравнения стекловатых пород с их голокристаллическими аналогами, однако его положительные моменты этим и ограничиваются» (с.103). То же самое говорится и в работе [5] со ссылкой на О'Коннера: «Пересчеты на нормативный состав дают возможность лишь условного сопоставления неполнокристаллических эффузивных пород с интрузивными, ибо часто наблюдаются несоответствия между нормативным и модальным составом. Это несоответствие особенно велико при пересчете химических составов по СIPW для недосыщенных вулканических пород, что в 1971 г. отмечали Ф.Чейз и Г.Йодер» (с.16).

Критику метода СIPW следует признать справедливой только относительно того, что этот метод несовершенен для пород сильно недосыщенных SiO_2 . Но это не значит, что необходимо отказаться от идеи представления химического состава пород в иной форме, чем оксидная, которая вообще плохо коррелируется с минеральным составом. Чейз и Йодер [7], указывая на недостатки этого метода, не отвергают его, а предлагают совершенствовать, поскольку, как они считают, главная идея пересчета оксидов на миналы вполне рациональна. К сожалению, некоторые рекомендации Кармайкла с соавторами [8] и Чейза с Йодером [7] кардинально не улучшили алгоритм пересчета. Не улучшил его и новый вариант пересчета фельдшпатоидных и мелилитовых пород, предложенный Ле Ба [9].

Личный опыт использования метода СIPW автором данной работы позволяет заключить, что применение его к породам, пересыщенным SiO_2 и средней недосыщенности (до лейцитнормативных), дает вполне удовлетворительные результаты при сопоставлении минального состава с минеральным.

Что же касается пород более недосыщенных SiO_2 , то, действительно, такое сопоставление крайне неудовлетворительное. Попытка использовать минал $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ - *ts*-кальциевый чермакит и Ca_2SiO_4 - *ln(cs)*-ларнит (Ca-силикат), как это рекомендовали Чейз и Йодер, и введение, кроме того, минала CaMgSiO_4 - *то*-монтчеллит и CaFeSiO_4 - *kir*-кирштейнит, также не привели к улучшению данного метода [10]. Поэтому необходимо существенное изменение алгоритма пересчета сильно недосыщенных SiO_2 пород на нормативные миналы, с привлечением нескольких новых миналов, участвующих в образовании мелилитов и монтчеллитов.

Порядок вычислений нормативного состава породы из её химического состава, выраженного в оксидной форме, основан на определенных положениях, точнее-на петрохимических особенностях. А.Н.Заварицкий [2] приводит два таких положения, с учетом которых и разработаны правила пересчета системы CIPW:

а. В зависимости от содержания КРЕМНЕЗЕМА (SiO_2) различают три случая:

- 1) пересыщение,
- 2) насыщение и
- 3) недосыщение кремнеземом породы.

б. В зависимости от содержания ГЛИНОЗЕМА (Al_2O_3) также различают три случая:

1. $\text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO})$;
2. $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}) > \text{Al}_2\text{O}_3 > (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$;
3. $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) > \text{Al}_2\text{O}_3$.

Нами предлагаются еще три дополнительных положения (условия):

в. учитывать соотношение CaO с $(\text{FeO} + \text{MgO})$; это соотношение определяет существование взаимоисключающих минальных и минеральных ассоциаций: (*ol+орх*) и (*wo+cs*), но при определенных значениях *f*-частная железистость (см. ниже).

г. учитывать соотношение FeO и MgO ; это соотношение определяет существование ассоциаций: при $f < 80$ - (*ol+орх+срх*), при $f = 80-90$ - (*ol+q+срх*), при $f > 90$ - (*ol+wo+q*);

д. учитывать не только $(\text{Na} + \text{K}) > \text{Al}$, но и $\text{K} > \text{Al}$; при $\text{K} > \text{Al}$ образуются специфические минальные и минеральные ассоциации.

Эти условия позволяют детализировать метод пересчета и охватить практически все возможные варианты химизма пород, что, естественно, улучшит корреляцию минальных (компонентных) и минеральных (фазовых) составов любых пород. Кроме того, такая детализация, по мнению автора, несколько упростит понимание смысла пересчета, который и заключается в распределении молекулярных количеств (МК) кремнезема по простейшим химическим соединениям - МИНАЛАМ, приведенным в таблице 1, в зависимости от соотношения других оксидов. В результате набирается 4 варианта и 23 подварианта алгоритмов пересчета (табл.2).

Основой пересчета являются данные химического анализа:

	Данные анализа	Мол. вес оксида
1	SiO_2	60.06
2	TiO_2	79.90
3	Al_2O_3	101.94
4	Fe_2O_3	159.68
5	FeO	71.94
6	MnO	70.93
7	MgO	40.32
8	CaO	56.08
9	Na_2O	61.994
10	K_2O	94.20
11	P_2O_5	142.04
12	CO_2	44.011
13	S	32.06
14	Cl	35.46
15	F	19.00
16	NiO	74.69
17	Cr_2O_3	152.02
18	BaO	153.36
19	SrO	103.63
20	ZrO_2	123.22
21	Rb_2O	186.96
22	SO_3	80.06

Пересчет начинается переводом весовых со-держаний всех компонентов химического анализа в молекулярные(или атомные) количества (МК, или АК), что дает возможность составлять любые молекулы из оксидов и других элементов (F, Cl, J, CO_2 и т.д.).

Порядок вычислений

1. Вычисляем МК оксидов делением мас.% оксида на его молекулярный вес. Для упрощения этого действия имеются таблицы [1,2,3 и др.]. Получаемые дробные цифры можно умножать на 1000, а при окончательном расчете вес.% миналов их МК делить на 1000.

2. МК MnO и NiO присоединяются (плюсуются) к МК FeO, а МК BaO и SrO - к МК CaO.

3. До установления вариантов и подвариантов пересчета рассчитываются молекулы малых (“акцессорных”) компонентов и карбонатов:

3а. *ap*- апатит рассчитывается по МК P_2O_5 согласно формуле: $3.33\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ или $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 0.33\text{F}$, если есть F.

Если МК CaO > 3.33МК P_2O_5 , вычисляется остаток МК CaO, далее - CaO'.

Если МК CaO < 3.33МК P_2O_5 , вычисляется остаток МК P_2O_5 - далее $\text{P}_2\text{O}_5'$.

Вычисляется остаток атомного количества (АК) F, далее - F'.

3б. Если МК CaO < 3.33МК P_2O_5 , (на апатит не хватает МК CaO), то рассчитывается *Na-ap*: $3.33\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5'$ или $3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5' \cdot 0.33\text{F}'$.

Вычисляется остаток МК Na_2O , далее - $\text{Na}_2\text{O}'$.

Вычисляется остаток F', далее - F''

3в. *hl*- галит рассчитывается по АК Cl, согласно формуле NaCl (здесь берется АК Na - определяется умножением $\text{Na}_2\text{O}'$ на 2).

Таблица 1
Список нормативных мишалов системе пересчета CIPWD

№ п.п.	Мишал	Символ	Формула	Молек. вес
"АКЦЕССОРНЫЕ" МИШАЛЫ				
1	Апатит	<i>ap</i>	$3\text{CaO}\times\text{P}_2\text{O}_5\times 0.33\text{CaF}_2$	336.31
2	Натр-апатит	<i>Na-ap</i>	$3\text{Na}_2\text{O}\times\text{P}_2\text{O}_5\times 0.33\text{Na}_2\text{F}_2$	355.734
3	Галит	<i>hl</i>	NaCl	58.44
4	Тенардит	<i>th</i>	Na_2SO_4	142.05
5	Пирит	<i>pr</i>	FeS_2	120
6	Циркон	<i>z</i>	$\text{ZrO}_2\times\text{SiO}_2$	183.28
7	Бадделеит	<i>bd</i>	ZrO_2	123.22
8	Хромит	<i>cm</i>	$\text{FeO}\times\text{Cr}_2\text{O}_3$	223.86
9	Флюорит	<i>fr</i>	CaF_2	78.1
10	Виллиомит	<i>vl</i>	NaF	41.988
11	Кальцит	<i>cc</i>	$\text{CaO}\times\text{CO}_2$	100.091
12	Натр-карбонат	<i>nc</i>	$\text{Na}_2\text{O}\times\text{CO}_2$	106.005
13	Кали-карбонат	<i>kc</i>	$\text{K}_2\text{O}\times\text{CO}_2$	138.211
14	Магнезит	<i>mc</i>	$\text{MgO}\times\text{CO}_2$	84.331
15	Сидерит	<i>fc</i>	$\text{FeO}\times\text{CO}_2$	116.001
16	Ильменит	<i>ilm</i>	$\text{FeO}\times\text{TiO}_2$	151.74
17	Рутил	<i>ru</i>	TiO_2	79.90
18	Магнетит	<i>mt</i>	$\text{FeO}\times\text{Fe}_2\text{O}_3$	231.55
19	Гематит	<i>hm</i>	Fe_2O_3	159.68
20	Титанит	<i>tn</i>	$\text{CaO}\times\text{TiO}_2\times\text{SiO}_2$	196.04
21	Перовскит	<i>pf</i>	$\text{CaO}\times\text{TiO}_2$	135.98
САЛИЧЕСКИЕ МИШАЛЫ				
22	Кварц	<i>q</i>	SiO_2	60.09
23	Корунд	<i>c</i>	Al_2O_3	101.94
24	Альсилит	<i>als</i>	Al_2SiO_5	162.03
25	Ортоклаз	<i>or</i>	$\text{K}_2\text{O}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 6\text{SiO}_2$	556.70
26	Альбит	<i>ab</i>	$\text{Na}_2\text{O}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 6\text{SiO}_2$	524.48
27	Анортит	<i>an</i>	$\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 2\text{SiO}_2$	278.14
28	Лейцит	<i>lc</i>	$\text{K}_2\text{O}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times 4\text{SiO}_2$	436.38
29	Нефелин	<i>ne</i>	$\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\times 2\text{SiO}_2$	284.05
30	Калиофиллит	<i>kp</i>	$\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\times 2\text{SiO}_2$	316.26
ФЕМИЧЕСКИЕ МИШАЛЫ				
31	Акмит	<i>ac</i>	$\text{Na}_2\text{O}\times\text{Fe}_2\text{O}_3\times 4\text{SiO}_2$	461.92
32	Натр-силикат	<i>ns</i>	$\text{Na}_2\text{O}\times\text{SiO}_2$	122.05
33	Кали-силикат	<i>ks</i>	$\text{K}_2\text{O}\times\text{SiO}_2$	154.26
34	Диопсид	<i>di</i>	$\text{CaO}\times\text{MgO}\times 2\text{SiO}_2$	216.52
35	Геденбергит	<i>hd</i>	$\text{CaO}\times\text{FeO}\times 2\text{SiO}_2$	248.04
36	Волластонит	<i>wo</i>	$\text{CaO}\times\text{SiO}_2$	116.17
37	Энстатит	<i>en</i>	$\text{MgO}\times\text{SiO}_2$	100.38
38	Ферросилит	<i>fs</i>	$\text{FeO}\times\text{SiO}_2$	131.90
39	Форстерит	<i>fo</i>	$2\text{MgO}\times\text{SiO}_2$	140.73
40	Фаялит	<i>fa</i>	$2\text{FeO}\times\text{SiO}_2$	203.74
41	Геленит	<i>gh</i>	$2\text{CaO}\times\text{Al}_2\text{O}_3\times\text{SiO}_2$	274.17
42	Акерманит	<i>ak</i>	$2\text{CaO}\times\text{MgO}\times 2\text{SiO}_2$	272.52
43	Ферроакерманит	<i>Feak</i>	$2\text{CaO}\times\text{FeO}\times 2\text{SiO}_2$	304.04
44	Кальций-силикат	<i>cs</i>	$2\text{CaO}\times\text{SiO}_2$	172.22
45	Монтчеллит	<i>mo</i>	$\text{CaO}\times\text{MgO}\times\text{SiO}_2$	156.46
46	Кирштейнит	<i>kir</i>	$\text{CaO}\times\text{FeO}\times\text{SiO}_2$	188.08
47	Периклаз	<i>per</i>	MgO	40.32
48	Вюстит	<i>wu</i>	FeO	71.94
49	Дисиликат натрия	<i>dsn</i>	$\text{Na}_2\text{O}\times 2\text{SiO}_2$	182.14
50	Дисиликат калия	<i>dsk</i>	$\text{K}_2\text{O}\times 2\text{SiO}_2$	214.35

анализе больше, чем полученная сумма, то избыток обозначаем q - кварц.

Если $\Sigma \text{MK SiO}_2$ всех вычисленных миналов будет больше MK SiO_2 в анализе, то q не будет, а избыточная ΣMKSiO_2 по сравнению с величиной MKSiO_2 в анализе должна устраняться путем десиликации вычисленных миналов в такой последовательности:

$(en+fs) \rightarrow (fo+fa)$; $als \rightarrow c$; $ab \rightarrow ne$; $z \rightarrow bd$; $or \rightarrow lc$; $an \rightarrow gh$; $lc \rightarrow kp$; $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$.

5. $(en+fs) \rightarrow (fo+fa)$: решением следующих уравнений:

$[en+fs] + [fo+fa] = \text{MKSiO}_2$, которое необходимо распределить;

$[en+fs] + 2[fo+fa] = (\text{MgO}' + \text{FeO}')$ (т.е. MKMgO и MKFeO в $(en+fs)$),

6. $als \rightarrow c$, от MKSiO_2 , приходящее на als , отнимается избыточное количество MKSiO_2 , а остаток Al_2O_3 определяется как c -нормативный корунд.

7. $ab \rightarrow ne$, решением следующих уравнений:

$[ab] + [ne] = \text{Na}_2\text{O}'$ (т.е. MKNa_2O в ab)

$6[ab] + 2[ne] = \text{MKSiO}_2$, которое необходимо распределить.

8. $z \rightarrow bd$, от MKSiO_2 , приходящегося на z , отнимается избыточное количество MKSiO_2 , а остаток ZrO_2 определяется как bd -бадделейт.

9. $or \rightarrow lc$: решением следующих уравнений:

$[or] + [lc] = \text{K}_2\text{O}'$ MKK_2O , пошедшее на формирование or ;

$6[or] + 4[lc] = \text{MKSiO}_2$, которое необходимо распределить.

10. $an \rightarrow gh+c$, решением следующих уравнений:

$[an] + 2[gh] = \text{CaO}'$ MKCaO , пошедшее на формирование an ;

$2[an] + [gh] = \text{MKSiO}_2$, которое необходимо распределить;

$[an] + [gh] + [c] = \text{Al}_2\text{O}_3$ MKAl_2O_3 в an ;

полученное $[c]$ прибавляем к c (п.6) и сумма их c'' идет в таблицу результатов.

11. $lc \rightarrow kp$, решением следующих уравнений:

$[lc] + [kp] = \text{K}_2\text{O}'$ MKK_2O в lc ;

$4[lc] + 2[kp] = \text{MKSiO}_2$, которое необходимо распределить.

12. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, от MKSiO_2 , приходящегося на $(fo+fa)$, отнимается избыточное MKSiO_2 , а остаток $\text{FeO} + \text{MgO}$ определяется как $per+wu$ -периклаз+вюстит.

Наиболее характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта А-1 приведены в табл.3, в ряду А-низкой щелочности.

Подвариант А-2: $\text{K}_{alk}^{Al} < 0$;

$\text{CaO}'' < (\text{FeO}' + \text{MgO})$; $f = 80-100$

Образовываем миналы, максимально насыщенные SiO_2 :

4а. or - ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, по $\text{K}_2\text{O}'$, см. А-1, п. 4а;

4б. ab - альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, по $\text{Na}_2\text{O}'$, см. А-1, п. 4б;

4в. an - анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, по CaO' , см. А-1, п. 4в;

4г. als - альсилит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ по Al_2O_3 , см. А-1, п. 4г;

4д. fo - форстерит $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ по MgO ;

4е. fa - фаялит $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ по FeO' ;

4ж. z - циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ по ZrO_2 ;

4з. Суммируем MKSiO_2 всех вычисленных миналов и сравниваем с MKSiO_2 в анализе, если MKSiO_2 в анализе больше, чем полученная сумма, то избыток обозначаем q - кварц.

Если ΣMKSiO_2 всех вычисленных миналов будет больше MKSiO_2 в анализе, то десиликация вычисленных миналов производится в такой последовательности:

$als \rightarrow c$; $ab \rightarrow ne$; $z \rightarrow bd$; $or \rightarrow lc$; $an \rightarrow gh+c$; $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$

Приемы десиликации аналогичны описанным в подварианте А-1.

Вариант Б

Этот вариант пересчета применяется к породам нормальной щелочности с $\text{K}_{alk}^{Al} = 0-1.0$

В зависимости от соотношения CaO'' с $(\text{FeO}' + \text{MgO})$ ($\text{CaO}'' = \text{CaO}' - [\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$ - кальций, идущий на образование фемических миналов, FeO' и MgO - после образования аксессуарных миналов) и значения f в этом варианте имеется 7 подвариантов (см. таблицу 2).

Подварианты определяются после образования an . Поэтому пересчет в этом варианте начинается с образования следующих насыщенных SiO_2 миналов:

4а. or - ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, по $\text{K}_2\text{O}'$, см. А-1, п. 4а;

4б. ab - альбит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, по $\text{Na}_2\text{O}'$, см. А-1, п. 4б;

4в. an - анортит $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, по Al_2O_3 , оставшегося после образования or и ab .

Остаток CaO' обозначаем CaO'' ; сравниваем CaO'' с $(\text{FeO}' + \text{MgO})$, вычисляем f , а затем определяем подвариант.

Подвариант Б-1: $\text{K}_{alk}^{Al} = 0 \div 1.0$;

$\text{CaO}'' < (\text{FeO}' + \text{MgO})$; $f < 80$.

4г. Распределяем CaO'' на di и hd пропорционально f , обозначаем CaO^{di} и CaO^{hd} ; образуем di - диопсид $\text{CaO} \times \text{MgO} \times 2\text{SiO}_2$, по CaO^{di} , вычисляем остаток MgO , обозначаем MgO' .

4д. hd - геденбергит $\text{CaO} \times \text{FeO} \times 2\text{SiO}_2$, по CaO^{hd} , вычисляем остаток FeO' , обозначаем FeO'' .

4е. en - энстатит $\text{MgO} \times \text{SiO}_2$, по MgO' .

4ж. fs - ферросилит $\text{FeO} \times \text{SiO}_2$, по FeO'' .

4з. z - циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$, по ZrO_2 .

4и. Суммируем MKSiO_2 всех вычисленных миналов и сравниваем с MKSiO_2 в анализе, если MKSiO_2 в

Таблица 3

Нормативно – минальные системы Fe – Mg отряда с учетом 9 главных оксидов :
SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, при f<80

Группы	Ряды			
	А – низкой щёлочности (K+Na+2Ca<Al)	В-нормальн. щёлочности (K+Na<Al<K+Na+2Ca)	Д ¹ – щелочной (K+Na>Al)	Д ¹¹ -щелочной (K>Al)
1	2	3	4	5
I – q – нормативная	1.q-or-ab-an-als-en-fs-mt-ilm; 2.q-or-ab-an-als-en-mt-hm-ru; 3.q-or-ab-an-als-en-mt-ilm-ru;	1.q-or-ab-an-en-fs-di-hd-mt-ilm; 2.q-or-ab-an-en-di-mt-hm-ru; 3.q-or-ab-an-en-di-mt-ilm-ru;	1.q-or-ab-en-fs-ac-di-hd-mt-ilm; 2.q-or-ab-en-ac-di-mt-hm-ru; 3.q-or-ab-en-ac-di-mt-ilm-ru; 4.q-or-ab-en-fs-ac-di-hd-dsn-ilm; 5.q-or-ab-ac-en-di-dsn-ilm-ru;	1.q-or-dsk-en-fs-ac-di-hd-mt-ilm; 2.q-or-dsk-en-ac-di-mt-hm-ru; 3.q-or-dsk-en-ac-di-mt-ilm-ru; 4.q-or-dsk-en-fs-ac-di-hd-dsn-ilm; 5.q-or-dsk-en-ac-di-dsn-ilm-ru;
II – ol – нормативная	1.or-ab-an-als-en-fs-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-an-als-en-fo-mt-ilm-ru; 3.or-ab-an-als-en-fo-mt-hm-ru;	1.or-ab-an-di-hd-en-fs-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-an-di-en-fo-mt-hm-ru; 3.or-ab-an-di-en-fo-mt-ilm-ru;	1.or-ab-ac-di-hd-en-fs-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-ac-di-en-fo-mt-hm-ru; 3.or-ab-ac-di-en-fo-mt-ilm-ru; 4.or-ab-ac-di-hd-en-fs-fo-fa-dsn-ilm; 5.or-ab-ac-di-en-fo-dsn-ilm-ru;	1.or-dsk-ac-di-hd-en-fs-fo-fa-mt-ilm; 2.or-dsk-ac-di-en-fo-mt-hm-ru; 3.or-dsk-ac-di-en-fo-mt-ilm-ru; 4.or-dsk-ac-di-hd-en-fs-fo-fa-dsn-ilm; 5.or-dsk-ac-di-en-fo-dsn-ilm-ru;
III – ne – нормативная	1.or-ab-ne-an-c-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-an-c-ne-fo-mt-hm-ru; 3.or-ab-an-c-ne-fo-ilm-mt-ru;	1.or-ab-an-di-hd-ne-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-an-di-ne-fo-mt-hm-ru; 3.or-ab-an-di-ne-fo-mt-ilm-ru;	1.or-ab-ac-di-hd-ne-fo-fa-mt-ilm; 2.or-ab-ac-di-ne-fo-mt-hm-ru; 3.or-ab-ac-di-ne-fo-mt-ilm-ru; 4.or-ab-ac-di-hd-ne-fo-fa-dsn-ilm; 5.or-ab-ac-dsn-di-ne-fo-ilm-ru;	
IV – lc – нормативная	1.or-lc-ne-an-c-fo-fa-mt-ilm; 2.or-lc-ne-an-c-fo-mt-hm-ru; 3.or-lc-ne-an-c-fo-mt-ilm-ru;	1.or-lc-ne-an-di-hd-fo-fa-mt-ilm; 2.or-lc-ne-an-di-fo-mt-hm-ru; 3.or-lc-ne-an-di-fo-mt-ilm-ru;	1.or-lc-ne-ac-di-hd-fo-fa-mt-ilm; 2.or-lc-ne-ac-di-fo-mt-hm-ru; 3.or-lc-ne-ac-di-fo-mt-ilm-ru; 4.or-lc-ne-ac-dsn-di-hd-fo-fa-ilm; 5.or-lc-ne-ac-dsn-di-fo-ilm-ru;	1.or-lc-dsk-ac-di-hd-fo-fa-mt-ilm; 2.or-lc-dsk-ac-di-fo-mt-hm-ru; 3.or-lc-dsk-ac-di-fo-mt-ilm-ru; 4.or-lc-dsk-ac-dsn-di-hd-fo-fa-ilm; 5.or-lc-dsk-ac-dsn-di-fo-ilm-ru;
V – gh – нормативная	1.lc-ne-an-gh-c-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-ne-an-gh-c-fo-mt-hm-ru; 3.lc-ne-an-gh-c-fo-mt-ilm-ru;	1.lc-ne-an-gh-di-hd-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-ne-an-gh-di-fo-mt-hm-ru; 3.lc-ne-an-gh-di-fo-mt-ilm-ru;		
VI – ak – нормативная		1.lc-ne-gh-di-hd-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-ne-gh-di-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-ne-gh-di-ak-fo-mt-ilm-ru;	1.lc-ne-ac-di-hd-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-ne-ac-di-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-ne-ac-di-ak-fo-mt-ilm-ru; 4.lc-ne-ac-di-hd-ak-Feak-fo-fa-ilm-dsn; 5.lc-ne-ac-di-ak-fo-ilm-ru-dsn;	1.lc-dsk-ac-di-hd-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-dsk-ac-di-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-dsk-ac-di-ak-fo-mt-ilm-ru; 4.lc-dsk-ac-di-hd-fo-fa-ak-Feak-dsn-ilm; 5.lc-dsk-ac-dsn-di-ak-fo-ilm-ru;

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5
VI-kr- нормативная	1.lc-kr-ne-c-gh-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-kr-ne-c-gh-fo-mt-hm-ru; 3.lc-kr-ne-gh-c-fo-mt-ilm-ru;	1.lc-kr-ne-gh-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-kr-ne-gh-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-kr-ne-gh-ak-fo-mt-ilm-ru;	1.lc-kr-ne-ns-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-kr-ne-ns-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-kr-ne-ns-ak-fo-mt-ilm-ru; 4.lc-kr-ne-ns-ak-Feak-fo-fa-ilm-hm;	1.lc-kr-dsk-ns-ak-Feak-fo-fa-mt-ilm; 2.lc-kr-dsk-ns-ak-fo-mt-hm-ru; 3.lc-kr-dsk-ns-ak-fo-mt-ilm-ru; 4.lc-kr-dsk-ns-ak-Feak-fo-fa-ilm-hm;
VIII-mo- нормативная		1.kp-ne-gh-ak-Feak-fo-fa-mo-kir-mt-ilm; 2.kp-ne-gh-ak-fo-mo-mt-hm-ru; 3.kp-ne-gh-ak-fo-mo-mt-ilm-ru;	1.kp-ne-ns-ak-Feak-fo-fa-mo-kir-mt-ilm; 2.kp-ne-ns-ak-fo-mo-mt-hm-ru; 3.kp-ne-ns-ak-fo-mo-mt-ilm-ru; 4.kp-ne-ns-ak-Feak-fo-fa-mo-kir-ilm;	1.kp-ks-ns-ak-Feak-fo-fa-mo-kir-mt-ilm; 2.kp-ks-ns-ak-fo-mo-mt-hm-ru; 3.kp-ks-ns-ak-fo-mo-mt-ilm-ru; 4.kp-ks-ns-ak-Feak-fo-fa-mo-kir-ilm;
IX-per-wi- нормативная	1.kp-ne-c-gh-fo-fa-per-wu-mt-ilm; 2.kp-ne-c-gh-fo-per-mt-hm-ru; 3.kp-ne-c-gh-fo-per-mt-ilm-ru;	1.kp-ne-gh-fo-fa-mo-kir-mt-ilm-per-wu; 2.kp-ne-gh-fo-mo-mt-hm-ru-per; 3.kp-ne-gh-fo-mo-mt-ilm-ru-per;	1.kp-ne-ns-fo-fa-mo-kir-mt-ilm-per-wu; 2.kp-ne-ns-fo-mo-mt-hm-ru-per; 3.kp-ne-ns-fo-mo-mt-ilm-ru-per; 4.kp-ne-ns-fo-fa-mo-kir-ilm-per-wu;	1.kp-ks-ns-fo-fa-mo-kir-mt-ilm-per-wu; 2.kp-ks-ns-fo-mo-mt-hm-ru-per; 3.kp-ks-ns-fo-mo-mt-ilm-ru-per; 4.kp-ks-ns-fo-fa-mo-kir-ilm-per-wu;

анализе больше, чем полученная сумма, то избыток обозначаем *q*- кварц.

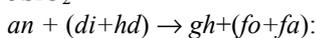
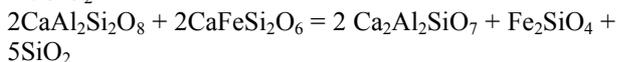
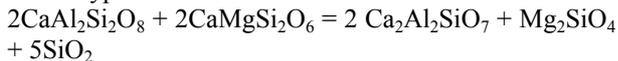
Если ΣMKSIO_2 всех вычисленных миналов будет больше MKSIO_2 в анализе, то десиликация вычисленных миналов производится в следующей последовательности:

5. (*en*+*fs*) → (*fo*+*fa*), см. А-1, п. 5; 6. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7;

7. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9.

9. В этом варианте десиликация *an* производится по иному, чем в варианте А, поскольку здесь не может существовать свободный *c* (корунд - Al_2O_3), он будет соединяться с (*di*+*hd*), образуя *gh*+(*fo*+*fa*). Поэтому для компенсации Al_2O_3 , выделяющегося при десиликации *an*, к последнему добавляется (*di*+*hd*), т.е. реакция взаимодействия Al_2O_3 и $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ сразу учитывается при расчете согласно уравнению:

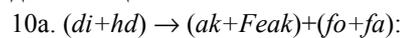
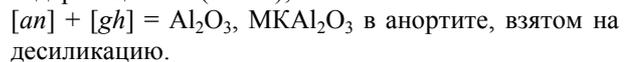
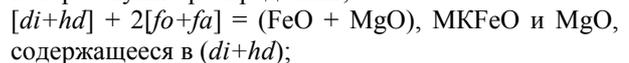
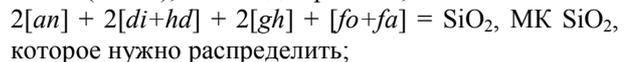
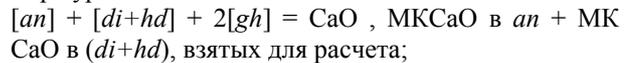


Поскольку для десиликации берутся два минала, то возможны два случая (две ветви а и б) десиликации.

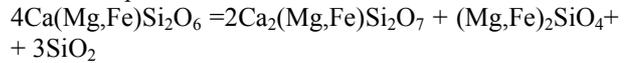
Ветвь а) подварианта Б-1:

9а. (*di*+*hd*) > *an*., что определяется по MKCaO в (*di*+*hd*) и *an*.

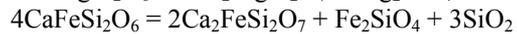
В этом случае для десиликации берется весь *an* и равное ему количество (*di*+*hd*) и решаются четыре уравнения:



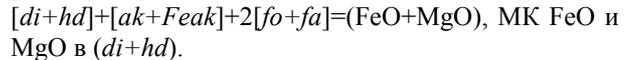
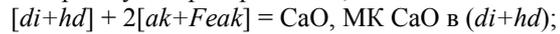
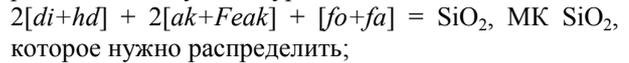
Согласно реакции:



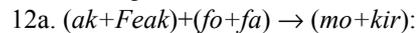
или:



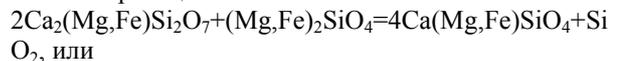
решением следующих уравнений:



11а. *lc* → *kp*, см. А-1, п.11.



согласно реакции:



$2Ca_2FeSi_2O_7 + Fe_2SiO_4 = 4CaFeSiO_4 + SiO_2$,
для расчета берется все МК($ak+Feak$) и количество МК($fo+fa$), равное половине от МК($ak+Feak$) и решаются уравнения:

$2[ak+Feak] + [fo+fa] + [mo+kir] = SiO_2$, $MKSiO_2$, которое необходимо распределить;

$2[ak+Feak] + [mo+kir] = CaO$, МКСаО в ($ak+Feak$);

$[ak+Feak] + 2[fo+fa] + [mo+kir] = FeO + MgO$,

МК(FeO+MgO) в ($ak+Feak$)+($fo+fa$);

13а. ($fo+fa$) \rightarrow ($per+wu$), см. А-1, п. 12.

14а. ($mo+kir$) \rightarrow $cs + (per+wu)$, согласно реакции:

$2Ca(Mg,Fe)SiO_4 = Ca_2SiO_4 + 2(MgO+FeO) + SiO_2$, или

$2CaMgSiO_4 = Ca_2SiO_4 + 2MgO + SiO_2$;

$2CaFeSiO_4 = Ca_2SiO_4 + 2FeO + SiO_2$,

решением следующих уравнений:

$[mo+kir] + [cs] = SiO_2$, $MKSiO_2$, которое необходимо распределить;

$[mo+kir] + [per+wu] = (FeO+MgO)$, МК(FeO+ MgO) в ($mo+kir$).

Ветвь б) подварианта Б-1:

9б. $an > (di+hd)$, что определяется по МКСаО в ($di+hd$) и an , в этом случае для десиликации берется все МК ($di+hd$) и равное ему количество МК an и решаются уравнения п. 9а.

9в. $an \rightarrow gh + c$, см. А-1,

п. 10. 10б. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11.

11б. ($fo+fa$) \rightarrow ($per+wu$), см. А-1, п. 12.

Характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта Б-1 приведены в табл. 3, в ряду В-нормальной щелочности.

Подвариант Б-2: $K_{alk}^{Al} = 0 \div 1.0$;

$CaO < (FeO'+MgO)$; $f = 80-90$

Образовываем насыщенные SiO_2 миналы:

4г. di -диопсид $CaO \times MgO \times 2SiO_2$, см. Б-1, п. 4г;

4д. hd -геденбергит $CaO \times FeO \times 2SiO_2$, см. Б-1, п. 4д;

4е. fo -форстерит $2MgO \cdot SiO_2$, по MgO после образования диопсида;

4ж. fa -фаялит $2FeO \cdot SiO_2$, по FeO' после образования геденбергита;

4з. z -циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$ по ZrO_2 .

4и. q -кварц, по остатку МК SiO_2 .

Десиликация вычисленных миналов в этом подварианте производится аналогично подварианту Б-1, за исключением первого шага, поскольку здесь отсутствует ($en+fs$).

Подвариант Б-3: $K_{alk}^{Al} = 0 \div 1.0$;

$CaO < (FeO'+MgO)$; $f = > 90$

Образовываем насыщенные SiO_2 миналы:

4г. ilm (п. 3л) пересчитывается на титанит - tn по МКTiO₂ согласно реакции: $FeO \times TiO_2 + CaO + SiO_2 = CaO \times TiO_2 \times SiO_2 + FeO$, последнее прибавляется к FeO, которое осталось после образования "аксессуарных" миналов;

4д. wo -волластонит $CaO \times SiO_2$, по CaO"; 4е. fo -форстерит $2MgO \cdot SiO_2$, по MgO;

4ж. fa -фаялит $2FeO \cdot SiO_2$ по FeO'; 4з. z -циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$ по ZrO_2 .

4и. q -кварц, по остатку МК SiO_2 .

Десиликации миналов производится в следующей последовательности:

5. $ab \rightarrow ne$, см. А-1, п. 7; 6. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8;

7. $tn \rightarrow pf$, от tn -титанита $CaO \cdot TiO_2 \cdot SiO_2$ отнимается $MKSiO_2$, которое необходимо распределить, а остаток $CaO \times TiO_2$ обозначается как pf -перовскит;

8. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9;

9. Десиликация an в этом подварианте производится совместно с wo и pf . Поэтому здесь тоже происходит разветвление алгоритма в зависимости от условий:

а) $wo > an$; б) $an > wo+pf$; в) $wo < an < wo+pf$ и величины МК fa .

Ветвь а) подварианта Б-3: $wo > an$

9а. $an + wo \rightarrow gh$, в этом случае для десиликации берется все МК an и равное ему МК wo и согласно реакции

$CaAl_2Si_2O_8 + CaSiO_3 = Ca_2Al_2SiO_7 + 2SiO_2$ решаются уравнения:

$[an] + [wo] + 2[gh] = CaO$, МК в wo и an ;

$2[an] + [wo] + [gh] = MKSiO_2$, которое необходимо распределить;

$[an] + [gh] = Al_2O_3$, МК Al_2O_3 в исходном an ;

10а. $wo + (fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$, в этом подварианте по условию ($fo+fa$) $> wo$ и поэтому за исходное берется все МК wo и в 4 раза меньшее МК ($fo+fa$) и согласно реакциям

$4CaSiO_3 + Mg_2SiO_4 = 2Ca_2MgSi_2O_7 + SiO_2$

$4CaSiO_3 + Fe_2SiO_4 = 2Ca_2FeSi_2O_7 + SiO_2$, решаются уравнения:

$[wo] + [fo+fa] + 2[ak+Feak] = MKSiO_2$, которое необходимо распределить,

$[wo] + 2[ak+Feak] = CaO$, МКСаО в исходном wo ;

$2[fo+fa] + [ak+Feak] = (FeO+MgO)$, МК(FeO+MgO) в исходном для расчета ($fo+fa$).

11а. $lc \rightarrow kp$, см. п. 11 в А-1.

12а. ($fo+fa$) + ($ak+Feak$) \rightarrow ($mo+kir$), см. Б-1, п. 12а.

13а. ($fo+fa$) \rightarrow ($per+wu$), см. А-1, п. 12.

14а. ($mo+kir$) \rightarrow $cs + (per+wu)$, см. Б-1, п. 14а.

Ветвь б) подварианта Б-3: $an > wo+pf$

Десиликация an производится в последовательности:

9б-1. $an + wo \rightarrow gh$; десиликация производится по тем же уравнениям, что и в п. 9а, только за исходное берется МК wo ;

9б-2. $an + pf + fa \rightarrow ilm + gh$; для десиликации пары $an+pf$ и пересчета pf в ilm необходимо использование fa , поэтому могут быть два случая: 1) $2pf < fa$ и 2) $2pf > fa$;

9б-2-1. $2pf < fa$; берется все МК pf и расчет производится согласно реакции:

$2CaAl_2Si_2O_8 + 2CaTiO_3 + Fe_2SiO_4 = 2FeTiO_3 + 2Ca_2Al_2SiO_7 + 3SiO_2$

решением следующих уравнений:

$2[an] + [fa] + [gh] = MKSiO_2$, которое необходимо распределить,

$[pf] + [ilm] = TiO_2$, МКTiO₂ в pf ;

$2[fa] + [ilm] = \text{FeO}$, МК FeO в *fa*, $[an]+[pf]=\text{CaO}$, МК CaO в *an* и *pf*,

$[an]+[gh]=\text{Al}_2\text{O}_3$, МК Al_2O_3 в *an*, при этом расходуется весь *pf*, а остаются *an* и *fa*.

9б-2-2. $2pf > fa$, берется все МК *fa* и решаются те же уравнения, что и в п.9б-2-1, при этом остаются *an* и *pf*.

9б-3. $an + pf \rightarrow ru + gh$; берется все МК *pf* и согласно реакции $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 + \text{CaTiO}_3 = \text{TiO}_2 + \text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7 + \text{SiO}_2$ решаются следующие уравнения:

$2[an] + [gh] = \text{MKSio}_2$, которое необходимо распределить,

$[pf] + [ru] = \text{TiO}_2$, МК TiO_2 в исх. *pf*,

$[an] + [gh] = \text{Al}_2\text{O}_3$, МК Al_2O_3 в исх. *an*,

$[an] + [pf] + 2[gh] = \text{CaO}$, МК CaO в исх. *an* и *pf*, при этом остается *an*.

9б-4. $an \rightarrow gh + c$, см. А-1, п. 10. 10б. $lc \rightarrow kp$, см. п.11 в А-1.

11б. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. А-1, п. 12.

Ветвь в) подварианта Б-3

9в. $wo < an < wo+pf$; десиликация в этом случае производится в последовательности:

9в-1. $an + wo \rightarrow gh$, см. п.9б-1; 9в-2. $an + pf + fa \rightarrow ilm + gh$, см. п. 9б-2;

9в-3. $an + pf \rightarrow ru + gh$, см. п. 9б-3. 10в. $lc \rightarrow kp$, см. п.11 в А-1.

11в. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. А-1, п. 12.

Подвариант Б-4: $\text{CaO} > (\text{FeO} + \text{MgO})$; $f < 90$.

4г.ilm(п.3) пересчитывается на *tn*-титанит $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2 + \text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{CaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot \text{SiO}_2 + \text{FeO}$ и если снова $\text{CaO} > (\text{FeO} + \text{MgO})$, где CaO - МК после образования *tn*, FeO - увеличение МК FeO после образования *tn*; уточняем *f* и если она опять будет < 90 , то образуем следующие максимально насыщенные SiO_2 миналы:

4д. *di*-диопсид $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$;

4е. *hd*-геденбергит $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot 2\text{SiO}_2$, CaO, MgO и FeO распределяются с учетом *f*.

4ж. *wo*-волластонит $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. 4з. *z*-циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$.

4и. *q*-кварц-остаток МК SiO_2 .

Десиликация в этом подварианте производится в следующем порядке: $ab \rightarrow ne$; $z \rightarrow bd$; $tn \rightarrow pf$; $or \rightarrow lc$; $an+wo \rightarrow gh$; $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$; $(di+hd)+wo \rightarrow (ak+Feak)$;

$(di+hd) \rightarrow (fo+fa)+(ak+Feak)$; $lc \rightarrow kp$; $wo \rightarrow cs$;

$(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$;

$(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$; $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, с появлением ветви подварианта А-1: $an \rightarrow gh+c$;

$lc \rightarrow kp$; $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$.

5. $ab \rightarrow ne$, см. А-1, п.7. 6. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п.8.

7. $tn \rightarrow pf$, вычитается от МК *tn* соответствующее МК SiO_2 .

8. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9.

В этом подварианте могут реализоваться несколько случаев (ветвей) десиликации *an* в зависимости от соотношения *an* с *wo*, $(di+hd)$ и *pf*: а) $an < wo$, после десиликации остаются *gh*, *wo* и $(di+hd)$

—ветвь а); б) $wo < an < (di+hd)+wo$, после десиликации остаются *gh*, $(di+hd)$ и $(fo+fa)$ - ветвь б); в) $wo+(di+hd) < an < wo+(di+hd)+pf$ - ветвь б); и г) $an > wo+(di+hd)+pf$ -ветвь г).

Ветвь а) подварианта Б-4

9а. $an < wo$; $an+wo \rightarrow gh$, за исх. берутся все МК *an* и столько же МК *wo* и решаются следующие уравнения:

$[an]+[wo]+2[gh] = \text{CaO}$ -МК в исх. *an* и *wo*;

$2[an]+[wo]+[gh] = \text{SiO}_2$ -МК которое необходимо распределить;

$[an]+[gh] = \text{Al}_2\text{O}_3$ - МК в исх. *an*.

10а. $wo+(di+hd) \rightarrow (ak+Feak)$; в зависимости от соотношения *wo* и $(di+hd)$ могут реализоваться две подветви:

10а-1. $wo > (di+hd)$; за исх. берутся все МК $(di+hd)$ и столько же МК *wo* и решаются следующие уравнения:

$[wo]+[di]+2[ak] = \text{CaO}$ - МК исх. $(di+hd)$ и *wo*;

$[wo]+2[di+hd]+2[ak+Feak] = \text{SiO}_2$ - МК, которое необходимо распределить;

$[di+hd]+[ak+Feak] = (\text{FeO}+\text{MgO})$ - МК в исх. $(di+hd)$.

10а-2. $wo < (di+hd)$; за исх. берутся все МК *wo* и столько же МК $di+hd$ и решаются те же уравнения, что и в 10а-1.

11а-1. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 9. 11а-2. $(di+hd) \rightarrow ak+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 10а.

12а-1. $wo \rightarrow cs$, решаются два уравнения:

$[wo]+[cs] = \text{SiO}_2$ - МК, которое необходимо распределить;

$[wo]+2[cs] = \text{CaO}$ - МК в *wo*.

12а-2. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 9.

13а-1. $(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$, решаются следующие уравнения:

$2[ak+Feak]+[cs]+[mo+kir] = \text{SiO}_2$ -МК, которое необходимо распределить;

$2[ak+Feak]+2[cs]+[mo+kir] = \text{CaO}$ - МК в $(ak+Feak)$;

$[ak+Feak]+[mo+kir] = (\text{FeO}+\text{MgO})$ - МК в $(ak+Feak)$.

13а-2. $2(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$; за исх. берутся все МК *ol* и в 2 раза больше $(ak+Feak)$ (по условию в этом подварианте $(ak+Feak)$ преобладает над $(fo+fa)$ больше чем в 2 раза) и решаются следующие уравнения:

$2[ak+Feak]+[fo+fa]+[mo+kir] = \text{SiO}_2$ - МК, которое необходимо распределить;

$2[ak+Feak]+[mo+kir] = \text{CaO}$ - МК в исх. $(ak+Feak)$;

$[ak+Feak]+2[fo+fa]+[mo+kir] = (\text{FeO}+\text{MgO})$ - МК в исх. $(fo+fa)$ и $(ak+Feak)$.

14а-2. $(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$, см. п. 13а-1.

14а-1 и 15а-2. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, решаются следующие уравнения:

$[mo+kir]+[cs] = \text{SiO}_2$ - МК, которое необходимо распределить;

$[mo+kir]+[per+wu] = (\text{FeO}+\text{MgO})$ - МК в исх. $(mo+kir)$;

$2[cs]+[mo+kir] = \text{CaO}$ -МК в исх. $(mo+kir)$.

Ветвь б)

9б. $wo < an < (di+hd)+wo$;

9б-1. $an+wo \rightarrow gh$; за исх. берутся все МК wo и такое же МК an и решаются те же уравнения что и в п. 9а.

9б-2. $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 9а.

10б. $(di+hd) \rightarrow ak+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 10а.

11б. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11.

12б. $(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, для расчета берутся все МК $(fo+fa)$ и в 2 раза больше МК $(ak+Feak)$ и решаются уравнения, см. Б-1, п. 12а.

13б. $(ak+Feak) \rightarrow (mo+kir)$, см. п. 13а-1.

14б. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. п. 14а-1.

Ветвь в)

9в. $wo+(di+hd) < an < (di+hd)+wo+pf$; десиликация производится в последовательности : 1) $wo+an \rightarrow gh$; 2) $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$; 3) $an+pf+fa \rightarrow ilm+gh$; 4) $an+pf \rightarrow ru+gh$;

9в-1. $wo+an \rightarrow gh$, см. п. 9а 9в-2. $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 9а.

9в-3. $an+pf+fa \rightarrow ilm+gh$, см. Б-3, п. 9б-2. 9в-4. $an+pf \rightarrow ru+gh$, см. Б-3, п. 9б-3.

10в-1. $wo+(di+hd) \rightarrow (ak+Feak)$, см. п. 10а. 10в-2. $(di+hd) \rightarrow (ak+Feak)+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 10а.

11в. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 9. 12в-1. $wo \rightarrow cs$, см. п. 12а-1.

12в-2. $(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-1, п. 12а.

3в. $(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$, см. п. 12а-1.

14в-1. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. А-1, п. 12. 14в-2. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. п. 14а-1.

Ветвь з)

9г. $an > wo+(di+hd)+pf$, десиликация производится в последовательности: 1) $an+wo \rightarrow gh$; 2) $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$; 3) $an+pf+fa \rightarrow ilm+gh$; 4) $an+pf \rightarrow ru+gh$; 5) $an \rightarrow gh+c$.

9г-1. $wo+an \rightarrow gh$, см. п. 9а. 9г-2. $an+(di+hd) \rightarrow gh+(fo+fa)$, см. Б-1, п. 9а.

9г-3. $an+pf+fa \rightarrow ilm+gh$, см. Б-3, п. 9б-2. 9г-4. $an+pf \rightarrow ru+gh$, см. Б-3, п. 9б-3.

9г-5. $an \rightarrow gh+c$, см. А-1, п. 10.

10г-1, 10г-2, 11г, 12г-1, 12г-2, 13г, 14г-1, 14г-2 – см. 10в-1 ÷ 14в-2.

Наиболее характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта Б-4 приведены в таблице 4, в ряду В-нормальной щелочности.

Подвариант б-5: $CaO''' > (FeO'+MgO')$, $f > 90$.

4г. ilm (см. п. 3) пересчитывается на tn и FeO (Б-4, п. 4г); МК FeO приплюсовывается к FeO и уточняется f . Далее образуются следующие максимально насыщенные SiO_2 миналы:

4д. fo -форстерит- $2MgO \cdot SiO_2$;

4е. fa -фаялит- $2FeO \cdot SiO_2$;

4ж. wo -волластонит- $CaO \cdot SiO_2$;

4з. z -циркон- $ZrO_2 \cdot SiO_2$;

4и. q -кварц-остаток МК SiO_2 .

Десиликация в этом подварианте производится в следующем порядке: $ab \rightarrow ne$; $z \rightarrow bd$; $tn \rightarrow pf$; $or \rightarrow lc$; $an+wo \rightarrow gh$; $wo+(fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$; $lc \rightarrow kp$; $wo \rightarrow cs$ или $(ak+Feak)+(fo+fa)$

$\rightarrow (mo+kir)$; $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$; с ветвью А-1, когда будет $an > wo$ и тогда, после расходования всего wo , $an \rightarrow gh+c$; $lc \rightarrow kp$; $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$.

5. $ab \rightarrow ne$, см. А-1, п. 7.

6. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8.

7. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7.

8. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9.

9. В этом подварианте могут реализоваться три случая (ветви) десиликации an в зависимости от соотношения его с wo и pf : а) $an < wo$; б) $an > wo+pf$; в) $wo < an < wo+pf$.

Ветвь а)

9а. $an < wo$, $an+wo \rightarrow gh$, см. Б-3, п. 9а.

10а. $wo+(fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$, в зависимости от соотношения wo и ol могут реализоваться две подветви:

10а-1. wo больше в 4 раза чем ol ; $4wo+(fo+fa) \rightarrow 2ak$; для расчета берутся все МК $(fo+fa)$ и в 4 раза больше МК wo и решаются следующие уравнения:

$[wo]+[fo+fa]+2[ak+Feak]=SiO_2$ -МК, которое необходимо распределить;

$[wo]+2[ak+Feak]=CaO$ -МК в исх. wo ;

$2[fo+fa]+[ak+Feak]=(FeO+MgO)$ - МК в исх. $(fo+fa)$; после чего остаются $wo+(ak+Feak)$.

10а-2. МК wo меньше чем в 4 раза относительно МК $(fo+fa)$, тогда берутся все МК wo и в 4 раза меньше МК $(fo+fa)$ и решаются те же уравнения, что и в 10а-1; после чего здесь остаются $(fo+fa)+(ak+Feak)$

11а-1 и 11а-2. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 9.

12а-1. $wo \rightarrow cs$, см. Б-4, п. 12а-1.

12а-2. $2(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-4, п. 12б.

13а-1 и 13а-2. $(ak+Feak) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-4, п. 13а-2.

14а-1 и 14а-2. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. Б-4, п. 14а-1.

Ветвь б)

9б. $an > wo+pf$, см. Б-3, п. 9б.

Ветвь в)

9в. $wo < an < wo+pf$, см. Б-3, п. 9в.

10б и в. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11.

11б и в. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. А-1, п. 12

Подвариант б-6: $CaO'''=(FeO''+MgO')$; $f < 90$.

Такое соотношение CaO''' и $(FeO''+MgO')$ получается тогда когда вначале $CaO''' > (FeO''+MgO')$, а после пересчета ilm на tn (см. Б-4, п. 4г) имеем $CaO''' < (FeO''+MgO')$.

4г. В таком случае необходимо распределить CaO , TiO_2 и $(FeO+MgO)$ между tn , ilm и hd решением следующих уравнений:

$[tn]+[ilm]=TiO_2$ -исх. МК;

$[hd]+[ilm]=FeO$ -МК после образования "аксессуарных" миналов до ilm ;

$[tn]+[hd]=CaO''-MgO'$, и в результате получим ассоциацию $ilm+tn+hd$ без wo и fs .

4д. Из оставшихся CaO и MgO образуем di .

4е. z-циркон-ZrO₂SiO₂.

4ж. q-кварц-остаток МК от исх. SiO₂.

По своей сути это граничный подвариант: в насыщенных SiO₂ минальных ассоциациях отсутствуют как (*орх+ол*), так и *wo*; (*fo+fa*) появляется в недосыщенных SiO₂ составах при десиликации *an+(di+hd)* и происходит смещение в Fe-Mg-подвариант Б-1 и А-1.

Десиликация в этом подварианте производится в следующей последовательности:

5. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7. 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8.

7. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7. 8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9.

9. В этом подварианте также могут реализоваться три ветви десиликации *an* в зависимости от соотношения с (*di+hd*) и *pf*: а) *an* < (*di+hd*); б) *an* > (*di+hd*) + *pf* и в) (*di+hd*) < *an* < (*di+hd*) + *pf*.

9а. *an* < (*di+hd*), в этом случае десиликация производится аналогично подварианту Б-1, п. 9а-14а.

9б. *an* > (*di+hd*) + *pf*; десиликация производится в последовательности: 1) *an* + (*di+hd*) → *gh* + (*fo+fa*); 2) *an* + *pf* + *fa* → *ilm* + *gh*; 3) *an* + *pf* → *ru* + *gh*; 4) *an* → *gh* + *c*.

9б-1. *an* + (*di+hd*) → *gh* + (*fo+fa*), см. Б-1, п. 9а.

9б-2. *an* + *pf* + *fa* → *ilm* + *gh*, см. Б-3, п. 9б-2.

9б-3. *an* + *pf* → *ru* + *gh*, см. Б-3, п. 9б-3.

9б-4. *an* → *gh* + *c*, см. А-1, п. 10.

9в. (*di+hd*) < *an* < (*di+hd*) + *pf*; десиликация производится в последовательности:

9в-1. *an* + (*di+hd*) → *gh* + (*fo+fa*), см. Б-1, п. 9а;

9в-2. *an* + *pf* + *fa* → *ilm* + *gh*, см. Б-3, п. 9б-2;

9в-3. *an* + *pf* → *ru* + *gh*, см. Б-3, п. 9б-3.

10б и в. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11.

11б и в. (*fo+fa*) → (*per+wu*), см. А-1, п. 12.

Подвариант Б-7: CaO''' = (FeO'' + MgO'); *f* > 90.

Этот подвариант отличается от Б-6 тем, что здесь устойчива ассоциация *ol* с *wo*, а с *wo* не может сосуществовать *ilm*. Поэтому указанное соотношение CaO с (FeO + MgO) может получиться случайно из исходного CaO > (FeO + MgO) при пересчете *ilm* на *tn* (см. Б-4, п. 4г). Чаще же будем получать либо CaO''' > (FeO'' + MgO')-подвариант Б-5, либо CaO''' < (FeO'' + MgO')-подвариант Б-3.

ilm (см. п. 3л) пересчитывается на *tn* и FeO (см. Б-4, п. 4г); FeO приплюсовывается к FeO'', а затем уточняется *f* и соотношение CaO''' с FeO + MgO и если оно будет CaO''' = (FeO'' + MgO'), то далее образуются следующие максимально насыщенные SiO₂ миналы для этих условий;

4д. *fo*-форстерит-2MgO SiO₂; 4е. *fa*-фаялит-2FeO SiO₂;

4ж. *wo*-волластонит-CaO SiO₂; 4з. z-циркон-ZrO₂ SiO₂;

4и. q-кварц-остаток МК SiO₂.

Десиликация в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7; 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

7. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7; 8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9;

9. И в этом подварианте реализуются три случая (ветви) десиликации *an* в зависимости от соотношения с *wo* и *pf*:

9а. *an* + *wo* → *gh*, см. Б-4, п. 9а; 9б. *an* > *wo* + *pf*, см. Б-3, п. 9б;

9в. *wo* < *an* < *wo* + *pf*, см. Б-3, п. 9в; 10а. *wo* + (*fo+fa*) → (*ak+Feak*), см. Б-3, п. 10а;

10б и 10в. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11; 11а. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11;

11б и 11в. (*fo+fa*) → (*per+wu*), см. А-1, п. 12;

12а. (*fo+fa*) + (*ak+Feak*) → (*mo+kir*), см. Б-1, п. 12а;

13а. (*fo+fa*) → (*per+wu*), см. А-1, п. 12;

14а. (*mo+kir*) → *cs* + (*per+wu*), см. Б-1, п. 14а.

Вариант В

Этот вариант пересчета применяется к щелочным породам с $K_{alk}^{AL} > 1(1 \div \infty)$ и K₂O + Na₂O > Al₂O₃. Характерной петрохимической особенностью таких пород является отсутствие нормативных *an* и *gh*, а CaO идет на "аксессуарные" и фермические миналы. В зависимости от соотношения CaO¹ (остаток CaO после образования "аксессуарных" миналов) с (FeO¹ + MgO¹), где FeO¹ и MgO¹ также после образования "аксессуарных" миналов, и в этом варианте имеется семь подвариантов (см. табл. 2), подобных подвариантам варианта Б.

Здесь, до образования *mt*, рассчитываем следующие миналы:

3н. ортоклаз K₂O Al₂O₃ 6SiO₂, по МК K₂O;

3о. аб-альбит Na₂O Al₂O₃ 6SiO₂, по остатку МК Al₂O₃;

3п. ас-акмит Na₂O Fe₂O₃ 4SiO₂, по остатку Na₂O;

3р. Если не хватает Fe₂O₃, то образуем *dsn*-десиликат натрия Na₂O 2SiO₂, тогда не будет *mt*;

3с. Если после расчета *ac* останется Fe₂O₃, то образуется *mt* – магнетит FeO Fe₂O₃, тогда не будет *dsn*.

3т. Если еще останется Fe₂O₃, то это будет *hm*.

Затем, по соотношению CaO', FeO' и MgO', определяется подвариант.

Подвариант В-1: CaO¹ < (FeO¹ + MgO¹), *f* < 80.

И далее, рассчитываются насыщенные SiO₂ миналы:

4а. *di*-диопсид CaO MgO 2SiO₂;

4б. *hd*-геденбергит CaO FeO 2SiO₂; *di* и *hd* рассчитываются по CaO¹ пропорционально *f*;

4в. *en*-энстатит MgO SiO₂; 4г. *fs*-ферросилит FeO SiO₂;

4д. z-циркон ZrO₂ SiO₂; 4е. q-кварц, по остатку МК SiO₂.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. (*en+fs*) → (*fo+fa*), см. А-1, п. 5; 6. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7;

7. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8; 8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9;

9. (*di+hd*) → (*fo+fa*) + (*ak+Feak*), см. Б-1, п. 10а;

10. $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, согласно реакции:
 $2Na_2Fe^{3+}Si_4O_{12}+Fe_2SiO_4=2Na_2Si_2O_5+2FeOFe_2O_3+$
 $+5SiO_2$;

10а. при $MKfa > 2MKac$ для расчета берутся все МК ac и в два раза меньше МК fa и решаются уравнения: $[ac]+[dsn]=Na_2O$ -МК в ac ;

$2[fa]+[mt]=FeO$ -МК в fa ;

$[ac]+[mt]=Fe_2O_3$ -МК в ac ;

$[fa]+4[ac]+2[dsn]=SiO_2$ -МК, которое необходимо распределить.

10б. при $MKfa < 2MKac$ для расчета берутся все МК fa и в два раза больше МК ac и решаются те же уравнения.

10в. Если и после этого не будет хватать SiO_2 , то ac десилицируется ($ac \rightarrow dsn+hm$) согласно реакции:
 $Na_2Fe^{3+}Si_4O_{12} = Na_2Si_2O_5 + Fe_2O_3 + 2SiO_2$, решением уравнений:

$[ac]+[dsn]=Na_2O$ -МК в ac ;

$[ac]+[hm]=Fe_2O_3$ -МК в ac ;

$4[ac]+2[dsn]=SiO_2$ -МК, которое необходимо распределить.

11. $dsn \rightarrow ns$, решением уравнений:

$2[dsn]+[ns]=SiO_2$ -МК, которое необходимо распределить;

$[dsn]+[ns]=Na_2O$ -МК исх. в dsn ;

12. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11; 13. $(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-1, п. 12а;

14. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. А-1, п. 12; 15. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. Б-1, п. 14а.

Наиболее характерные ассоциации главных миналов подварианта В-1 приведены в таблице 3, в ряду Д^I-щелочной.

Подвариант В-2: $CaO^1 < (FeO^1 + MgO^1)$; $f = 80-90$

После образования mt (см. вариант В) или hm , рассчитываем следующие насыщенные SiO_2 миналы:

4а. di -диопсид $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$; 4б. hd - геденбергит $CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$;

4в. fo -форстерит $2MgO \cdot SiO_2$; 4г. fa - фаялит $2FeO \cdot SiO_2$;

4д. z - циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$; 4е. q - кварц, по остатку МК SiO_2 .

Десиликация миналов в этом подварианте осуществляется в следующем порядке: $ab \rightarrow ne$; $z \rightarrow bd$; $or \rightarrow lc$; $(di+hd) \rightarrow (fo+fa)+(ak+Feak)$; $ac+fa \rightarrow dsn+mt$; $dsn \rightarrow ns$; $lc \rightarrow kp$; $(fo+fa)+(ak+Feak) \rightarrow (mo+kir)$; $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$; $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$ и производится аналогично алгоритму В-1, п.6-п.15.

Подвариант В-3: $CaO^1 < (FeO^1 + MgO^1)$; $f > 90$

Образуем следующие насыщенные SiO_2 миналы:

4а. ilm (см.п. 3а) пересчитывается на tn , см. Б-3, п. 4г;

4б. wo -волластонит $CaO \cdot SiO_2$; 4в. fo -форстерит $2MgO \cdot SiO_2$;

4г. fa -фаялит $2FeO \cdot SiO_2$; 4д. z -циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$;

4е. q -кварц по остатку МК SiO_2 .

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. $ab \rightarrow ne$, см. А-1, п. 7; 6. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8;

7. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7; 8. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9;

9. $wo+(fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$, см. Б-5, п. 10а;

10а и 10б. $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, см. В-1, п. 10а-10б;

10в. $ac+Feak \rightarrow dsn+mt+wo$ (при $MKFeak > MKac$);

согласно реакции: $Na_2Fe^{3+}Si_4O_{12} +$

$Ca_2FeSi_2O_7 = Na_2Si_2O_5 + FeO \cdot Fe_2O_3 + 2CaSiO_3 + 2SiO_2$,

решением следующих уравнений:

$[ac]+[dsn]=Na_2O$ -МК в ac ; $[ac]+[mt]=Fe_2O_3$ -МК в ac ;

$[Feac]+[mt]=FeO$ -МК в $Feac$;

$2[Feak]+[wo]=CaO$ -МК в $Feac$;

$4[ac]+2[dsn]+[wo]=SiO_2$ -МК, которое необходимо распределить;

10г. $ac+Feak \rightarrow dsn+mt+wo$ (при $MKFeak < MKac$), решаются те же уравнения;

10д. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в;

11. $dsn \rightarrow ns$, см. В-1, п. 11;

12. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11;

13. $(fo+fa)+(ak+Feak) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-1, п. 12а;

14. $(fo+fa) \rightarrow (per+wu)$, см. Б-3, п. 12а;

15. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+kir)$, см. Б-3, п. 13а.

Подвариант В-4: $CaO^1 > (FeO^1 + MgO^1)$; $f < 90$

4а. Весь ilm пересчитывается на tn (см. Б-4, п. 4г) и если снова $CaO^1 > (FeO^1 + MgO^1)$ и $f < 90$, то, далее, образуем следующие насыщенные SiO_2 миналы:

4б. di -диопсид $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$, по МК MgO^1 ;

4в. hd -геденбергит $CaO \cdot FeO \cdot 2SiO_2$, по МК FeO^1 ;

4г. wo -волластонит $CaO \cdot SiO_2$, по остатку CaO ;

4д. z -циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$; 4е. q -кварц, по остатку МК SiO_2 .

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующей последовательности:

5. $ab \rightarrow ne$, см. А-1, п. 7; 6. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8;

7. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7; 8. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9.

9а(1-2). $wo+(di+hd) \rightarrow (ak+Feak)$, см. Б-4, п. 10а(1-2);

9б. $(di+hd) \rightarrow (fo+fa)+(ak+Feak)$, см. Б-1, п. 10а;

10а(1-2). $ac+Feak \rightarrow dsn+mt+wo$, см. В-3, п. 10в-10г;

10а-3. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в.

10б(1-2) $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, см. В-1, п. 10а-10б;

10б-3. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в;

11а-б. $dsn \rightarrow ns$, см. В-1, п. 11;

Далее алгоритм пересчета данного подварианта аналогичен алгоритму Б-4, п.11а-15а-2 и п. 11б-14б.

Наиболее характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта В-4 приведены в таблице 4, в ряду Д^{II}-щелочной.

Таблица 4

Нормативно-минальные системы Са-отряда, с учетом 9 главных оксидов: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, при f<90

Ряды Группы	В-норм. щелочности (K+Na<Al<K+Na+2Ca)	D ^I -щелочной (Na+K>Al)	D ^{II} -щелочной (K>Al)
I- <i>q</i> -нормативная	1. <i>q-or-ab-an-di-hd-wo-mt-tn</i> ; 2. <i>q-or-ab-an-di-wo-mt-hm-tn</i> ;	1. <i>q-or-ab-ac-di-hd-wo-mt-tn</i> ; 2. <i>q-or-ab-ac-di-wo-mt-hm-tn</i> ; 3. <i>q-or-ab-dsn-ac-di-hd-wo-tn</i> ;	1. <i>q-or-dsk-ac-di-hd-wo-mt-tn</i> ; 2. <i>q-or-dsk-ac-di-wo-mt-hm-tn</i> ; 3. <i>q-or-dsk-dsn-ac-di-hd-wo-tn</i> ;
II- <i>ne</i> -нормативная	1. <i>or-ab-ne-an-di-hd-wo-mt-tn</i> ; 2. <i>or-ab-ne-an-di-wo-mt-hm-tn</i> ;	1. <i>or-ab-ne-ac-di-hd-wo-mt-tn</i> ; 2. <i>or-ab-ne-ac-di-wo-mt-hm-tn</i> ; 3. <i>or-ab-ne-dsn-ac-di-hd-wo-tn</i> ;	-
III- <i>lc</i> -нормативная	1. <i>or-lc-ne-an-di-hd-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>or-lc-ne-an-di-wo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>or-lc-ne-ac-di-hd-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>or-lc-ne-ac-di-wo-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>or-lc-ne-dsn-ac-di-hd-wo-pf</i> ;	1. <i>or-lc-dsk-ac-di-hd-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>or-lc-dsk-ac-di-wo-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>or-lc-dsk-dsn-ac-di-hd-wo-pf</i> ;
IV- <i>gh</i> -нормативная	1. <i>lc-ne-an-gh-di-hd-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-ne-an-gh-di-wo-mt-hm-pf</i> ;	-	-
V- <i>ak</i> -нормативная	1. <i>lc-ne-gh-di-hd-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-ne-gh-di-ak-wo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>lc-ne-ac-di-hd-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-ne-ac-di-ak-wo-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>lc-ne-dsn-ac-di-hd-ak-Feak-wo-pf</i> ;	1. <i>lc-dsk-ac-di-hd-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-dsk-ac-di-ak-wo-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>lc-dsk-dsn-ac-di-hd-ak-Feak-wo-pf</i> ;
VI- <i>kp</i> -нормативная	1. <i>lc-kp-ne-di-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-kp-ne-gh-ak-wo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>lc-kp-ne-ns-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-kp-ne-ns-ak-wo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>lc-kp-dsk-ns-ak-Feak-wo-mt-pf</i> ; 2. <i>lc-kp-dsk-ns-ak-wo-mt-hm-pf</i> ;
VII- <i>cs</i> -нормативная	1. <i>kp-ne-gh-ak-Feak-wo-cs-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-gh-ak-wo-cs-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>kp-ne-ns-ak-Feak-wo-cs-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-ns-ak-wo-cs-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>kp-ne-ns-ns-ak-Feak-wo-cs-pf</i> ;	1. <i>kp-ks-ns-ak-Feak-wo-cs-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ks-ns-ak-wo-cs-mt-hm-pf</i> ; 3. <i>kp-ks-ns-ns-ak-Feak-wo-cs-pf</i> ;
VIII- <i>mo</i> -нормативная	1. <i>kp-ne-gh-ak-Feak-cs-mo-kir-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-gh-ak-cs-mo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>kp-ne-ns-ak-Feak-cs-mo-kir-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-ns-ak-cs-mo-mt-hm-pf</i> ;	1. <i>kp-ks-ns-ak-Feak-cs-mo-kir-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ks-ns-ak-cs-mo-mt-hm-pf</i> ;
IX-(<i>per+wu</i>)-нормативная	1. <i>kp-ne-gh-cs-mo-kir-per-wu-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-gh-cs-mo-per--mt-hm-pf</i> ;	1. <i>kp-ne-ns-cs-mo-kir-per-wu-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ne-ns-cs-mo-per--mt-hm-pf</i> ;	1. <i>kp-ks-ns-cs-mo-kir-per-wu-mt-pf</i> ; 2. <i>kp-ks-ns-cs-mo-per-mt-hm-pf</i> ;

Подвариант В-5: CaO¹>(FeO¹+MgO¹), f>90

4а. *ilm* (см. п. 3л) пересчитывается на *tn* и FeO (см. Б-4, п. 4г); освободившееся FeO прибавляется к общему и уточняется *f*.

Далее, к *or*, *ab*, *ac*, *dsn*, *mt*, *hm* (смю В, п.3н-3т) образуем следующие максимально насыщенные SiO₂ миналы:

4б. *fo*- форстерит 2MgO·SiO₂, по MgO¹; 4в. *fa*- фаялит 2FeO·SiO₂, по FeO¹;

4г. *wo*-воластонит CaO·SiO₂, по CaO¹; 4д. *z*- циркон ZrO₂·SiO₂, по ZrO₂;

4е. *q*-кварц, по остатку SiO₂.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7; 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

7. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7;

8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9.

9(1-2). *wo*+(*fo*+*fa*) → (*ak*+*Feak*), см. Б-5, п. 10а;

10-1а-10-1б. *ac*+*Feak* → *dsn*+*mt*+*wo*, см. В-3, п. 10в-10г;

10-2а и 10-2б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б;

10(1-2). *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

11(1-2). *dsn* → *ns*, см. В-1, п. 11;

Далее алгоритм пересчета подварианта В-5 аналогичен алгоритму Б-5, п.11а-п.14а-2.

Подвариант В-6: CaO¹=(FeO¹+MgO¹), f<90

Такое соотношение кальция с суммой железа и магния получается, когда вначале CaO¹>(FeO¹ +

+MgO¹), а после пересчета *ilm* на *tn* знак неравенства поменяется на обратный (см. Б-4, п. 4г).

4а. Распределяем CaO¹, TiO₂ и FeO¹ между *tn*, *ilm* и *hd* решением уравнений (см. Б-6, п. 4г). Если до этого присутствовал *hm*, то освободившееся FeO идет на образование *mt*.

4б. Из оставшихся CaO и MgO образуем *di*-CaO MgO 2SiO₂;

4в. *z*-циркон ZrO₂·SiO₂; 4г. *q*-кварц, остаток МК SiO₂.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7; 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

7. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7; 8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9;

9. (*di*+*hd*) → (*ak*+*Feak*)+(fo+fa), см. Б-1, п. 10а; (по условию стехиометрично);

10а и 10б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б; 10д.

ac → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

11. *dsn* → *ns*, см. В-1, п. 11;

12. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11;

13. (*ak*+*Feak*)+(fo+fa) → (*mo*+*kir*), см. Б-1, п. 12а;

14. (*mo*+*kir*) → (*per*+*wu*)+*cs*, см. Б-1, п. 14а.

Подвариант В-7: CaO¹=(FeO¹+MgO¹), f>90

Данный подвариант сходен с Б-7, только здесь вместо *an* присутствует *ac*.

После образования *ab*, *ac*, *dsn*, *or*, *mt*, *hm* (см. в, п.3н-п.3т), сравниваем CaO¹ с (FeO¹+MgO¹) и если будет CaO¹>(FeO¹+MgO¹), то:

4а. *ilm* пересчитывается на *tn* и FeO^{II} (см. Б-4, п. 4г), FeO^{II} приплюсовывается к FeO^{I} , уточняется *f* и соотношение CaO^{I} с $\text{FeO}^{\text{I}}+\text{MgO}^{\text{I}}$ и если оно будет случайно $\text{CaO}^{\text{I}}=(\text{FeO}^{\text{I}}+\text{MgO}^{\text{I}})$, то далее образуются следующие максимально насыщенные SiO_2 миналы для этих условий:

4б. *fo*- форстерит $2\text{MgO}\cdot\text{SiO}_2$, по MgO^{I} ; 4в. *fa*- фаялит $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, по FeO^{I} ;

4г. *wo*- волластонит $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, по CaO^{I} ; 4д. *z*-циркон $\text{ZrO}_2\cdot\text{SiO}_2$;

4е. *q*-кварц, по остатку МК SiO_2 .

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. *ab* → *ne*, см. А-1, п. 7; 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

7. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7; 8. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9.

9. *wo*+(*fo*+*fa*) → (*ak*+*Feak*), см. Б-5, п. 10а;

10а и 10б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б;

10в. *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

11. *dsn* → *ns*, см. В-1, п. 11;

Далее алгоритм десиляции в данном подварианте аналогичен алгоритму Б-7, п. 11а-14а.

Вариант Г

Этот вариант пересчета применяется к щелочным породам лампроитового петрохимического типа с $K_{alk}^{Al} > 1$ ($1 \div \infty$) и $\text{K}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{O}_3$. Характерной особенностью таких пород является отсутствие в их норме не только *an* и *gh*, но также *ab* и *ne*. И здесь, в зависимости от соотношения CaO , FeO и MgO , имеются семь подвариантов (см. таблицу 2).

После образования *ru*-рутила (п. 3м) рассчитывается *mt*, а следующие миналы:

3н. *or*-ортоклаз $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$, по МК Al_2O_3 ;

3о. *dsk*-дисиликат калия $\text{K}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$, по остатку МК K_2O ;

3п. *ac*- акмит $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 4\text{SiO}_2$, по МК Na_2O (или МК Fe_2O_3);

3р. Если не хватит Fe_2O_3 , то образуется *dsn*-дисиликат натрия $\text{Na}_2\text{O}\cdot 2\text{SiO}_2$;

3с. Если после образования *ac* остается Fe_2O_3 , то рассчитывается *mt*- магнетит $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$; тогда не будет *dsn*;

3т. если и еще останется Fe_2O_3 , то это будет *hm*-гематит.

Затем, по соотношению CaO , FeO и MgO определяем подвариант.

Подвариант Г-1: $\text{CaO} < (\text{FeO} + \text{MgO})$, $f < 80$

Образуются следующие насыщенные SiO_2 миналы: см. В-1, п. 4а-п. 4е.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. (*en*+*fs*) → (*fo*+*fa*), см. А-1, п. 5; 6. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

7. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9; 8. (*di*+*hd*) → (*fo*+*fa*)+(*ak*+*Feak*), см. Б-1, п. 10а;

9а,б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б; 9в. *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в

10. *dsn* → *ns*, см. В-1, п. 11; 11. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11;

12. *dsk* → *sk*, решением уравнений: $2[\text{dsk}]+[\text{ks}]=\text{SiO}_2$; $[\text{dsk}]+[\text{ks}]=\text{K}_2\text{O}$, МК в исх. *dsk*;

13-15. см. В-1, п. 13-п. 15.

Наиболее характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта Г-1 приведены в таблице 3, в ряду Д^{II}-щелочной.

Подвариант Г-2: $\text{CaO} < (\text{FeO} + \text{MgO})$, $f = 80-90$

После образования *mt* (или *hm*) (см. вариант Г), рассчитываем следующие насыщенные SiO_2 миналы, см. В-2, п. 4а-п. 4е.

Десиликация миналов производится в следующем порядке:

5. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8;

6. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9;

7-14. аналогичны Г-1, п. 8-п. 15.

Подвариант Г-3: $\text{CaO} < (\text{FeO} + \text{MgO})$, $f > 90$

После образования *mt* (или *hm*) (см. вариант Г), рассчитываем следующие насыщенные SiO_2 миналы, см. В-3, п. 4а-п. 4е.

Десиликация миналов производится в следующем порядке:

5. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8; 6. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7; 7. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9

8. *wo*+(*fo*+*fa*) → (*ak*+*Feak*), см. Б-3, п. 9а; 9а-9б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б;

9в и 9г. *ac*+*Feak* → *dsn*+*mt*+*wo*, см. В-3, п. 10в-10г; 9д. *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

10. *dsn* → *ns*, см. В-1, п. 11; 11. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 11; 12. *dsk* → *ks*, см. Г-1, п. 11;

13-15. аналогично В-3, п. 13-п. 15.

Подвариант Г-4: $\text{CaO} > (\text{FeO} + \text{MgO})$, $f < 90$

4а. Весь *ilm* (см. п. 3л) пересчитывается на *tn*-титанит (см. Б-4, п. 4г) и если опять $\text{CaO} > (\text{FeO} + \text{MgO})$, а *f* остается <90, то к *or*, *ac*, *dsn*, *dsk*, *tn*, *mt* и *hm* образуем максимально насыщенные SiO_2 миналы, см. В-4, п. 4б-п. 4е.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. *z* → *bd*, см. А-1, п. 8; 6. *tn* → *pf*, см. Б-4, п. 7; 7. *or* → *lc*, см. А-1, п. 9;

8. *wo*+(*di*+*hd*) → (*ak*+*Feak*); 8-1. *wo* > (*di*+*hd*), см. Б-4, п. 10а-1; 8-2. *wo* < (*di*+*hd*), см. Б-4, п. 10а-2; 9-1а,б. *ac*+*Feak* → *dsn*+*mt*+*wo*, см. В-3, п. 10в-10г; 9-1в. *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

9-2. (*di*+*hd*) → (*ak*+*Feak*)+(*fo*+*fa*), см. Б-1, п. 10а;

10-2а,б. *ac*+*fa* → *dsn*+*mt*, см. В-1, п. 10а-10б; 10-2в. *ac* → *dsn*+*hm*, см. В-1, п. 10в;

11-1 и 12-2. *lc* → *kp*, см. А-1, п. 9; 12-1 и 13-2. *dsk* → *ks*, см. Г-1, п. 11;

13-1. *wo* → *cs*, см. Б-4, п. 12а-1; 14-1. (*ak*+*Feak*) → *cs*+(*mo*+*kir*), см. Б-4, п. 13а-1;

14-2. $2(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-4, п. 13а-2;
 15-2. $(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$, см. Б-4, п. 13а-1;
 15-1 и 16-2. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. Б-4, п. 14а-1 и 15а-2.

Наиболее характерные ассоциации главных нормативных миналов подварианта Г-4 приведены в таблице 4, в ряду Д^{II}-щелочной.

Подвариант Г-5: $CaO > (FeO + MgO), f > 90$

4а. Весь *ilm* пересчитывается на *tn* (см. Б-4, п. 4г) и если снова $CaO > (FeO + MgO)$, а *f* остается >90 , то к *or*, *ac*, *dsn*, *dk*, *tn*, *mt*, *hm* образуем следующие насыщенные SiO₂ миналы, см. В-5, п. 4б-п. 4е.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8; 6. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7; 7. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9;
8. $wo+(fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$:
- 8-1. $wo > 4(fo+fa)$, см. Б-5, п. 10а-1;
- 8-2. $wo < 4(fo+fa)$, см. Б-5, п. 10а-2;
- 9-1а,б. $ac+Feak \rightarrow dsn+mt+wo$, см. В-3, п. 10в-10г;
- 9-2а,б. $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, см. В-1, п. 10а-10б; 9-1в-2в. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в;
- 10-1 и 10-2. $dsn \rightarrow ns$, см. В-1, п. 11;
- 11-1 и 11-2. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 9; 12-1 и 12-2. $dk \rightarrow ks$, см. Г-1, п. 11;
- 13-1. $wo \rightarrow cs$, см. Б-4, п. 12а-1;
- 13-2. $2(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-4, п. 12б;
- 14-1 и 14-2. $(ak+Feak) \rightarrow cs+(mo+kir)$, см. Б-4, п. 13а-1;
- 15-1 и 15-2. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. Б-4, п. 14а-1 и 15а-2.

Подвариант Г-6: $CaO = (FeO + MgO), f < 90$

Такое соотношение может получиться, когда вначале $CaO > (FeO + MgO)$, а после пересчета *ilm* на *tn* (см. Б-4, п. 4г) знак неравенства поменяется на обратный. В этом случае, после образования *or*, *dk*, *ac*, *dsn*, *mt*, *hm* (см. Г, п. 3н-п. 3т):

- 4а. распределяем CaO, TiO₂ и FeO между *tn*, *ilm* и *hd*, см. Б-6, п. 4г; если до этого присутствовал *hm*, то освободившееся МК FeO идет на образование *mt*, а также уточняется значение *f*;
- 4б. *di*- диопсид CaO·MgO·2SiO₂, из отавшихся МК CaO и MgO;
- 4в. *z*-циркон ZrO₂·SiO₂; 4г. *q*- кварц, остаток МК SiO₂.

Десиликация миналов в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8; 6. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7;
7. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9; 8. $(di+hd) \rightarrow (ak+Feak)+fo+fa$, см. Б-1, п. 10а;
- 9-а,б. $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, см. В-1, п. 10а-10б; 9-в. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в;
10. $dsn \rightarrow ns$, см. В-1, п. 11; 11. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11;

12. $dk \rightarrow ks$, см. Г-1, п. 11; 13. $(ak+Feak)+(fo+fa) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-1, п. 12а;
14. $(mo+kir) \rightarrow (per+wu)$, см. Б-1, п. 14а.

Подвариант Г-7: $CaO = (FeO + MgO), f > 90$

Данный подвариант сходен с подвариантами Б-7 и В-7, только здесь отсутствуют алюмосиликаты кальция и натрия.

После образования *or*, *dk*, *ac*, *dsn*, *mt*, *hm* (см. Г, п. 3н-п. 3г), сравниваются CaO с (FeO + MgO) и если будет $CaO > (FeO + MgO)$, то:

4а. *ilm* (см. п. 3л) пересчитывается на *tn* и FeO (см. Б-4, п. 4г); FeO прибавляется к FeO', а затем уточняются *f* и соотношение CaO с (FeO + MgO) и если последнее будет $CaO = (FeO + MgO)$, то далее образуются следующие насыщенные SiO₂ миналы для этих условий:

- 4б. *fo*- форстерит 2MgO·SiO₂, по МК MgO'; 4в. *fa*- фаялит 2FeO·SiO₂, по МК FeO';
- 4г. *wo*-волластонит CaO·SiO₂, по МК CaO'; 4д. *z*- циркон ZrO₂·SiO₂, по МК ZrO₂;
- 4е. *q*-кварц, остаток МК SiO₂.

Десиликация в этом подварианте производится в следующем порядке:

5. $z \rightarrow bd$, см. А-1, п. 8;
6. $tn \rightarrow pf$, см. Б-4, п. 7;
7. $or \rightarrow lc$, см. А-1, п. 9;
8. $wo+(fo+fa) \rightarrow (ak+Feak)$, см. Б-3, п. 10а;
- 9-а,б. $ac+fa \rightarrow dsn+mt$, см. В-1, п. 10а-10б; 9-в. $ac \rightarrow dsn+hm$, см. В-1, п. 10в;
10. $dsn \rightarrow ns$, см. В-1, п. 11; 11. $lc \rightarrow kp$, см. А-1, п. 11;
12. $dk \rightarrow ks$, см. Г-1, п. 11; 13. $(fo+fa)+(ak+Feak) \rightarrow (mo+kir)$, см. Б-1, п. 12а;
14. $(mo+kir) \rightarrow cs+(per+wu)$, см. Б-1, п. 14а.

После распределения всех компонентов (оксидов и отдельных элементов) по миналам, определяется число "молекул" (молей) каждого минала, что делается по молекулярному (или атомному) количеству любого оксида (или атома), входящего в формулу минала в виде одной молекулы (или атома). Например: число молей *or*- K₂O·Al₂O₃·6SiO₂ определяется по МК либо K₂O, либо по Al₂O₃; число молей *fo*-2MgO·SiO₂ определяется по МК SiO₂ и т.д. Если расчет производился с объединенными железомангнелевыми миналами, то их необходимо разделить пропорционально *f*. Полученные молекулярные количества миналов пересчитываются на массовые содержания путем умножения на соответствующие молекулярные веса (см. табл. 1). Следует помнить, что если при первоначальном расчете все молекулярные количества были умножены на 1000, то необходимо произвести обратную процедуру.

Сумма массовых содержаний всех миналов не должна различаться от исходных данных химического анализа больше чем на 0,5%.

Для классификационных целей миналы алюмосиликатов и силикатов, а также *per+wu*, приводятся к 100 мас.%. По полученным данным необ-

ходимо указать принадлежность изучаемой породы к отряду, группе и ряду [10,11].

Принадлежность к отряду определяется по $CaO/(FeO+MgO)$ отношению и типоморфным миналам: породы Fe-Mg-отряда имеют $CaO/(FeO+MgO) < 1$ и характеризуются присутствием следующих минальных ассоциаций- *ol+opx*, *ol+cpx*, *ol+mel* (с количественным преобладанием *ol*), *ol+mo* и *ol+(per+wu)*; породы Ca-отряда имеют $CaO/(FeO+MgO) > 1$ и следующие минальные ассоциации- *wo+cpx*, *wo+mel*, *wo+cs*, *mel+ol* (с количественным преобладанием *mel*), *cs+mo* и *cs+mo+(per+wu)*.

Принадлежность породы к группе определяется по типоморфным миналам-буферам: а) в Fe-Mg-отряде: I-*q*-нормативная группа- присутствие *q*; II-*ol*-норм.-*ol+opx*; III-*ne*-норм.- *ab+ne*; IV-*lc*-норм.- *or+lc*; V-*gh*-норм.- *an+gh*; VI-*ak*-норм.- *cpx+ mel +ol*; VII-*kp*-норм.- *lc+kp*; VIII-*mo*-норм.-*mel+ol+mo*; IX-(*per+wu*)-норм.- *ol+(per+wu)*; б) в Ca-отряде: I-*q*-норм.- *q*; II-*ne*-норм.- *ab+ne*; III- *lc*-норм.- *or+lc*; IV-*gh*-норм.- *an+gh*; V-*ak*-норм.- *cpx+ wo+mel*; VI-*kp*-норм.- *lc+kp*; VII-*cs*-норм.-*wo+cs*; VIII-*mo*-норм.-*mel+cs+mo*; IX-(*per+wu*)-норм.- *cs+mo+(per+wu)*.

Принадлежность породы к ряду определяется по значению K_{alk}^{Al} , что соответствует варианту пересчета: $K_{alk}^{Al} < 0$ - ряд пересыщенный глиноземом, или низкой щелочности; $K_{alk}^{Al} = 0-1.0$ -ряд нормальной щелочности и $K_{alk}^{Al} > 1.0$ - щелочной ряд. Кроме того, рассчитываются следующие дополнительные петрохимические характеристики и коэффициенты:

$$\text{SumFsp(или Feld)}=(or+ab+an) \text{ мас.}\%$$

$$\text{SumFem}=(di+hd+en+fs+fo+fa) \text{ мас.}\%$$

$$\text{SumFoid}=(ne+lc+kp) \text{ мас.}\%$$

$$\text{mel}=(gh+ak+Feak) \text{ мас.}\%$$

$$\text{wo+cpx}=(wo+ac+di+hd) \text{ мас.}\%$$

$$\text{cs+mo}=(cs+mo+kir) \text{ мас.}\%$$

$$pl=ab+an \text{ мас.}\%; n=\frac{Na_2O \times 100}{Na_2O + K_2O} \text{ мол.}\%$$

$$F_{at}=\frac{(FeO + 2Fe_2O_3) \times 100}{FeO + 2Fe_2O_3 + MgO} \text{ ат.}\%$$

$$F^\circ = \frac{2Fe_2O_3 \times 100}{FeO + 2Fe_2O_3} \text{ ат.}\%$$

$$f = \frac{hd \times 100}{hd + di} = \frac{fs \times 100}{fs + en} = \frac{fa \times 100}{fa + fo} = \frac{Feak \times 100}{Feak + ak}$$

$$\frac{kir \times 100}{kir + mo} = \frac{wu \times 100}{wu + per} \text{ мол.}\%$$

$$pl^{an} = \frac{an \times 100}{an + ab} \text{ мол.}\%; n_{cpx} = \frac{ac \times 100}{ac + di + hd} \text{ мол.}\%$$

$$mel^{gh} = \frac{gh \times 100}{gh + ak + Feak} \text{ мол.}\%$$

$$K_{fs} = \frac{or \times 100}{or + ab + an} \text{ мас.}\%$$

$$K_{pl} = \frac{(ab + an) \times 100}{ab + an + or} \text{ мас.}\%$$

$$K_{foid} = \frac{(ne + lc) \times 100}{ne + lc + or + an} \text{ мас.}\%$$

$$K_{ne} = \frac{ne \times 100}{ne + lc + kp} \text{ мас.}\%; K_{kp} = \frac{kp \times 100}{kp + ne} \text{ мас.}\%$$

$$K_{opx} = \frac{(en + fs) \times 100}{en + fs + di + hd} \text{ мас.}\%$$

$$K_{ol} = \frac{(fo + fa) \times 100}{fo + fa + en + fs + di + hd} \text{ мас.}\%$$

$$K_{cpx} = \frac{(di + hd) \times 100}{di + hd + fo + fa} \text{ мас.}\%$$

$$K_{mel} = \frac{(gh + ak + Feak) \times 100}{gh + ak + Feak + fo + fa} \text{ мас.}\%$$

$$K_{wo} = \frac{wo \times 100}{wo + di + hd} \text{ мас.}\%; K_{cs} = \frac{cs \times 100}{cs + wo} \text{ мас.}\%$$

$$K_{mo} = \frac{(mo + kir) \times 100}{mo + kir + cs} \text{ мас.}\%$$

$$K_{per} = \frac{(per + wu) \times 100}{per + wu + cs + mo + kir} \text{ мас.}\%$$

При необходимости могут быть использованы и другие соотношения миналов и минералов.

Для нанесения минального состава на треугольные классификационные диаграммы необходимо произвести следующее группирование миналов, приведенное к 100 мас. %:

Fe-Mg отряд, ряд А

$$\text{I-}q: X=q; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(en+fs+c);$$

$$\text{II-}ol: X=ol; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(en+fs+c);$$

$$\text{III-}ne: X=ne; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(ol+c);$$

$$\text{IV-}lc: X=foid(ne+lc); Y=fsp(an+or); Z=fem(ol+c);$$

$$\text{V-}gh: X=(an+gh); Y=foid(ne+lc); Z=fem(ol+c);$$

$$\text{VII-}kp: X=kp; Y=foid(ne+lc); Z=fem(ol+c+gh);$$

$$\text{IX-}per-wu: X=per+wu; Y=foid(ne+kp);$$

$$Z=fem(ol+c+gh);$$

Fe-Mg отряд, ряд В

$$\text{I-}q: X=q; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(di+hd+en+fs);$$

$$\text{II-}ol: X=ol; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(di+hd+en+fs);$$

$$\text{III-}ne: X=ne; Y=fsp(ab+an+or); Z=fem(di+hd+fo+fa);$$

$$\text{IV-}lc: X=ne+lc; Y=an+or; Z=fem(di+hd+fo+fa);$$

$$\text{V-}gh: X=an+gh; Y=lc+ne; Z=fem(di+hd+fo+fa);$$

$$\text{VI-}ak: X=mel(gh+ak+Feak); Y=lc+ne;$$

$$Z=fem(di+hd+fo+fa);$$

$$\text{VII-}kp: X=kp; Y=lc+ne; Z=fem(fo+fa+gh+ak+Feak);$$

$$\text{VIII-}mo: X=mo(mo+kir); Y=ne+kp;$$

$$Z=fem(fo+fa+ak+Feak);$$

$$\text{IX-}per-wu: X=per+wu; Y=ne+kp;$$

$Z=fem(fo+fa+mo+kir)$.

Fe-Mg отряд, ряд Д'

I-q: $X=q$; $Y=fsp(ab+or)$; $Z=fem(ac+di+hd+en+fs)$;
 II-ol: $X=ol$; $Y=fsp(ab+or)$; $Z=fem(ac+di+hd+en+fs)$;
 III-ne: $X=ne$; $Y=fsp(ab+or)$; $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 IV-lc: $X=ne+lc$; $Y=or$; $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 VI-ak: $X=mel(ak+Feak)$; $Y=ne+lc$;
 $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 VII-kp: $X=kp$; $Y=ne+lc$; $Z=fem(ns+fo+fa+ak+Feak)$;
 VIII-mo: $X=mo(mo+kir)$; $Y=ne+kp$;
 $Z=fem(ns+fo+fa+ak+Feak)$;
 IX-per-wu: $X=per+wu$; $Y=ne+kp$;
 $Z=fem(ns+fo+fa+mo+kir)$.

Fe-Mg отряд, ряд Д''

I-q: $X=q$; $Y=or$; $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 II-ol: $X=ol$; $Y=or$; $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 IV-lc: $X=lc$; $Y=or$; $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 VI-ak: $X=lc$; $Y=mel(ak+Feak)$;
 $Z=fem(ac+di+hd+fo+fa)$;
 VII-kp: $X=foid(lc+kp)$; $Y=mel(ak+Feak)$;
 $Z=fem(ns+fo+fa)$;
 VIII-mo: $X=mo+kir$; $Y=kp$;
 $Z=fem(ns+fo+fa+ak+Feak)$;

Ca-отряд, ряд В

I-q: $X=q$; $Y=fsp(ab+an+or)$; $Z=fem(wo+di+hd)$;
 II-ne: $X=ne$; $Y=fsp(ab+an+or)$; $Z=fem(wo+di+hd)$;
 III-lc: $X=foid(ne+lc)$; $Y=an+or$; $Z=fem(wo+di+hd)$;
 IV-gh: $X=an+gh$; $Y=foid(ne+lc)$; $Z=fem(wo+di+hd)$;
 V-ak: $X=mel(gh+ak+Feak)$; $Y=foid(ne+lc)$;
 $Z=fem(wo+di+hd)$;
 VI-kp: $X=kp$; $Y=foid(ne+lc)$; $Z=fem(wo+ak+Feak)$;
 VII-cs: $X=cs$; $Y=foid(ne+kp)$; $Z=fem(wo+ak+Feak)$;
 VIII-mo: $X=mo+kir$; $Y=foid(ne+kp)$;
 $Z=fem(cs+ak+Feak)$;
 IX-per-wu: $X=per+wu$; $Y=foid(ne+kp)$;
 $Z=fem(cs+mo+kir)$.

Ca-отряд, ряд Д'

I-q: $X=q$; $Y=fsp(ab+or)$; $Z=fem(ac+di+hd+wo)$;
 II-ne: $X=ne$; $Y=fsp(ab+or)$; $Z=fem(ac+di+hd+wo)$;
 III-lc: $X=foid(ne+lc)$; $Y=or$; $Z=fem(ac+di+hd+wo)$;
 V-ak: $X=mel(ak+Feak)$; $Y=foid(ne+lc)$;
 $Z=fem(ac+di+hd+wo)$;
 VI-kp: $X=kp$; $Y=foid(ne+lc)$;
 $Z=fem(ns+wo+ak+Feak)$;
 VII-cs: $X=cs$; $Y=foid(ne+kp)$;
 $Z=fem(ns+wo+ak+Feak)$;

VIII-mo: $X=mo(mo+kir)$; $Y=foid(ne+kp)$;

$Z=fem(ns+cs+ak+Feak)$;

IX-per-wu: $X=per+wu$; $Y=foid(ne+kp)$;

$Z=fem(ns+cs+mo+kir)$.

Ca-отряд, ряд Д''

I-q: $X=q$; $Y=or$; $X=fem(ac+di+hd+wo)$;
 III-lc: $X=lc$; $Y=or$; $X=fem(ac+di+hd+wo)$;
 V-ak: $X=mel(ak+Feak)$; $Y=lc$; $Z=fem(ac+di+hd+wo)$;
 VI-kp: $X=kp$; $Y=lc$; $Z=fem(ns+wo+ak+Feak)$;
 VII-cs: $X=cs$; $Y=kp$; $Z=fem(ns+wo+ak+Feak)$;
 VIII-mo: $X=mo(mo+kir)$; $Y=kp$;
 $Z=fem(ns+cs+ak+Feak)$;
 IX-per-wu: $X=per+wu$; $Y=kp$; $Z=fem(ns+cs+mo+kir)$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремова С.В., Стафеев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород. -М., 1985. -511с.
2. Заварицкий А.Н. Введение в петрохимию изверженных горных пород. -М.-Л., 1950. -400 с.
3. Четвериков С.Д. Руководство к петрохимическим пересчетам. -М., 1956. -246 с.
4. Cross W., Iddings J., Pirsson L., Washington H.A. A quantitative chemico-mineralogical classification of igneous rocks. -Chicago, 1903. -153p.
5. Магматические горные породы (классификация, номенклатура, петрография) / Ред. В.И.Гоньшакова. Ч.1, 2. -М., 1983. -768 с.
6. Хуан У.Т. Петрология. -М., 1965. -576 с.
7. Chayes F., Yoder H.S., jr. Some anomalies in the norms of extremely undersaturated lavas // Carnegie Inst. Wash. -70, 1970-71. -P.205-206.
8. Carmichael I.S.E., Nicholls J. and Smith A.L. Silica activity in igneous rocks // Am. Mineral. -1970. -V.55. -P.246-263.
9. Le Bas M.J. A norm for feldspatoidic and melilitic igneous rock // J. Geol. -1973. -V. 81. -№1. -P. 89-96.
10. Дубровский М.И. Физико-химические (P_{H_2O} -Т-Х) модели кристаллизации магматических оливиннормативных пород нормальной щелочности. -СПб., 1993. -224 с.
11. Дубровский М.И. Тренды дифференциации оливиннормативных магм нормальной щелочности и соответствующие им породные серии. -Апатиты, 1998. -326 с.
12. Дубровский М.И. Физико-химические основы классификации магматических горных пород // Проблемы генезиса магматических и метаморфических пород. -СПб., 1998. -С.28.