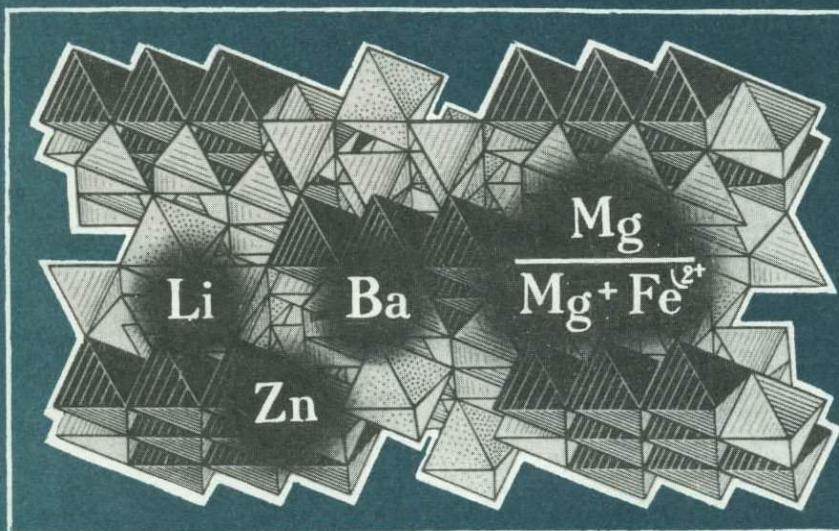


А. Ф. ЕФИМОВ

# Типохимизм породообразующих темноцветных минералов щелочных пород



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ  
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А. Ф. ЕФИМОВ

3985

# Типохимизм породообразующих темноцветных минералов щелочных пород



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"

Москва 1983



Ефимов А.Ф. Типохимизм породообразующих темноцветных минералов щелочных пород. М.: Наука, 1983 г.

Монография является первой сводкой химического состава пироксенов, амфиболов и магнезиально-железистых слюд из главных щелочных массивов и провинций СССР, а также ряда зарубежных щелочных комплексов. Рассматриваются вопросы эволюции состава породообразующих темноцветных минералов (ПТМ) в процессах становления щелочных массивов, а также их типохимические особенности в зависимости от формационной принадлежности материнских щелочных пород, предлагается вариант унифицированной классификации ПТМ щелочных пород, базирующийся на соотношениях химических компонентов, наиболее варьирующих в процессе эволюции.

Ил. 5. Табл. 98. Библиогр. 221 назв.

Ответственный редактор  
Е.И.Семенов

Анатолий Федорович Ефимов

## ТИПОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ТЕМНОЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

*Утверждено к печати*

*Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов*

Редактор Т.Б. Гришина. Художник Н. Соктоева

Художественный редактор М.В. Версоцкая. Технический редактор О.В. Аредова  
Корректор В.П. Крылова

ИБ № 27283

Подписано к печати 14.07.83. Т-16402. Формат 60 x 90 1/16. Бумага картографическая

Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,0. Усл. кр.-отт. 16,3. Уч.-изд. л. 20,7

Тираж 600 экз. Тип. зак. 469. Цена 2 р. 80к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"

199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Накопленный к настоящему времени огромный фактический материал по геологии, петрографии, минералогии и геохимии отдельных щелочных массивов позволил перейти к новому этапу обобщений полученных данных, выявлению общих закономерностей с целью выработки новых направлений исследования при комплексном изучении конкретных щелочных интрузий и связанных с ними месторождений. Выявленные закономерности могут иметь, кроме того, общепетрологическое и геохимическое значение.

В 1974 г. вышли в свет две коллективные монографии сотрудников Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов: "Главнейшие провинции и формации щелочных пород" под редакцией Л.С.Бородина [44] и "Минералогия щелочных массивов и их месторождений" под редакцией Е.И.Семенова [103], которые стали первыми современными сводками по геологии, геохимии и минералогии массивов, содержащих нефелиновые сиениты и связанных с ними месторождений.

В первой монографии изложены принципы формационного расчленения щелочных интрузий на основе пространственной (и предположительно генетической) связи щелочных пород с различными породами нормального ряда, а также на основе геохимической специализации щелочных пород. Во второй — предпринята попытка деления нефелиновых сиенитов на основе специфики состава породообразующих темноцветных минералов (ПТМ). Выделены эгириновые, авгитовые и диопсидовые нефелиновые сиениты.

Настоящая работа является логическим продолжением этих монографий — обобщением, но не на уровне геологического объекта массива, а на уровне минерала. Объектом нашего изучения являются три близкие по генетическим функциям, структуре и химизму группы минералов: пироксены, амфиболы и темные (железо-магниевого) слюды. Те или иные минералы из рассматриваемых трех групп являются главными первичными темноцветными минералами подавляющего большинства известных пород щелочного ряда, что делает возможным сопоставление химических составов и физических свойств ПТМ любых щелочных пород.

Выбор в качестве объекта исследования ПТМ был обусловлен тем, что для этих минералов характерны значительные вариации состава, вызываемые широкими изоморфными замещениями атомов, занимающих различные структурные положения.

Работы последних лет по изучению типохимизма нефелина и калиево-натровых полевых шпатов щелочных пород [23, 35, 36, 58, 126] показали, что эти минералы также могут с успехом быть использованы при генетическом расчленении щелочных пород. По сравнению с составами ПТМ, составы нефелина и полевых шпатов имеют меньшее количество переменных, что

ограничивает объем получаемой информации, но делает ее более однозначной для интерпретации.

В данной работе рассматривается лишь типохимизм ПТМ. Типоморфизм этих минералов, включая вариации их физических свойств, будет предметом дальнейших исследований. Автор ставил перед собой задачу разработать основу химической систематики ПТМ щелочных пород, которая, как и геохимия самих пород, базировалась бы на кларках элементов в минерале из данной группы пород.

В зависимости от детальности исследования группы пород могут быть различными по степени генерализации. Например: ультрабазиты, габброиды, гранитоиды и нефелиновые сиениты — при наиболее крупном подразделении, как это было сделано при выведении основных геохимических кларков А.П.Виноградовым [29], Тейлором [214] и др., нефелиновые сиениты ультраосновной-щелочной, калиевой щелочно-базальтоидной, щелочно-габброидной и щелочно-гранитоидной формаций — при более детальном уровне генерализации [44].

В основу настоящей работы положен обширный фактический материал, собранный как самим автором в результате 25-летних исследований в области минералогии, петрографии и геохимии щелочных массивов Южной Якутии, Северного Прибайкалья, Южного Урала, Средней Азии, Украины, Кузнецкого Алатау и Кольского полуострова и включающей описание ПТМ двадцати массивов, так и материал, предоставленный сотрудниками ИМГРЭ (А.А.Ганзеевым, Г.Н.Мухитдиновым, И.А.Нечаевой и др.) и Геологического института АН ТаджССР В.Д. Дусматовым, а также литературные данные по минералогии ПТМ в щелочных породах (всего 100 массивов).

Среди работ, содержащих наибольшее количество материала по химическим составам ПТМ конкретных щелочных интрузий, следует назвать монографии И.В.Буссен и А.С.Сахарова [26], а также Е.И.Семенова [129] по Ловозерскому массиву, Е.Е.Костылевой и др. по Хибинскому массиву [89], А.А.Кухаренко и др. [93], Л.П.Пожарицкой и В.С.Самойлова [113], а также Ю.Л.Капустина [73] по карбонатитоносным комплексам, А.А.Кухаренко и др. [94] по щелочным габброидам Карелии, Г.В.Андреева и др. [5] по щелочным массивам Забайкалья, Л.Л.Перчука по щелочным интрузиям Туркестан—Алайской провинции, Закавказской провинции и Дежневского массива [109, 110], И.А.Елисеева, В.Г.Кушева по щелочным породам Украины [53], работы Р.М.Яшиной [139, 140], В.А.Кононовой [81, 82, 83], а также В.И.Коваленко и Э.И.Пополитова [75] по щелочным интрузиям Тувы, Брегера и Барта и Дитриха [145, 151, 155] по щелочным интрузиям грабена Осло, Яги [221] по щелочному комплексу Южного Сахалина, Эриксона и Блейда [161] по карбонатитоносному массиву Магнет-Ков, Стефенсона [20] по щелочной интрузии Игалико, Хендерсена [174] по щелочным дайкам Марангудзи и др.

Знакомство с литературой, посвященной комплексному описанию щелочных интрузий, позволяет заметить, что многочисленные в ряде случаев химические и оптические характеристики ПТМ используются крайне незначительно для решения генетических вопросов. Химические анализы ПТМ в лучшем случае лишь пересчитываются на кристаллохимические формулы для идентификации минерального вида, вариации физических свойств чаще всего не обсуждаются.

Описательный характер изучения ПТМ, присущий большинству комплексных геолого-петрографо-минералогических работ, посвященных конкретным щелочным массивам, во многом объясняется отсутствием обобщенных средних характеристик ПТМ наиболее распространенных типов пород, невозможностью сравнения полученных данных с усредненными характеристиками.

Кроме большого количества указанных выше "фактурных" работ, существует обширная теоретическая литература, посвященная различным аспектам минералогии пироксенов, амфиболов и слюд. В настоящее время усиленно развивается несколько основных направлений изучения ПТМ.

Кристаллохимическое изучение пироксенов и амфиболов, предпринятое в последнее время Пепайком [198], Кларком [154], Гоузом [167], А.Л.Литвиным [98] и др., позволило произвести уточнение структуры ряда пироксенов и амфиболов, установить общие закономерности распределения катионов по кристаллохимическим позициям, выяснить зависимость изменения параметров элементарных ячеек от составов этих минералов и, в меньшей степени, от условий их образования.

Работами Рамберга [202], Вора [216], Л.Л.Перчука [109, 110] и др. были заложены основы теории распределения химических компонентов между сосуществующими минералами и сделана попытка использования законов распределения элементов между минералами для разработки минералогических термометров и барометров.

Большие успехи были достигнуты в области синтеза ПТМ и выяснения полей устойчивости этих минералов в РТ координатах. Наиболее значительными в этой области являются работы Эрнста [162].

Интересные результаты получены Н.Л.Добрецовым и др. [50] при статистической обработке химических анализов и оптических констант пироксенов из метаморфических пород различных фаций метаморфизма и из магматических пород различных формационных типов. Аналогичные исследования проведены Е.А.Костюк [88] для амфиболов метаморфических пород. Приведенные указанными авторами данные убедительно показали, что состав ПТМ закономерно изменяется в процессе прогрессивного метаморфизма, и что особенности их состава являются хорошим типоморфным признаком при отнесении породы к определенной ступени метаморфизма. Четкий типохимизм пироксенов был установлен и для различных базитовых формаций [91].

Настоящая работа проводилась в следующих основных направлениях: вычисление средних составов ПТМ (включая редкие и рассеянные элементы) нефелиновых сиенитов как единого целого и для каждого формационного типа; выявление типохимических особенностей ПТМ одноименных щелочных пород (ийолитов, нефелиновых сиенитов) из образований различных формационных типов; выявление эволюционных тенденций изменения состава ПТМ в сериях последовательно формирующихся пород и сопоставление характера этой эволюции в щелочных комплексах различных формационных типов, рассмотрение характера распределения главных химических компонентов и элементов-примесей между сосуществующими минералами. Одной из задач работы была унификация систематики пироксенов, амфиболов и слюд на базе основных, наиболее широко варьирующих в природе параметров их состава.

Особое внимание было уделено рассмотрению распределения редких элементов в ПТМ. Изучение распределения редких элементов в редкометалльных и аксессуарных минералах производится уже в течение ряда десятилетий, систематического же исследования распределения этих элементов в породообразующих минералах практически не производилось. Лишь в последние годы были опубликованы две монографии, посвященные этому вопросу: В.В.Ляховича — "Средние содержания редких элементов в минералах гранитоидов" [100] и сотрудников ИМГРЭ, в том числе и автора — "Средние содержания редких и рассеянных элементов в породообразующих и рудообразующих минералах" [60].

Основная масса редких элементов на протяжении большей части эндогенного процесса минералообразования рассеивается в породообразующих минералах, а собственно редкометалльные минералы играют чаще всего незначительную роль в общей геохимической истории редких элементов, так как появляются, как правило, на заключительных этапах формирования интрузий. Таким образом, необходимость выяснения характера распределения редких элементов в породообразующих минералах вполне очевидна.

В работе обсуждаются следующие аспекты распределения редких элементов в ПТМ: степень концентрации тех или иных редких элементов по сравнению с соответствующими кларками этих элементов в породе, корреляционные связи редких элементов с основными химическими компонентами и друг с другом, закономерности распределения редких элементов в сосуществующих ПТМ и ПТМ, образующихся на различных стадиях процесса минералообразования.

Темноцветные породообразующие минералы часто играют весьма существенную роль в балансе редких элементов месторождений. Поэтому изучение перераспределения этих элементов между породообразующими минералами и собственно редкометалльными фазами в процессе эволюции геологических объектов и изменение при этом таких важных в промышленном отношении индикаторных отношений, как, например, отношение тантала к ниобию или церия к иттрию, приобретают весьма актуальное значение.

Значительная концентрация ряда редких и рассеянных элементов в породообразующих темноцветных минералах и широкие вариации их содержания могут быть использованы в качестве информативных признаков, более информативных, чем содержание соответствующих элементов в породе, для формационного расчленения щелочных комплексов. Это служит основанием для использования ПТМ при минералогическом картировании для выявления мало контрастных аномалий.

Для проведения работ необходимо было выбрать оптимальный комплекс аналитических методов для определения элементов-примесей и выделить индикаторные элементы, содержания которых меняются наиболее интенсивно в зависимости от генетических условий формирования ПТМ. Выбор оптимального комплекса аналитических методов во многом определялся уровнем содержаний отдельных редких элементов, который также необходимо было установить.

Существует также еще одно важное направление в изучении ПТМ. Такие ПТМ, как флогопит, амфибол-асбесты и нефрит, являясь ценным сырьем, давно используются в промышленности. В последние годы темноцветные

минералы начинают выступать в новом для них качестве редкометального сырья и источника производства цветных металлов (например, цезиеносные слюды некоторых массивов, цинксодержащие арфведсониты Илимаусака). Предварительная оценка средних содержаний ряда редких и рассеянных элементов в ПТМ основных типов магматических пород показывает высокую степень концентрации в них ряда этих элементов.

Разработка таких новых прогрессивных методов технологии, как гидрометаллургия, кислотное декатионирование и др., несомненно расширит круг элементов, извлекаемых из породообразующих минералов. Мы можем с достаточной степенью уверенности говорить об этих минералах как о перспективном сырье на ряд металлов. В то же время систематическое изучение распределения элементов-примесей в ПТМ пород и руд различных формационных типов из различных провинций с целью выявления геологических объектов, породообразующие минералы которых характеризуются повышенными содержаниями редких элементов, практически только начинается.

Автор считает своим долгом принести глубокую благодарность З.Т.Катаевой, которой была выполнена огромная работа по анализу ПТМ: а также профессору Л.С.Бородину, А.А.Ганзееву и Е.Д.Осокину, сделавшим ряд ценных замечаний.

## Глава первая

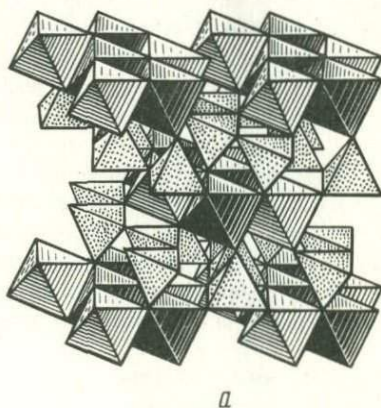
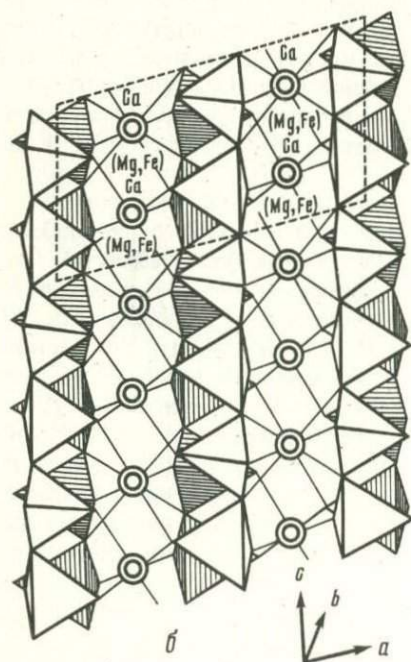
### ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ КРИСТАЛЛОХИМИИ ПИРОКСЕНОВ, АМФИБОЛОВ И СЛЮД И ОСНОВА ИХ СИСТЕМАТИКИ

Породообразующие темноцветные минералы являются сложными силикатами, в состав которых входит большое количество различных катионов. Главнейшими из них являются: магний, железо, алюминий, кальций, натрий и калий. В состав амфиболов и слюд, кроме кислорода, входят такие анионы, как фтор и гидроксильная группа и, реже, хлор.

Современные формулы этих минералов базируются на рентгеноструктурных исследованиях. Структуры минералов были расшифрованы почти одновременно в конце двадцатых годов: слюд — Могеном [189] (на примере флогопита); пироксенов — Уорреном и Бреггом [218] (на примере диопсида) и амфиболов — Уорреном [217] (на примере тремолита).

Характерной особенностью каждой из рассматриваемых структур является чередование кремнекислородных и катионных слоев (рис. 1–3). В пределах кремнекислородного слоя для пироксенов и амфиболов основным структурным элементом являются бесконечные в одном направлении  $\parallel$  С группировки кремнекислородных тетраэдров — цепочки у пироксенов и

Рис. 1. Структура диопсида  
а — аксонометрия [112], б — цепочки Si—O тетраэдров, связанные атомами Ca и Mg [12]



двоенные цепочки (ленты) у амфиболов. От пироксенов к амфиболам, а затем к слюдам увеличивается степень конденсации в кремнекислородном слое  $\parallel b$  путем связывания цепочек в ленты и лент в сетки. В пределах кремнекислородного слоя пироксенов и амфиболов каждая вторая цепочка, или лента, повернута на  $180^\circ$  по отношению к первой в результате чего к катионному слою одна из них направлена вершинами тетраэдров, а другая — основаниями. У слюд в каждой сетке все тетраэдры обращены своими вершинами в одну сторону, однако вместо простого чередования кремнекислородных и катионных слоев (как в пироксенах и амфиболах) в структуре слюд обособляются характерные трехслойные пакеты. В них обращенные навстречу друг другу вершинами сетки из кремнекислородных тетраэдров облекают с двух сторон слой мелких октаэдрических катионов, и такие пакеты чередуются со слоями крупных катионов.

Таким образом, вместо двухслойной периодичности (в амфиболах и пироксенах) в слюдах возникает четырехслойная периодичность с дифференцированным распределением крупных и мелких катионов.

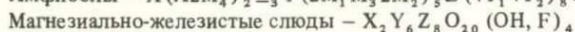
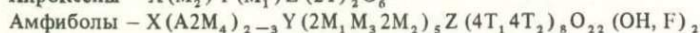
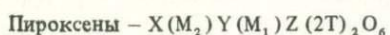
Пироксены характеризуются двумя независимыми катионными положениями:  $M_1$  — на стыке вершин тетраэдров и  $M_2$  — на стыке их оснований. В структуре амфиболов имеется пять независимых катионных позиций: А — приблизительно напротив центра шестерных колец кремнекислородной ленты,  $M_1$  и  $M_3$  — между кремнекислородными лентами, повернутыми друг к другу вершинами тетраэдров, и, наконец,  $M_2$  и  $M_4$  — на стыке четырех лент. В слюдах независимые катионные положения соответствуют двум различным катионным слоям.

В пироксенах и слюдах существует одна тетраэдрическая позиция. В амфиболах этих позиций две:  $T_1$  — на стыке гексагональных колец с тремя мостиковыми атомами кислорода и  $T_2$  — в тетраэдрах с двумя мостиковыми атомами кислорода.

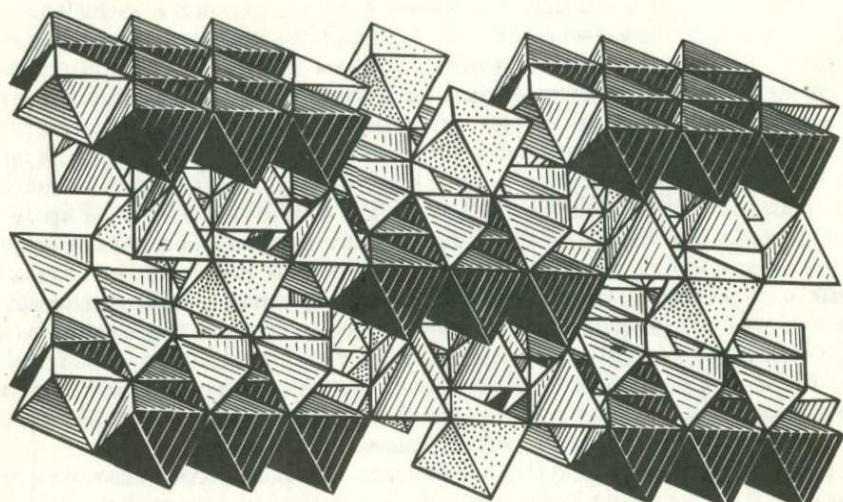
Для структур амфиболов и слюд характерно наличие не связанных с кремнекислородным слоем гидроксильных группировок, располагающихся вблизи катионного положения  $M_1$  в амфиболах и напротив центра гексагональных колец в плоскости мелких катионов в слюдах.

Во всех пироксенах катионы в позиции  $M_1$  имеют октаэдрическую координацию. Катионы, располагающиеся в позиции  $M_2$  в кальциевых и щелочных пироксенах, имеют восьмерную координацию, а в магниевых — искаженно октаэдрическую. В амфиболах катионы в позициях  $M_1$   $M_2$   $M_3$  характеризуются октаэдрической координацией; катионы в позиции  $M_4$  имеют координацию 6–8; а в позиции А — 10–12. В слюдах один катионный слой характеризуется октаэдрической координацией катионов, а в другом координация катионов — 12.

Структурные формулы ПТМ с учетом количеств атомов в каждом катионном положении имеют следующий вид:



Породообразующие гемноцветные минералы, и особенно амфиболы, имеют чрезвычайно сложный состав. Распределение большого количества элементов по значительному количеству катионных позиций при расчете



a

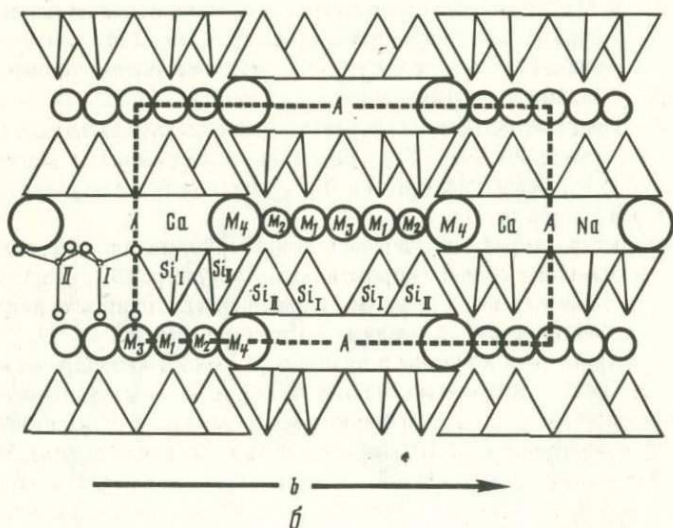


Рис. 2. Структура амфибола

a — аксонометрия [15], б — позиции катионов в структуре [135]

кристаллохимических формул является довольно трудной задачей, тем более что катионы могут располагаться как статистически по нескольким позициям, так и в той или иной степени упорядоченно, занимая предпочтительно определенную позицию.

В последние годы проведено рентгеноструктурное изучение ряда пироксенов и амфиболов с целью уточнений деталей катионного распределения для минералов различного состава. Эти данные [184, 192, 154, 198, 167, 98] в совокупности с результатами изучения катионного распределения метода-

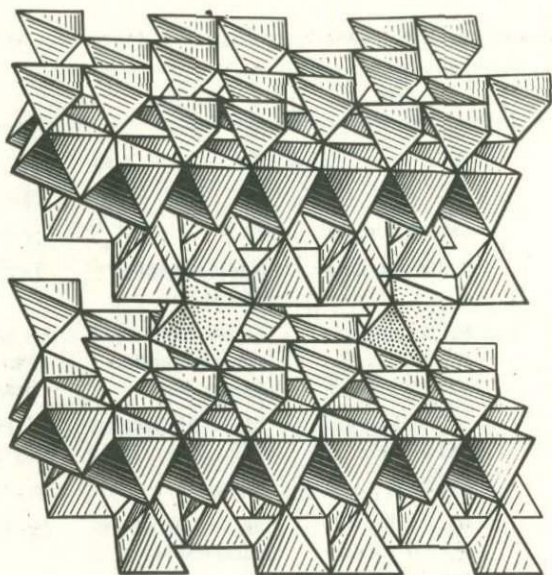


Рис. 3. Аксонометрия структуры флогопита [15]

ми мессбауэровской и оптической спектроскопии, ядерно-магнитного резонанса и инфракрасной спектроскопии позволяют достаточно уверенно представить основную схему катионного распределения в ПТМ (табл. 1, 2).

В пироксенах в положении  $M_1$  группируются мелкие катионы, а в положении  $M_2$  — более крупные. При этом следует учитывать, что распределение катионов по позициям зависит от конкретного набора катионов. В бескальциевых магнезиально-железистых пироксенах позиция  $M_2$  занята преимущественно двухвалентным железом, в то время как магний занимает позицию  $M_1$ ; в кальциево-магниевого и кальциево-железистых пироксенах — таких, как диопсид и геденбергит — позиция  $M_2$  заполняется атомами кальция, а магний и закисное железо находятся в позиции  $M_1$ ; для эгиринов показано, что окисное железо занимает позицию  $M_1$ . Возможность вхождения окисного железа в тетраэдрическую позицию предположительно обо-

Таблица 1

Распределение железа по позициям в структурах пироксенов

Пироксены	$M_1$	$M_2$	Метод определения	Источник
Ромбические	$Fe^{2+}$ отсутствует	$Fe^{2+}$	Оптическая спектроскопия	154
Пижонит	То же	$Fe^{2+}$	То же	154
Геденбергит	$0,88 Fe^{2+}$	$0,12 Fe^{2+}$	Мессбауэровская спектроскопия	28
Эгирин	$Fe^{3+}$	$Fe^{3+}$ отсутствует	То же	207

Таблица 2

Распределение катионов по позициям в структурах моноклинных амфиболов

Амфиболы	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Тремолит	Mn	Mn	Mn
"	Mg	Mg	Mg
Актинолит	Fe отсутствует	Fe	Fe отсутствует
"	0,39Mg; 0,61Fe	0,34Mg; 0,46Fe <sup>2+</sup> ; 0,04Al	0,42Mg; 0,58Fe
Роговая обманка	Fe, Mg, статистически с преобладанием Fe	Fe, Mg, статистически с преобладанием Mg	Fe, Mg статистически с преобладанием Fe
То же	271Fe; 557Mg; 96Ti; 76Al	271Fe; 557Mg; 96Ti; 76Al	271Fe; 557Mg; 96Ti; 76Al
Эденит	Mg; Fe	Fe; Mg	Mg; Fe
Керсутит	Mg, Fe, Ti с незначительным преобладанием Fe	Mg, Fe с преобладанием Mg	Mg, Fe, Ti
Калиевый рихтерит	57Fe; 907Mg; 34Ti; 2Mn	57Fe; 907Mg; 34Ti; 2Mn	57Fe; 907Mg; 34Ti; 2Mn
Крокидолит (рибекит)	Mg; Fe статистически	Mg, Fe статистически	Mg, Fe статистически
Рибекит	He опр.	He опр.	Fe, Al, Li статистически
"	Li	Zi отсутствует	Li
"	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
Арфведсонит	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>2+</sup>
Амфиболы	Mg, Fe статистически преобладанием Mg	Fe <sup>3+</sup> , Al	Mg, Fe статистически преобладанием Fe

сновывается увеличением параметра C<sub>0</sub> у эгиринов. В итоге можно наметить следующие закономерности распределения катионов в пироксенах: CaNa—M<sub>2</sub>; Fe<sup>2+</sup> Mn—M<sub>2</sub> или M<sub>1</sub>; Mg—M<sub>1</sub>; Fe<sup>3+</sup>—M<sub>1</sub> и возможно T; Al—M<sub>1</sub> и T; Si—T.

В амфиболах позиция А может быть либо вакантной, либо заполняться щелочными металлами — калием и, реже, натрием. Из всех позиций М обычно М<sub>4</sub> занята наиболее крупными катионами, позиции М<sub>1</sub> и М<sub>3</sub> — средними и, наконец, наиболее мелкие катионы группируются в позиции М<sub>2</sub>. Так же как в пироксенах, распределение катионов в амфиболах зависит от конкретного набора катионов. В магнезиально-железистых амфиболах наиболее крупные катионы — двухвалентное железо и марганец занимают позицию М<sub>4</sub>, более мелкие катионы — преимущественно магний — заполняют пози-

M <sub>4</sub>	A	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Источник
Mn отсутствует	He опр.	He опр.	He опр.	17
0,95Ca; 0,05Na	То же	То же	То же	217
0,19Ca; 0,03Na	"	"	"	220
0,88Ca; 0,08Mn; 0,04Na	"	"	"	192
He опр.	"	Al	Si	98
815Ca; 130Na; 55(Fe, Mg, Ti)	0,6Na; 0,4K	0,5Al; 0,5Si	Si	167
Ca	Na	0,25Al; 0,75Si	Si	
Ca, немного Mg	He опр.	Al	Si	192
50Ca; 50Na	То же	He опр.	He опр.	219
He опр.	"	То же	То же	192
То же	"	"	"	143
Li отсутствует	"	"	"	198
"	"	"	"	207
"	"	"	"	
Ca; Na	K; Na; H <sub>3</sub> O	"	"	162

ции М<sub>1</sub> и М<sub>3</sub>, а самые мелкие — алюминий, литий и окисное железо — располагаются преимущественно в позиции М<sub>2</sub>.

Для кальциевых и щелочных амфиболов наиболее крупными катионами являются натрий и кальций — именно они занимают позицию М<sub>4</sub> и лишь иногда эту позицию занимают в незначительном количестве окисное железо и марганец. Позиции М<sub>1</sub>, М<sub>3</sub> обычно заняты статистически распределенными закисным железом и магнием, а М<sub>2</sub> занята наиболее мелкими катионами — алюминием и окисным железом. Марганец либо статистически распределяется по позициям М<sub>1</sub>, М<sub>3</sub>, М<sub>4</sub>, либо преобладает в позиции М<sub>4</sub>; литий преимущественно входит в позиции М<sub>1</sub>, М<sub>3</sub>. Тетраэдрические позиции Т<sub>1</sub>, Т<sub>2</sub> в амфиболах четко индивидуальны, позиция Т<sub>1</sub> заполняется статистически распределенными кремнием и алюминием, Т<sub>2</sub> — кремнием. В обоб-

шенном виде закономерности распределения катионов по позициям можно выразить следующим образом: K—A: Na— $M_4$  или A; Ca— $M_4$ ; Fe— $M_1, M_3, M_4$ ; Mn— $M_1, M_3, M_4$ ; Mg— $M_1, M_3, M_2$ ; Fe<sup>3+</sup>— $M_2$  или  $T_1$ ; Ti— $M_1, M_3, M_2$ ; Al— $M_2$  или  $T_1$ ; Si— $T_1, T_2$ .

Следует специально остановиться на положении титана в структурах ПТМ. Среди геохимиков и минералогов широко укоренилось представление (основанное, по-видимому, на одинаковой валентности титана и кремния) об изоморфизме этих двух элементов. Однако расшифровки структур титановых силикатов давали основание кристаллохимикам утверждать, что титан входит в тетраэдрическую координацию при недостатке кремния лишь после алюминия и окисного железа [173].

Расшифровка структуры титанового амфибола-керсутита [184] дала прямое доказательство отсутствия изоморфизма титана с кремнием в амфиболах. Оказалось, что титан располагается в октаэдрических позициях  $M_1$  и  $M_3$ . Ю.А.Пятенко [117] объясняет это необычное положение титана необходимостью достижения локального баланса валентности. Дело в том, что в непосредственной близости с позициями  $M_1, M_3$  в амфиболах располагаются изолированных гидроксильные группировки. В керсутитах, как и в базальтических роговых обманках, место этих группировок занимают изолированные атомы кислорода, и именно поэтому для локальной компенсации валентности в позиции  $M_1$  и  $M_3$  должны входить такие высоковалентные ионы, как титан.

Кристаллохимические формулы ПТМ рассчитываются на базе их химических анализов с учетом теоретически возможного количества атомов в элементарной ячейке минерала.

Существуют два принципиально различных способа расчета: кислородный и катионный. Кислородный способ отвергается в последнее время рядом отечественных исследователей на том основании, что количество кислорода не определяется аналитиками, а лишь вычисляется опосредованно из суммы определяемых количественно окислов элементов.

Предложенный И.Д.Борнеман—Старынкевич [22] катионный способ расчета основывается на конкретных, определяемых химическим путем количествах окислов катионов. В то же время и этот способ расчета имеет ряд недостатков. Основной трудностью при расчете является выбор группы катионов, которая должна быть принята за основу. Принятие за основу кремния невозможно, так как в кремнекислородный радикал может входить, особенно в слюдах, то или иное количество алюминия, а иногда и окисного железа. Алюминий и окисное железо входят также в октаэдрическую позицию  $M_2$ .

Определенные затруднения возникают, если принять за основу расчета общее количество катионов в формуле минерала, так как, например, в амфиболах, это количество переменное (позиция А может быть вакантной или заполненной лишь частично). Похожее явление наблюдается, как это будет показано ниже, и для слюд. Учитывая эти факторы, И.Д.Борнеман—Старынкевич был предложен метод расчета, при котором за основу берется количество катионов кремнекислородного радикала и группы Y, т.е. 13 катионов для амфиболов и 14 катионов для магнезиально-железистых слюд. Этот метод расчета предполагает отсутствие изоморфизма между катионами группы X (калий, натрий, кальций) и группы Y (магний, марганец, же-

лезе). Естественно, что данный метод не применим для пироксенов, так как для этой группы минералов огромную роль играет изоморфизм именно кальция и железа.

В последнее время появился ряд фактов, свидетельствующих о том, что основной катион группы X — натрий может при определенных условиях входить в группу Y. Так, Д.К.Архипенко [9] были синтезированы слюды, для которых методом ИК-спектроскопии было показано, что часть натрия в их структуре находится в октаэдрическом слое. Шрейером [205] был синтезирован амфибол с четырьмя атомами натрия в формульной единице. Учитывая, что структура амфибола имеет только три позиции в группе X, остается предположить, что четвертый атом входит в позиции M<sub>1</sub> или M<sub>3</sub>, обычно занимаемые магнием и закисным железом. Автором, как будет показано ниже, был обнаружен целый ряд щелочных амфиболов, в которых количество катионов группы X больше трех [99].

Также неопределенно положение лития и марганца, которые, как показывают результаты прямых определений катионного распределения, могут находиться как в группе X, так и в группе Y.

Учитывая все это, автор при расчете считал невозможным базироваться на каком-либо одном методе. Все анализы пересчитывались и по кислородному, и по катионному методу. При этом за основу расчета по катионному методу бралось для амфиболов 13, для слюд 14 катионов, а для пироксенов 4 катиона, т.е. их общее количество. При расчетах по кислородному методу для амфиболов и слюд за основу бралось 24 атома кислорода, а для пироксенов 6 атомов кислорода.

Формирование кристаллохимических формул начиналось с кремнекислородных радикалов. Недостающее количество кремния дополнялось алюминием, а при недостаточном количестве алюминия добавлялось еще и трехвалентное железо; и только если количество окисного железа оказывалось недостаточным для заполнения всех позиций T, использовалось необходимое количество титана.

При недостатке катионов в группе X для пироксенов в эту группу вводилось железо, а при недостаточности его количества — магний. При избытке катионов группы X результаты анализа амфиболов и слюд пересчитывались на 16 катионов и часть натрия вводилась в группу Y.

Минералогическая терминология для ПТМ употребляется в работах, посвященных геолого-петрографическому и минералогическому описанию щелочных пород неоднозначна. Например, термин "лепидомелан", применяется и для высокожелезистых слюд, содержащих большое количество окисного железа, и для существенно титанистых слюд. Авгитами часто называются пироксены, имеющие "авгитовую" оптическую характеристику (низкое двупреломление, фиолетовые оттенки окраски), не зависимо от особенностей их химического состава. Большинство современных исследователей, однако, в этот термин вкладывает определенный химический смысл, считая авгитами либо пироксены, в которых в группе X наряду с кальцием находится и часть железа [200], либо существенно алюминиевые пироксены. Термин "салит" употребляется и для обозначения пироксенов промежуточного состава между диопсидом и геденбергитом, и для щелочных разностей пироксенов. Чаще всего "роговыми обманками" называются кальциевые амфиболы с незаполненной катионной позицией А, содер-

жашие 2 атома алюминия в тетраэдрической группе, но в ряде случаев термин "роговая обманка" применяется и как собирательное понятие, подменяя групповое название "амфибол".

Сам принцип терминологии также остается неразработанным. Пироксены, промежуточные по составу между диопсидом и геденбергитом, называются, например, и салитами, и диопсид-геденбергитами. Полущелочные пироксены — салитами и Na-диопсидами, и эгирин-авгитами, и эгирин-диопсидами. Естественно, при такой терминологической путанице читателю чрезвычайно трудно составить представление об истинном химическом составе минералов.

Именно это побудило автора предварить описание химических составов ПТМ щелочных пород кратким разбором современных классификаций этих групп минералов и изложить принципы, на которых, по его мнению, могут основываться унифицированные систематики ПТМ.

Современные классификации пироксенов, амфиболов и слюд основываются на двух принципах: структурном и химическом. На структурной основе в группах пироксенов и амфиболов выделяются по две крупные подгруппы: ромбические и моноклинные, а в группе слюд — диоктаэдрические и триоктаэдрические.

В группе пироксенов на той же основе из моноклинной подгруппы с 2/c выделяется омфацит, который характеризуется значительным упорядочением катионов в результате чего позиции  $M_1$  и  $M_2$  расщепляются каждая на четыре и пространственная группа меняется на  $P2$ .

В группе слюд на основании структурного анализа, выделяются полиморфные модификации (1M, 2M, 3T и т.д.); однако они не стали классификационной основой, так как большинство железисто-магнезиальных слюд чаще всего встречается в виде одной модификации 1M. Другие модификации являются редкими и характеризуют скорее особые генетические условия, чем изменение состава слюд.

Предложенная для обсуждения комиссии ИМА классификация пироксенов Росса и др. основывается на известном треугольнике Полдерваата и Хесса [200] с волластонитовым, энстатитовым и ферросилитовым миналами в вершинах. Моноклинные пироксены, содержащие в позиции  $M_2$  кальций, железо и магний с отношением  $Ca/(Ca + Fe + Mg) = 90-40\%$ , называются авгитами; пироксены со значением этого отношения =  $40-14\%$ , относятся к пижонитам. В дополнительном классификационном треугольнике дается разъяснение по номенклатуре щелочных пироксенов. Чистые щелочные члены  $Na/(Na + Ca) > 75\%$  названы акмитами, пироксены со значением этого отношения  $< 25\%$  — диопсидами или геденбергитами, а промежуточные — с отношением  $25-75\%$  — эгиринами.

Иной подход к классификации пироксенов мы видим в варианте, предложенном для ИМА И.В. Гинзбург [43], которая за основу выделения минеральных видов в группе берет наличие разрывов смесимости в изоморфных рядах. Неудобством этой классификации, по нашему мнению, является то, что наиболее распространенные в природе, и в том числе в щелочных породах, пироксены семейства диопсида попадают в одну классификационную ячейку и терминологически не подразделяются. Кроме того, разрывы смесимости в ряде случаев недостаточно четко доказаны. Они могут быть объяснены недостатком фактического материала или (при эксперименталь-

ном подтверждении) неприменимостью условий эксперимента ко всей гамме процессов минералообразования.

Предложенная для обсуждения комиссии ИМА [188] классификация амфиболов построена по иному принципу, чем классификация пироксенов, ее графическое выражение представляет собой куб, на одной из координатных осей которого откладывается щелочность (количество натрия в позиции  $M_4$ ), на другой — количество щелочей в позиции А (заполненность позиции А) и, наконец, на третьей — количество кремния (которое обычно обратно пропорционально количеству алюминия в тетраэдрической позиции). Эта классификация значительно более детальна по сравнению с классификацией пироксенов и позволяет терминологически охарактеризовать почти все амфиболы, встречающиеся в тех или иных породах.

Для слюд не существует единой современной классификации. Для магнезиально-железистых диоктаэдрических слюд Диром и др. [48] предложена прямоугольная плоскостная диаграмма, где одной из координат является железистость, а другой — количество алюминия в тетраэдрической позиции. Д.П.Сердюченко [131] развивал идею непрерывности ряда слюд от триоктаэдрических до диоктаэдрических при ведущем гетеровалентном изоморфизме  $MgSi \cdot 2Al$ .

Основные требования к классификациям ПТМ, по мнению автора, могут быть сформулированы следующим образом.

Выделение классифицированных единиц должно производиться в соответствии с особенностями кристаллической структуры (особенностями размещения катионов по позициям). Желательно, чтобы большинство выделенных классификационных единиц соответствовало средним составам минералов этой группы в наиболее распространенных типах пород. За основные классификационные координаты следует принимать изменчивость наиболее существенных в генетическом отношении химических компонентов. Основные классификационные координаты желательно иметь едиными для всех трех групп порообразующих темноцветных минералов. Выделенные классификационные единицы по возможности должны быть четко индивидуализированы по физическим свойствам, что позволило бы проводить их надежную диагностику.

Для пироксенов существует три потенциальные классификационные координаты: тип катиона в позиции  $M_2$ ; тип катиона в позиции  $M_1$ ; количество алюминия в тетраэдрической позиции.

Для амфиболов количество таких потенциальных классификационных координат увеличивается, так как число независимых кристаллографических позиций в их структуре по крайней мере вдвое больше, чем у пироксенов. В соответствии с одним из изложенных выше принципов при таких условиях важно выбрать такие основные координаты, вдоль которых происходят ведущие изменения составов ПТМ в ходе основных процессов петрогенеза (например, регионального метаморфизма и эволюции магматических очагов).

В процессе прогрессивного метаморфизма, как показано [88], в амфиболох увеличивается количество алюминия и щелочей. Соотношение магния и железа, как правило, меняется незакономерно.

В процессе эволюции магматических очагов происходят закономерные изменения составов пироксенов и амфиболов, иногда значительно варьи-

Таблица 3

Систематика пироксенов щелочных пород\*

$M_2$	$M_1$	$Al^{IV} < 0,25$	$Al^{IV} > 0,25$
Ca, Fe	—	Малоалюминиевый авгит	Авгит
$Fe^{2+} > 0,10$			
Ca	$M > 75$	Диопсид	Магнезиофассаит
$Fe^{2+} < 0,10$	$M 75-25$	Салит	
$Na < 0,25$	$M < 25$	Геденбергит	Феррофассаит
Ca, Na	$M > 50$	Магнезиоэгрин	—
$Na 0,25-0,75$	$M < 50$	Ферроэгрин	—
Na	—	Акмит	
$Na > 0,75$			

\*  $M = \frac{Mg}{Mg + Fe^{2+}}$ .

рующие в зависимости от типа магмы, но в самом общем случае характеризующиеся повышением железистости, сменой магния кальцием и уменьшением количества алюминия.

Таким образом, основными классификационными координатами, видимому, должны являться тип катионов в группе X (в  $M_2$  для пироксенов и  $A + M_4$  для амфиболов) и количество, а также координационный тип алюминия.

Проанализировав современные классификации отдельных групп ПТМ, можно констатировать, что наиболее часто используемыми классификационными признаками для этих групп минералов являются: тип катионов в группе X кристаллохимической формулы, количество алюминия в тетраэдрической группе и железистость. Недостатком существующих классификаций пироксенов, амфиболов и слюд, на наш взгляд, является отсутствие единого принципа их построения.

Автором предлагается для обсуждения единая классификационная система всех трех групп ПТМ, базирующаяся в основном на существующих современных классификациях пироксенов, амфиболов и слюд. Предлагая единую классификационную систему, автор старался сохранить исторически сложившуюся терминологию минералов этих групп.

Для каждой минеральной группы предлагается классификационная таблица (табл. 3–5), в которой одной из координат является количество алюминия в тетраэдрической позиции, а другой — тип катионов в группе X кристаллохимической формулы. Затем выделяются магнезиальные и железистые члены рядов. Дополнительным классификационным признаком является вхождение в группу Y таких малораспространенных катионов, как титан, марганец и литий.

Для пироксенов выделяются безалюминиевые и алюминиевые (в тетраэдрической позиции) члены, причем алюминиевыми считаются пироксены,

Таблица 4

## Систематика амфиболов щелочных пород

A	M <sub>4</sub>	M	Дополнительные катионы	Al <sup>IV</sup> < 0,5	Al <sup>IV</sup> 0,5–1,5	Al <sup>IV</sup> > 1,5
Вакантная		> 50		Тремолит	Магнезиальная роговая обманка	
	Ca	< 50		Актинолит		Железистая роговая обманка
		> 50		Магнезио-рибекит		
	Na	< 50	Mn > 0,5	Рибекит Манганрибекит		
Заполненная		> 50				Магнезиогастингсит Керсутит
	Ca		Ti > 0,5			Гастингсит
		> 50		Рихтерит	Магнезио-катофорит	Магнезиотарамит
			K > 1	Калио-рихтерит		
	Ca Na		Mn > 0,5	Манганрихтерит		
		< 50			Катофорит	Тарамит
		> 50		Магнезио-арфведсонит		
			Al <sup>VI</sup> > 0,5 Mn > 0,5	Эккерманит Манганэккерманит		
	Na	< 50		Арфведсонит		
			Mn > 0,5	Манганарфведсонит		

в которых количество алюминия достигает одного атома (при расчете на 8 атомов кремний + алюминий, по аналогии с амфиболами и слюдами). По характеру заполнения группы X выделяются магниевые Ca/Ca + Fe + Mg < 14%, кальциево-магниевые (14–40%), магниево-кальциевые (40–90%), кальциевые (> 90%), Na/Na + Ca < 25%, натриево-кальциевые, полущелочные (Na/Na + Ca = 25–75%) и щелочные [Na/Na + Ca > 75%].

Для амфиболов в отличие от пироксенов представляется возможным ввести дополнительную координату – заполненность позиции А щелочами. Все амфиболы делятся соответственно с этим на двухкатионные (в группе X) и трехкатионные. Дальнейшее деление по характеру катионов

Таблица 5

## Систематика темных слюд щелочных пород

М	Дополнительные катионы	$Al^{IV} < 2,5$	$Al^{IV} < 2,5$
> 75	$Fe^{IV} > 0,5$ $Ti > 0,5$ $Ba > 0,5$	<b>Флогопит</b> Тетраферрифлогопит Титанофлогопит Барнофлогопит	<b>Истонит</b>
75-25	$Fe^{3+} > 1$ $Ti > 0,5$ $Ba > 0,5$ $Ba > 0,5$ $Ti > 0,5$	<b>Биотит</b>	<b>Алюмобиотит</b> Оксибиотит Титанобиотит Барнобиотит Барийтитанобиотит
< 25	$Fe^{3+} > 1$ $Ti > 0,5$	<b>Аннит</b>	<b>Сидерофиллит</b> Лепидомелан Титанолепидомелан

в группе X в основном сходно с делением пироксенов, но для амфиболов, по-видимому, отсутствуют кальциево-магниево-разности (магний в  $M_4$ ).

По количеству алюминия в амфиболах выделены три группы, представители которых в тетраэдрической позиции соответственно содержат: 0-0,5%, 0,5-1,5 и более 1,5 атомов алюминия.

Основным отличием предложенной систематики от классификации Лика [188] является выделение в отдельную группу амфиболов с октаэдрическим алюминием, образующихся в специфических генетических условиях высоких давлений и умеренных температур. Значительным уточнением классификации Лика служит выделение марганцевых аналогов практически всех безалюминиевых амфиболов.

На наш взгляд, плоскостной характер классификационной модели является более наглядным и удобным для определения типа амфибола по его вычисленной формуле, так как последовательность выделенных граф в таблице соответствует порядку определения минерала по рассчитанному химическому анализу.

Для слюд по количеству алюминия в тетраэдрических позициях выделяются три группы соответственно с: 0-1,5; 1,5-2,5 и 2,5-3 атомами алюминия. Группа X слюд преимущественно заполняется калием; выделяются лишь малораспространенные бариевые разности. При дальнейшем расчленении значительную роль наряду с закисным железом и магнием играют октаэдрический алюминий, литий и окисное железо.

Остановимся несколько подробнее на номенклатуре минералов, встречающихся в интрузивных комплексах, содержащих щелочные породы. Под авгитами мы, вслед за Полдерваатом и Хессом, будем подразумевать только магнезиально-железистые пироксены с недостатком кальция в позиции  $M_2$  и заполнением этой позиции частью закисного железа. Большинство агитов содержат один атом Al на 8 атомов Si + Al. Безалюминиевые авгиты выделяются в отдельную классификационную единицу.

В рядах кальциево-щелочных пироксенов выделяются кальциевые пироксены: диопсид, геденбергит и йохансенит, содержащие менее 25% Na; полущелочные — эгирин (25—75%) и щелочные — акмит (75%). При сопоставлении составов пироксенов с целью выявления типохимизма в различных генетических типах щелочных пород представляется недостаточным это трехчленное деление и предлагается, по аналогии с номером плагиоклазов, после термина "эгирин" писать цифрами щелочность —  $N = Na/Na + Ca$  (в %). Также целесообразным кажется вводить в название указатель преобладающего минерала кальциевого пироксена, присутствующего в эгирине. Для этого либо вводить в название приставку магнизо- или ферро-, либо указывать его магнизиальность  $M = Mg/Mg + Fe^{2+}$  (в %). Таким образом, состав эгирина может быть выражен терминологически, например, как магнизо-эгирин N 30, или эгирин N 30M40. Употребление термина "эгирин-авгит" нецелесообразно, поскольку полущелочные пироксены-эгирины никогда не содержат магния в группе X.

В группе амфиболов следует обратить внимание на употребление термина "роговая обманка". Этот термин нами применяется, в соответствии с рекомендациями IMA, для обозначения кальциевых амфиболов с незаполненной позицией А, содержащих один атом алюминия, в тетраэдрической позиции, и не употребляется в качестве синонима термина "амфибол".

Термин "арфведсонит" нами употребляется для щелочных амфиболов, в которых позиция А заполнена, в отличие от рибекита, в котором эта позиция остается вакантной.

Термин "биотит" может применяться как собирательное понятие к наиболее распространенным магнизиально-железистым слюдам, занимающим по составу промежуточное положение в четверной диаграмме флогопит — аннит — истонит — сидерофиллит. При выявлении типохимизма слюд, вероятно, удобно пользоваться более подробной их характеристикой, прибавляя к наименованию коэффициент их магнизиальности в процентах: например, флогопит M80 или биотит M40. Лепидомеланами нами будут называться существенно-железистые слюды с высоким (> 1 атома) содержанием окисного железа.

## Глава вторая

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПТМ В ПОРОДАХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ, СОДЕРЖАЩИХ НЕФЕЛИНОВЫЕ СИЕНИТЫ

В этой главе приводятся все известные автору данные по химическим составам ПТМ в щелочных породах. Формационное деление щелочных комплексов в настоящее время не является общепризнанным и поэтому щелочные массивы группируются в тексте по географическому признаку. В главе приводятся лишь самые общие геологические данные. Более подробные сведения можно найти в оригинальных описаниях, ссылки на которые для каждого массива даны в начале его описания, а также в обобщающих монографиях, посвященных щелочным породам [44, 103, 138]. Приведение в этой главе каких-либо деталей геологического строения или

петрологических особенностей объясняется необходимостью обсуждения их в последующих главах.

Сводные таблицы анализов ПТМ по каждому массиву включают также анализы этих минералов и их нормальных (щелочных) пород, входящих в состав единого магматического комплекса, что объясняется желанием автора проследить основные эволюционные тенденции составов ПТМ в магматических сериях, содержащих щелочные породы.

Так как количество материала по различным массивам неодинаково из-за различной степени их изученности, то для одних массивов приводятся все известные анализы, а для других средние составы ПТМ для данного типа породы (при этом в скобках приводится число анализов, вошедших в подсчет). Усреднялись лишь те составы, где колебания содержания компонентов носили ограниченный характер. При резко различных составах в пределах одной породы анализа не усреднялись и производилась проверка состава. Анализы пересчитывались на кристаллохимические формулы минералов, по методике, изложенной в гл. 1. Все дальнейшие приводимые нами сопоставления составов даны на основе этих формул. В настоящей главе обсуждаются эволюционные тенденции составов ПТМ в конкретных магматических сериях, изменения их составов в разрезах стратифицированных толщ (скрытая расслоенность). При наличии двух сосуществующих ПТМ в одной породе рассматриваются вопросы распределения основных компонентов между этими минералами.

При сопоставлении составов ПТМ чрезвычайно важно базироваться на составах главных первичных ПТМ пород. Поэтому для достаточно изученных массивов приводятся данные об относительной распространенности каждого ПТМ в основных типах пород.

Описания ПТМ из щелочных массивов начинаются с массивов крупнейших щелочных провинций СССР, а затем приводятся данные по составам ПТМ из массивов основных зарубежных щелочных провинций.

### КАЛЕРО-КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ

В пределах провинции большинством авторов выделяются разновозрастные группы щелочных массивов: протерозойская (массивы: Елетьозерский, Гремяха-Вырмес, Сахариокский), нижнепалеозойская (массивы: Ковдорский, Африкандский, Вуориярви, Салмагорский и др.) и верхнепалеозойская (массивы: Хибинский, Ловозерский). При описании принята возрастная последовательность.

#### Сахариокский массив [13]

Массив представляет собой крутопадающее дайкоподобное тело (мощностью до 2 км), залегающее в нормальных и щелочных гнейсо-гранитах, висячий бок которого сложен нефелиновыми, а лежащий — щелочными сиенитами. Переход от щелочных сиенитов постепенный по мере появления нефелина и увеличения его количества. Среди нефелиновых сиенитов выделяются амфиболовые и биотитовые разновидности, соединенные также постепенными переходами.

Учитывая тот факт, что некоторыми исследователями нефелиновые сиениты

Таблица 6

Химический состав ПТМ Сахариокского массива [1, 3]

Компоненты	Пироксен	Амфибол	Слюда		
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	51,49	37,07	32,95	36,45	35,69
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,72	2,12	2,80	3,51
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,01	11,53	14,47	12,87	12,62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,18	11,48	5,95	7,52	4,14
FeO	2,83	21,17	29,39	22,82	25,62
MnO	0,58	1,45	1,11	0,80	4,21
MgO	2,77	8,20	0,56	0,22	0,44
Na <sub>2</sub> O	11,04	3,84	0,66	1,39	0,26
K <sub>2</sub> O	0,16	1,78	8,41	8,78	9,32
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,48	1,56	2,69	2,08	1,61
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	0,06	—	0,10
F	0,08	0,26	0,47	1,15	0,93
Сумма	99,80	99,06	99,95	99,99	99,61
Si	1,99	6,00	5,40	5,98	5,78
Al <sup>IV</sup>	0,01	2,00	2,60	2,02	2,22
Al <sup>VI</sup>	0,17	0,24	0,34	0,46	0,12
Ti	0,01	0,09	0,24	0,34	0,42
Fe <sup>3+</sup>	0,73	1,40	1,02	1,54	0,84
Fe <sup>2+</sup>	0,09	2,88	4,06	3,10	3,46
Mn	0,02	0,04	0,08	0,32	0,10
Mg	0,02	0,35	0,26	0,20	1,00
Ca	0,12	1,41	0,10	0,04	0,08
K	0,01	0,40	1,68	1,82	1,96
Na	0,83	1,19	0,06	0,20	0,08
ОН	—	1,64	3,12	2,00	2,62
F	—	0,13	0,24	0,58	0,48
	Акмит	Тарамит (M11)	Сидеро- филлит	Лепидо- мелан	Аннит

1, 4 — из нефелиновых сиенитов; 2, 3 — из щелочных сиенитов; 5 — из меланократовых нефелиновых сиенитов.

ниты рассматриваются как самостоятельная фаза, более поздняя, чем щелочные сиениты, можно провести сопоставление состава слюд, присутствующих в обеих фазах (табл. 6). Такое сопоставление показывает, что слюды нефелиновых сиенитов богаче щелочами и содержат меньше кальция. Они относительно обогащены марганцем и литием, титаном и фтором, степень окисленности железа в них выше при ничтожном и приблизительно равном содержании магния. Количество алюминия в слюдах нефелиновых сиенитов существенно ниже, чем в слюдах щелочных сиенитов.

Если щелочные и нефелиновые сиениты являются однофазными образованиями и представляют собой лишь различные фации одной интрузии, от-

меченные выше закономерности изменения состава слюд можно считать следствием различной щелочности материнских пород.

Для щелочных сиенитов возможно сопоставление составов сосуществующих амфиболов и слюд, а для нефелиновых сиенитов — пироксенов и слюд. Сравнение магнезиальности минералов первой пары показывает, что магнезиальность амфиболов несколько выше магнезиальности слюд, а их титанистость и марганцевистость ниже, чем соответствующие параметры для слюд. Во второй паре магнезиальность пироксенов ниже магнезиальности слюд, их титанистость и марганцевистость также ниже соответствующих характеристик для слюд.

Сравнение состава слюд лейкократовых и меланократовых разностей нефелиновых сиенитов показывает, что слюды меланократовых нефелиновых сиенитов обогащены титаном и магнием, а лейкократовых — литием, марганцем, фтором и алюминием. Степень окисленности железа выше в слюдах лейкократовых разностей.

### Ельтьозерский массив [94]

Массив имеет эллипсоидальную форму и концентрически-зональное строение: центральную часть слагают нефелиновые сиениты, далее следует расчлененная толща плагиоклазовых рудных габбро и рудных перидотитов, в верхней части которой встречаются ортоклазовые габбро. Периферическая, наиболее мощная, зона представлена габброидами. Эссекситы залегают в виде маломощных пластообразных и линзовидных тел среди рудных габбро. Возрастные взаимоотношения пород определяются наличием многочисленных ксенолитов габброидов в нефелиновых сиенитах, ксенолитов мелкозернистых габбро в крупнозернистых и ксенолитов пироксенитов во всех разностях габброидов.

Для крупнозернистых габбро характерны два главных первичных ПТМ — пироксен и амфибол, среди которых пироксен преобладает. Амфибол не только образует собственные призматические кристаллы, но и в ряде случаев развивается по пироксену.

В рудных габбро главным первичным ПТМ является пироксен. Амфибол и слюда встречаются в небольших количествах; эти минералы как образуют самостоятельные выделения, так и замещают пироксен. В основной массе эссекситов главным первичным ПТМ также является пироксен и лишь в некоторых разностях — слюда. И, наконец, в нефелиновых сиенитах главными ПТМ являются пироксен и амфибол. Наблюдения в шлифах показывают, что амфибол развивается с замещением пироксена. Биотит, напротив, образует обособленные кристаллы, но его количество незначительно.

Следовательно, для всех типов пород главным первичным породообразующим темноцветным минералом является пироксен. Именно сопоставление состава пироксенов может быть принято за основу при выявлении эволюционных тенденций изменения состава ПТМ. Анализ эволюционной направленности изменения состава пироксенов (табл. 7) показывает, что от габброидов до нефелиновых сиенитов наиболее резко уменьшается магнезиальность пироксенов и менее резко — алюминеиальность и титанистость. Характер изменения состава пироксенов в пределах базитовой серии про-

явлен менее четко, алюминированность и титанистость незначительно растут от пироксенитов к габброидам.

Близко-одновременно формирующейся парой ПТМ можно считать лишь пироксен и амфибол крупнозернистых габбро. Сопоставление составов этих минералов показывает, что магнизиальность пироксена выше магнизиальности амфибола. Титанистость пироксена незначительно выше титанистости амфибола.

Сравнение эволюционных тенденций, выявленных по составам пироксенов, с тенденциями изменения состав слюд, которые не являются главными первичными ПТМ пород, показало, что изменения составов обеих групп минералов аналогично. Дополнительно к тем элементам, изменения содержания которых рассматривались для пироксенов, для слюд может быть рассмотрено изменение количество фтора и бария. Содержание фтора закономерно растет от слюд габбро, через ассекситы к слюдам нефелиновых сиенитов, а количество бария, напротив, уменьшается.

Необходимо обратить внимание на то, что характерная "титанавгитовая" оптика, присущая пироксенам из габброидов массива, связана с вхождением в структуру лишь 0,06 атома титана.

Из габброидов массива впервые описан [84] бариево-титановый оксибиотит с 11%  $TiO_2$  и более 11%  $BaO$ , который позднее был обнаружен в нефелинитах Гавайских островов [190]. В результате анализа слюды из эссексита, выполненного (из навески 36 мг) З.Т. Катаевой, подтвердилось высокое содержание титана (8,5%  $TiO_2$ ). Содержание бария оказалось ниже определенного ранее (7,30  $BaO$ ), что позволяет предположить широкое варьирование количества бария в слюде даже в пределах одной породы.

### Массив Африканда [93]

Массив имеет концентрически-зональное строение. Основной объем массива слагают мелкозернистые пироксениты и их крупнозернистые перекристаллизованные разновидности. В центральной части в крупнозернистых пироксенитах встречаются многочисленные ксенолиты оливинитов, а также жилы и неправильной формы тела более поздних кальцит-амфибол-пироксеновых и магнетит-флогопитовых пород и щелочных пегматитов. Периферическая зона массива сложена нефелиновыми пироксенитами и ийолитами.

Амфиболы и слюды пироксенитов развиты в основном в зонах перекристаллизации в качестве вторичных (по пироксенам) минералов; вторичными являются также амфиболы и слюды ийолитов.

Эволюционные тенденции могут быть прослежены по изменению составов пироксенов (табл. 8), которые являются главными ПТМ почти всех фаз массива.

От пироксенов ранних ультраосновных пород к пироксенам более поздних щелочных пород интенсивно уменьшается количество магния за счет увеличения количества окисного и закисного железа. При этом соотношение железа обоих типов остается приблизительно постоянным и равным 1. Уменьшается количество алюминия и титана и несколько увеличивается количество натрия. Характерной чертой составов пироксенов массива является отсутствие ферросилитового компонента.

Таблица 7  
Химический состав ПТМ Елетьозерского массива [94], данные автора

Компоненты	Пироксен			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	48,03	47,10	46,35	52,48
TiO <sub>2</sub>	2,18	2,75	2,16	0,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,77	5,35	5,84	4,45
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,88	2,75	3,62	26,89
FeO	5,59	6,47	5,60	1,01
MnO	0,17	0,13	0,88	0,04
MgO	12,89	13,16	12,75	0,29
CaO	22,24	22,00	21,81	0,90
Na <sub>2</sub> O	0,53	0,43	0,76	13,12
K <sub>2</sub> O	0,05	Следы	0,07	0,14
BaO	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—
F	—	—	—	—
П.п.п.	0,70	0,25	1,14	0,66
Сумма	100,14	100,39	100,24	100,32
Si	1,81	1,76	1,76	1,98
Al <sup>IV</sup>	0,17	0,24	0,26	0,02
Fe	0,02	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	0,18
Ti	0,06	0,08	0,06	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,08	0,11	0,76
Fe <sup>2+</sup>	0,11	0,11	0,84	0,03
Mn	—	—	—	—
Mg	0,73	0,74	0,72	0,02
Fe <sup>VIII</sup>	0,06	0,09	0,06	—
Ca	0,90	0,88	0,88	0,03
K	0,01	—	—	0,01
Na	0,03	0,09	0,06	0,95
OH	—	—	—	—
F	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—
	Диопсид (M81)	Фассаит (M79)	Фассаит (M80)	Акмит

1 — из пироксенов; 2, 5 — из крупнозернистых габбро; 3, 7 — из рудных габбро;  
4, 9 — из нефелиновых сиенитов; 6 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов; 8, 8а —  
из эссекситов.

Амфибол	Слюда					
	5	6	7	8	8а	9
	45,13	39,40	26,90	28,08	32,30	33,21
	2,17	1,19	9,23	11,00	8,50	3,67
	7,09	10,73	16,16	16,16	13,62	14,70
	3,86	9,10	3,22	2,50	5,68	10,50
	8,85	13,74	15,78	14,22	10,28	20,21
	0,14	1,40	0,14	0,10	—	0,44
	13,27	7,19	8,93	8,76	16,72	3,80
	17,35	11,62	0,51	0,18	—	0,26
	0,85	2,15	0,30	0,44	0,40	Следы
	0,16	1,45	4,30	6,52	6,53	9,27
	Не опр.	Не опр.	11,33	10,27	7,30	0,05
	—	0,13	0,80	0,66	—	0,85
	—	0,78	0,36	0,25	—	0,60
	1,31	2,00	2,51	0,83	3,00	2,60
	100,20	100,56	100,32	99,90	101,33	100,16
	6,86	6,08	4,62	4,68	4,89	5,52
	1,14	1,92	3,28	3,18	2,42	2,48
	—	—	0,10	0,14	0,65	—
	0,14	0,02	—	—	—	0,40
	0,26	0,14	1,18	1,38	0,96	0,46
	0,44	1,06	0,30	1,08	—	1,32
	1,12	1,78	2,24	1,46	1,30	2,84
	0,04	0,18	—	—	—	0,06
	3,00	1,66	2,26	2,08	3,77	0,94
	—	—	—	—	—	—
	2,82	1,92	0,08	0,04	—	0,06
	0,04	0,30	0,94	1,38	1,26	1,98
	0,26	0,65	0,10	0,14	0,11	—
	1,32	1,76	1,68	1,44	—	—
	—	0,16	0,18	0,08	—	—
	—	—	0,74	0,68	0,44	—
	Кальцио- эденит (M73)	Гастинг- сит (M48)	Барий- титано- биотит (M41)	Барий- титано- лепидо- мелан (M59)	Барий- титано- лепидо- мелан (M59)	Лепидо- мелан (M24)

Таблица 8

Химический состав ПТМ массива Африканда [72, 78, 114]

Компоненты	Пироксен				
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	48,82	48,51	50,30	45,98	50,31
TiO <sub>2</sub>	1,40	1,72	0,63	2,25	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,38	3,73	0,50	4,89	2,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,52	4,41	6,22	6,14	3,10
FeO	1,47	3,32	5,60	4,28	2,82
MnO	0,07	0,12	0,23	0,17	0,13
MgO	15,71	13,62	12,16	11,36	14,90
CaO	24,82	23,74	22,46	23,56	22,95
Na <sub>2</sub> O	0,22	0,31	0,53	0,50	0,79
K <sub>2</sub> O	0,16	0,27	0,20	0,25	0,18
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	—	—	0,87	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	0,15	0,20	0,10	0,15
П.л.п.	0,88	0,60	1,02	—	1,09
F	—	—	—	—	—
Сумма	100,45	100,50	100,05	100,35	99,43
Si	1,82	1,85	1,92	1,75	1,91
Al <sup>IV</sup>	0,15	0,16	0,02	0,22	0,09
Fe <sup>IV</sup>	0,03	—	0,06	0,04	—
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	—	—
Ti	0,04	0,04	0,02	0,06	0,03
Fe <sup>3+</sup>	0,07	0,15	0,12	0,14	0,09
Fe <sup>2+</sup>	0,04	0,17	0,18	0,14	0,09
Mn	—	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	0,87	0,64	0,69	0,65	0,83
Ca	0,99	0,91	0,92	0,97	0,90
K	—	—	—	—	—
Na	0,02	0,05	0,05	0,05	0,06
ОН	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—
	Диопсид	Салит (М80)	Салит (М77)	Салит (М81)	Диопсид

1 — из оливинитов; 2, 6, 9 — из пироксенитов (4); 3 — из йюлитов; 4, 11 — из щелочных пегматитов; 5, 8 — из кальцит-амфибол-пироксеновой породы (3); 7 — из пегматоидных йюлитов; 10 — из флогопит-магнетитовой породы.

В стадию формирования метасоматических кальцит-амфибол-пироксеновых пород пироксены характеризуются наиболее магниевым составом, в то время как количества алюминия и титана в них незначительны.

Сопоставление основных параметров составов пироксенов и амфиболов из кальцит-амфибол-пироксеновых пород показало, что магниезность пироксенов существенно выше магниезности амфиболов. Щелочность пироксенов значительно ниже щелочности амфиболов; титанистость пироксенов несколько ниже титанистости амфиболов.

	Амфибол			Слюда		
	6	7	8	9	10	11
	40,86	38,25	41,66	37,08	38,78	36,31
	1,36	4,65	1,33	0,97	1,48	2,09
	12,33	11,44	11,76	17,19	15,88	15,63
	7,34	4,14	5,95	2,59	2,96	3,33
	5,63	7,73	5,46	5,97	4,79	7,96
	0,28	0,18	0,20	0,10	0,10	0,10
	14,83	14,11	15,96	22,10	24,53	20,16
	12,74	14,13	12,05	0,48	0,50	0,17
	2,54	2,14	3,36	0,61	0,71	0,79
	1,57	1,38	0,84	7,67	8,54	8,33
	0,56	1,48	1,37	4,30	0,71	4,47
	—	0,30	0,44	0,44	0,26	0,59
	—	—	—	—	—	—
	0,28	0,25	—	0,40	1,20	0,31
	100,32	100,07	99,94	99,73	100,57	100,11
	5,79	5,79	6,05	5,36	5,35	5,30
	2,21	2,03	1,95	2,64	2,59	2,70
	—	0,18	—	—	0,06	—
	0,25	—	0,07	0,24	—	—
	0,21	0,53	0,14	0,11	0,16	0,22
	0,67	0,29	0,65	0,27	0,25	0,36
	0,78	0,97	0,67	0,71	0,55	0,98
	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	—
	3,13	3,18	3,45	4,67	5,04	4,40
	1,97	2,28	1,87	0,08	0,07	—
	0,36	0,27	0,17	1,40	1,49	1,56
	0,79	0,62	0,94	0,09	0,18	0,22
	2,71	1,51	1,32	4,04	0,90	3,68
	—	0,13	—	0,18	0,52	—
	Магнезио-гастингсит (М80)	Керсунит (М76)	Магнезио-гастингсит (М83)		Истонит	

## Ковдорский массив [93]

Массив представляет собой концентрически-зональную многофазную интрузию. Центральная часть сложена наиболее ранними оливинитами и пироксенитами; периферическая — йюлит-мельтейгитами. Промежуточная зона представлена метасоматическими мелилитовыми и флогопит-диопсидовыми породами. В юго-западной части массива локализовано штокообразное тело апатит-форстеритовых пород и магнетитовых руд, по-видимому, также метасоматического происхождения. Наиболее поздними обра-

Таблица 9

Химический состав ПТМ массива Ковдор [93], данные автора и А.Г. Жабина

Компоненты	Пироксен				Амфибол	
	1	2	3	4	5	
SiO <sub>2</sub>	49,42	50,41	48,96	53,48	41,56	
TiO <sub>2</sub>	0,86	1,33	2,30	0,18	0,49	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,34	2,75	2,14	0,45	12,26	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,49	6,88	13,90	2,76	7,31	
FeO	1,78	4,50	6,49	2,05	2,68	
MnO	0,12	0,20	0,51	—	0,10	
MgO	14,90	11,06	5,00	15,23	17,75	
CaO	24,93	20,44	12,80	24,96	13,93	
Na <sub>2</sub> O	0,45	1,87	5,82	0,22	2,61	
K <sub>2</sub> O	0,33	0,45	0,50	—	0,85	
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,27	0,41	—	—	0,20	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,45	—	—	—	0,91	
F	—	—	—	—	—	
П.л.п.	0,36	—	1,43	—	—	
Сумма	100,70	100,30	99,85	99,33	100,65	
Si	1,79	1,91	1,90	1,99	5,95	
Al <sup>IV</sup>	0,21	0,09	0,10	0,01	2,05	
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	
Al <sup>VI</sup>	0,01	0,06	—	—	0,03	
Ti	0,04	0,01	0,07	0,01	0,05	
Fe <sup>3+</sup>	0,13	0,26	0,41	0,08	0,79	
Fe <sup>2+</sup>	0,07	0,18	0,21	0,06	0,33	
Mn	—	0,01	0,01	—	0,01	
Mg	0,77	0,52	0,29	0,84	3,79	
Ca	0,96	0,72	0,53	0,99	2,13	
K	—	—	0,02	—	0,17	
Na	0,03	0,24	0,44	0,01	0,73	
ОН	—	—	—	—	1,05	
F	—	—	—	—	—	
	Истонит	Салит (М74)	Эгирин (46М58)	Диопсид	Магнезио-гастингсит	

1 — из пироксенитов (4); 2 — из ийолитов (5); 3 — из фенитов; 4 — из карбонатитов; 5 — из гранато-мантичиллитовой породы (2); 6 — из дайки фонолита в фенитах; 7 — из оливинитов (5); 8 — из мельтейгитов (2); 9 — из флогопит-апатит-форстеритовых пород (3); 10 — из карбонатитов I стадии; 11 — из доломитизированных карбонатитов (II стадии) (2).

зованиями являются карбонатиты, фонолиты и порфиоровидные нефелиновые сиениты. Вмещающие массив архейские гнейсы фенитизированы.

В ийолитах и мельтейгитах пироксен обычно зонален. Внутренняя часть зерен имеет серо-зеленую окраску, внешняя — более интенсивно зеленую. Слюда и амфиболы чаще всего замещают пироксены.

В породах Ковдорского массива не существует одного "проходящего" ПТМ, для которого можно было бы проследить эволюцию состава во всех или хотя бы в большинстве фаз массива, так же как не существует равновесных пар ПТМ в каком-либо типе пород.

Амфибол	Слюда					
	6	7	8	9	10	11
40,61	38,89	37,60	39,47	38,24	40,83	
2,33	0,70	1,47	0,14	0,10	0,23	
11,64	14,33	16,86	13,12	16,20	9,65	
3,81	2,53	3,49	5,12	2,81	5,79	
12,80	3,50	4,79	2,08	1,05	2,48	
0,23	0,07	0,19	0,05	0,02	0,05	
11,79	25,55	20,65	25,67	25,44	26,96	
10,27	0,38	0,93	0,27	0,64	0,47	
3,01	0,74	0,99	0,76	0,57	0,50	
2,56	9,48	6,89	8,66	9,88	9,86	
0,84	3,32	5,45	4,42	—	—	
—	0,20	—	0,58	—	—	
Не обн.	0,52	—	0,94	0,30	0,77	
—	—	—	—	2,80	2,41	
99,89	100,73	99,31	101,28	98,05	100,00	
6,30	5,44	5,46	5,94	5,45	5,78	
1,70	2,56	2,54	1,52	2,55	1,61	
—	—	—	0,52	—	0,60	
0,34	0,08	—	—	0,17	—	
—	0,12	0,20	—	0,01	0,12	
0,43	0,22	0,80	—	0,29	0,04	
1,59	0,50	1,92	0,26	0,12	0,29	
0,03	—	0,06	—	—	0,01	
2,61	5,04	3,02	5,74	5,40	5,67	
1,64	—	0,20	—	0,10	0,07	
0,43	1,74	1,56	1,86	1,80	1,78	
0,87	0,13	0,20	0,22	0,17	0,14	
2,00	3,90	3,40	3,92	2,05	3,21	
—	0,10	0,04	—	0,14	0,46	
Магнезио-гастингсит (М62)	Истонит	Алюмобитит (М61)	Тетраферрифлогопит	Истонит	Тетраферрифлогопит	

вх пород (3); 10 — из карбонатитов I стадии; 11 — из доломитизированных карбонатитов (II стадии) (2).

Характер изменения состава пироксенов в отрезке серии пироксенит — ийолит аналогичен соответствующему изменению состава пироксенов в массиве Африканда (табл. 9). Наиболее интенсивно в этом направлении уменьшается магнезиальность пироксенов, менее интенсивно, но вполне закономерно уменьшаются алюминиевость и титанистость. Общая железистость увеличивается, причем соотношение окисного и закисного железа остается постоянным. Ферросилитовая составляющая в составе пироксенов массива отсутствует. В отличие от пироксенов соответствующего отрезка эволюционного ряда массива Африканда, для пироксенов Ковдорского мас-

сива характерен интенсивный рост щелочности пироксенов от 0,03 атомов натрия в пироксенитах до 0,21 — в ийолитах.

Сопоставление составов пироксенов фенитов и пироксенов контактирующих с ними ийолитов периферической зоны массива показывает, что изменение состава пироксенов как бы продолжает эволюционную линию пироксенит—ийолит. Отличие заключается лишь в увеличении в пироксенах фенитов количества титана, что требует особого объяснения.

Анализ изменения составов слюд показывает, что, несмотря на вторичный характер их образования, тенденция изменения их состава аналогична тенденции изменения пироксенов. От слюд оливинитов к слюдам ийолитов резко уменьшаются их магнезиальность и алюминивость. Слюды карбонатитов и флогопит-апатит-форстеритовых пород значительно более магнеиые, чем слюды ийолитов.

Характерно, что в составе слюд карбонатитов наблюдается недостаток алюминия и, как следствие этого, вхождение окисного железа в тетраэдрическую позицию. Наиболее интенсивно меняется содержание фтора, которое закономерно увеличивается от слюд оливинитов к слюдам поздних доломитовых карбонатитов (до 0,46 атома).

### Массив Вуориярви [93]

Основной объем массива слагают пироксениты, занимающие центральную часть интрузии. В них часто встречаются реликты оливинитов. Периферическая часть представлена ийолитами. В восточной части пироксенитового ядра располагается компактный участок интенсивного развития поздних апатит-форстерит-магнетитовых пород и карбонатитов.

Анализ изменения составов слюд показывает, что, несмотря на вторичный через нефелиновые пироксениты и ийолиты к полевошпатовым ийолитам показывает, что в этом направлении у пироксенов уменьшаются магнезиальность и алюминивость, увеличиваются щелочность и степень окисленности железа. Титанистость всех пироксенов очень низкая и, вероятно, поэтому не обнаруживает тенденции изменения.

От пироксенитов к карбонатитам закономерно уменьшаются алюминивость и титанистость слюд. Магнеиость слюд максимальна в карбонатитах, как это отмечалось и для ПТМ других карбонатитовых массивов. От слюд ранних кальцитовых карбонатитов к слюдам поздних — доломитовых сохраняется тенденция уменьшения титанистости.

Наиболее резко в слюдах меняется содержание фтора: от 0,04 атома в слюдах пироксенитов через 0,63 в слюдах кальцитовых карбонатитов до 2,61 в доломитовых карбонатитах. Так же как и для слюд из карбонатитов Ковдорского массива, для слюд массива Вуориярви характерны низкая алюминивость и вхождение окисного железа в тетраэдрическую позицию.

Состав амфиболов в направлении от пироксенитов к карбонатитам меняется таким же образом, как и состав слюд; кроме того, отмечается увеличение количества натрия.

Для массива Вуориярви мы имеем проанализированную пару близко-одновременных минералов из кальцитовых карбонатитов. Магнезиальность амфибола в ней незначительно выше магнезиальности слюды, коли-

чество фтора в амфиболе выше, чем количество фтора в слюде. Определенный интерес представляет сопоставление составов пироксена, амфибола и слюды из пироксенитов, где пироксен является первичным минералом, а амфибол и слюда — вторичными, развивающимися с замещением пироксена. Магнезиальность пироксена существенно выше магнезиальности амфибола и равна магнезиальности слюды. Титанистость пироксена значительно ниже титанистости амфибола и слюды. То же самое характерно и для алюминия. Алюминиевость пироксена существенно ниже алюминиевости амфибола и слюды.

### Хибинский массив [37, 89]

Крупнейший массив нефелиновых сиенитов мира — Хибинский, расположенный в центре Кольского полуострова, характеризуется сложным строением. Различными исследователями выделяется различное количество магматических фаз и более десятка индивидуализированных магматических пород.

В настоящее время общепризнанным является выделение трех крупных магматических комплексов, в разрезе представляющих собой вложенные друг в друга конусы: хибинитов (периферическая зона), ричорритов и ийолит-уртитов (промежуточная зона) и фойяитов (центральная зона). Кроме того, в массиве наблюдается серия молодых жильных пород (мончикиты и др.). Относительно возрастных соотношений этих комплексов единого мнения не существует. По представлениям Б.М. Кушлетского, хибинитовый и фойяитовый комплексы являются более древними, чем промежуточный ийолит-уртитовый. Большинство современных исследователей Хибин считают пространственную последовательность комплексов от периферии к центру соответствующей возрастной последовательности.

Для дальнейшего рассмотрения важно обратить внимание на ряд новых данных, полученных геологами Хибиногорской партии и Кольского филиала АН СССР: наличие ксенолитов ультраосновных щелочных пород в периферических участках зоны хибинитов, обнаружение карбонатитов в поле развития фойяитов и интерпретация микрографических дактилоскопических сростаний нефелина с калиевым полевым шпатом как распада первичного лейцита.

Преобладающим темноцветным минералом хибинитов является пироксен, содержание которого варьирует от 7 до 20%. В подчиненных количествах присутствуют амфибол и слюда. Амфибол играет значительную роль лишь в контактных разностях хибинитов и их крупнозернистых участках. Отмечаются замещение пироксена амфиболом и зональные кристаллы амфибола, периферическая часть которых имеет характерную для щелочных амфиболов аномальную интерференционную окраску. Слюда встречается в приконтактных и крупнозернистых разностях; обычно она развивается по амфиболу и магнетиту.

Пироксены чаще всего образуют выделения неправильной формы, заключенные в интерстициях между кристаллами полевого шпата и нефелина, реже призматические кристаллы. Отмечались графические сростания пироксена с полевым шпатом. Встречаются зональные кристаллы

Таблица 10

Химический состав ПТМ массива Вуориярви [93, 77]

Компоненты	Пироксен				
	1a	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	51,94	49,98	50,33	49,33	49,98
TiO <sub>2</sub>	0,72	1,32	0,51	0,93	0,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,51	3,09	1,74	2,94	1,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,05	3,58	5,87	4,76	9,62
FeO	0,96	2,20	8,78	4,32	6,51
MnO	0,02	0,13	0,49	0,25	0,60
MgO	0,36	14,39	8,81	12,46	8,22
CaO	1,84	23,91	20,03	23,42	18,91
Na <sub>2</sub> O	12,04	0,66	2,43	0,89	2,86
K <sub>2</sub> O	0,08	0,07	0,03	0,07	0,17
H <sub>2</sub> O	0,17	0,54	0,51	0,81	0,56
F	—	—	—	—	0,07
Сумма	99,69	99,96	99,53	100,18	100,08
Si	1,98	1,86	1,94	1,86	1,92
Al <sup>IV</sup>	0,02	0,14	0,06	0,13	0,08
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	0,09	—	0,02	—	—
Ti	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,83	0,10	0,17	0,13	0,28
Fe <sup>2+</sup>	0,03	0,07	0,28	0,14	0,20
Mn	—	—	0,10	0,01	0,02
Mg	0,02	0,80	0,50	0,70	0,47
Ca	0,07	0,96	0,82	0,94	0,78
K	0,01	—	—	—	—
Na	0,89	0,05	0,18	0,06	0,20
OH	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—
	Акмит	Диопсид	Салит (18 М63)	Салит (М82)	Салит (20М70)

1, 5, 7 — из пироксенитов (2); 2 — из нефелиновых пироксенитов, 3 — из ийолитов; 4 — из полевошпатовых ийолитов (2); 6, 8 — из карбонатитов; 9 — из карбонатитов доломитизированных; 1a — из фенитов.

пироксена, ядра которых имеют светло-зеленую окраску, а периферия — темно-зеленую.

Рисчорриты — преимущественно лейкократовые породы, в которых присутствует 3,5% пироксена и 3,5% слюды. В этих породах слюды обычно не имеют реакционных взаимоотношений с пироксенами и могут рассматриваться наряду с пироксенами как первичные породообразующие минералы. Амфибол чаще всего развивается по пироксену. Крупные зерна пироксена обычно имеют неправильную форму и заключены в мелкозернистую породу. Кроме того, пироксен вместе с нефелином образует пойкилитовые вроски в полевом шпате, в виде мелких игольчатых кристаллов. В мелкозернистой массе породы присутствует зонально окрашенный пироксен.

	Амфибол		Слюда		
	5	6	7	8	9
	38,50	55,75	37,42	41,64	45,47
	1,80	сл.	2,00	—	0,45
	13,93	0,60	15,02	9,36	7,17
	5,61	4,42	3,39	5,45	2,59
	6,25	0,80	5,91	1,26	1,66
	0,15	0,10	0,10	0,05	0,06
	14,03	22,29	22,67	27,59	24,48
	12,17	6,30	0,58	0,56	2,08
	2,72	6,52	2,38	0,62	0,26
	1,85	1,83	7,79	9,75	9,25
	2,70	0,91	2,26	2,00	4,80
	—	1,63	0,12	1,43	3,43
	99,71	100,47	99,98	99,11	100,25
	5,77	7,73	5,32	5,87	6,76
	2,23	0,10	2,55	1,56	1,25
	—	0,17	0,13	0,57	—
	0,22	—	—	—	—
	0,21	0,0	0,21	—	0,04
	0,63	0,30	0,23	0,01	0,29
	0,78	0,09	0,70	0,15	0,21
	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	3,13	4,61	4,79	5,81	5,37
	1,96	0,93	0,09	0,09	0,34
	0,36	0,32	1,42	1,87	1,77
	0,79	1,75	0,67	0,17	0,07
	2,00	0,83	2,50	1,88	2,39
	—	0,70	0,04	0,63	1,61
	Магнезио-гастингсит (М80)	Рихтерит	Истонит	Тетраферрифлогопит	Флогопит

В ийолит-уртитах преобладает пироксен — он составляет 40–80% объема породы; короткопризматические кристаллы пироксена часто зонально окрашены.

В фойяитовом комплексе главным темноцветным минералом является амфибол, содержание которого колеблется в пределах 10–17%; часто наблюдаются зональные кристаллы, аналогичные зональным кристаллам в хибинитах.

Пироксен, чаще всего в виде выделений неправильной формы, находится в тесном срастании с амфиболом, без видимых реакционных взаимоотношений. Мелкие призматические кристаллы пироксена участвуют в строении коронитов вокруг энigmatита и лампрофиллита.

Таблица 11

Химический состав ПТМ Хибинского массива [76, 89, 69, 37, 115, 134]

Компо- ненты	Пироксен					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	50,94	46,25	51,43	49,75	51,10	50,60
TiO <sub>2</sub>	1,52	3,50	1,63	1,40	2,88	1,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,08	1,20	0,68	1,33	1,40	1,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,86	15,47	20,05	5,17	17,98	19,25
FeO	6,59	10,81	7,15	7,67	7,40	6,07
MnO	0,48	0,63	0,74	0,48	0,86	0,85
MgO	9,48	6,06	3,22	6,83	2,38	2,79
CaO	18,01	9,81	2,55	21,26	4,80	8,07
Na <sub>2</sub> O	3,53	5,26	10,26	3,17	9,95	7,11
K <sub>2</sub> O	0,16	0,22	1,36	2,12	0,34	1,13
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,27	0,18	0,66	—	0,48	0,22
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,32	—	0,12	—	0,18	—
F	0,01	—	—	—	0,05	—
Сумма	100,25	99,76	100,11	99,3	100,11	99,24
Si	1,90	1,89	1,97	1,89	1,97	1,98
Al <sup>IV</sup>	0,05	0,06	0,03	0,06	0,03	0,02
Fe <sup>IV</sup>	0,05	0,13	—	0,05	—	—
Ti <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	—	0,03	0,05
Ti <sup>VI</sup>	0,04	0,10	0,05	0,04	0,08	0,04
Fe <sup>3+</sup>	0,17	0,33	0,58	0,10	0,52	0,57
Fe <sup>2+</sup>	0,21	0,17	0,16	0,24	0,19	0,14
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Mg	0,53	0,38	0,18	0,39	0,14	0,16
Fe <sup>VIII</sup>	—	0,18	0,07	—	0,05	0,06
Ca	0,73	0,41	0,10	0,87	0,20	0,34
K	0,01	0,01	0,07	0,10	0,01	0,06
Na	0,26	0,40	0,76	0,24	0,74	0,54
ОН	—	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—	—
	Эгирин (27M71)	Эгирин (41M70)	Акмит	Эгирин (34M62)	Эгирин (75M42)	Эгирин (60M51)

1, 20 — из ийолитов (6 и 2); 2 — из пятнисто-полосчатой апатитовой руды; 3, 21 — из рисчорритов; 4, 12 — из пегматитов в ийолитах; 5, 13 — из хибинитов (3); 6, 14, 22 — из фойяитов; 7, 15, 24 — из поздних гидротермальных прожилков (3); 8, 16, 23 — из мончикитов; 9 — из аподиабазовых нефелин-полевошпатовых фенитов; 10 —

Таким образом, главными ПТМ в породах Хибинского массива являются:

	Пироксен	Амфибол	Слюда
Хибиниты	+		
Рисчорриты	+		+
Ийолит-уртиты	+		
Фойяиты	+	+	
Мончикиты	+	+	

Неоднозначность геологических взаимоотношений пород вызывает необходимость привлечения дополнительных геохимических и минералогических данных для решения вопроса возрастных генетических взаимоотношений. В работах А.В. Галахова [35, 36] было показано, что по составу нефелинов и калиево-натриевых полевых шпатов выделяются две группы пород: хибинит-фойяитовая, нефелин которой обогащен калием, а полевые шпаты представлены чисто калиевыми разновидностями с низкой степенью упорядоченности, и рисчоррит-ийолит-уртитовая, нефелин которой обогащен избыточной кремнекислотой и полевые шпаты представлены высокоупорядоченными пертритовыми калиево-натриевыми разновидностями.

Пироксен				Амфибол		
7	8	9	10	11	12	13
51,67	47,44	50,30	50,67	50,66	51,04	48,82
1,03	1,48	2,22	1,73	2,40	1,11	2,23
1,01	3,41	3,20	5,57	2,45	0,30	3,85
29,62	8,66	10,17	13,12	2,44	10,73	2,97
1,91	1,88	11,82	8,41	9,78	14,62	9,36
0,16	0,15	1,15	0,76	0,48	3,34	0,94
0,58	14,12	6,36	2,85	15,73	4,58	14,89
0,93	22,37	3,00	5,06	6,12	2,37	7,35
11,61	0,06	8,89	7,83	5,46	7,15	5,43
0,52	0,01	1,38	2,43	2,70	2,70	1,40
0,18	0,16	0,46	1,19	0,64	2,70	0,30
0,26	0,94	0,41	—	0,10	—	0,72
—	—	1,05	—	2,56	—	2,42
99,48	100,68	100,16	100,44	100,45	98,21	99,77
2,02	1,80	1,89	1,95	7,39	8,06	7,21
—	0,15	0,11	0,05	0,42	—	0,67
—	0,05	—	—	0,19	—	0,12
—	—	—	—	—	—	—
0,05	—	0,03	0,20	—	0,06	—
0,03	0,04	0,06	0,05	0,26	0,13	0,26
0,87	0,20	0,29	0,38	0,07	1,27	0,21
0,02	—	0,21	0,18	1,19	1,94	1,15
—	—	0,04	0,03	0,06	0,45	0,11
0,04	0,80	0,36	0,17	3,42	1,08	3,27
0,04	0,06	0,16	0,09	—	—	—
0,04	0,90	0,12	0,21	0,96	0,40	1,16
0,02	—	0,07	0,12	0,51	0,55	0,27
0,88	0,01	0,65	0,58	1,54	2,19	1,56
—	—	—	—	0,82	2,00	0,78
—	—	—	—	1,18	—	1,13
—	—	—	—	—	—	—
Акмит	Диопсид	Эгирин (72M60)	Эгирин (70M50)	Магнезио- катофо- рит (M75)	Арфвед- сонит (M31)	Магне- зиока- тофо- рит (M72)

из апогнейсовых нефелин-полевошпатовых фенитов; 11 — из уртитов; 17 — из фени-  
тризованных аподиабазовых роговиков; 18, 25 — из полевошпатовых аподиабазовых  
фенитов; 19 — из полевошпатовых апогнейсовых фенитов.

ческих данных для решения вопроса возрастных генетических взаимоотношений. В работах А.В. Галахова [35, 36] было показано, что по составу нефелинов и калиево-натриевых полевых шпатов выделяются две группы пород: хибинит-фойяитовая, нефелин которой обогащен калием, а полевые шпаты представлены чисто калиевыми разновидностями с низкой степенью упорядоченности, и рисчоррит-ийолит-уртитовая, нефелин которой обогащен избыточной кремнекислотой и полевые шпаты представлены высокоупорядоченными пертритовыми калиево-натриевыми разновидностями.

Таблица 11 (продолжение)

Компоненты	Амфибол					
	14	15	16	17	18	19
SiO <sub>2</sub>	43,82	49,81	39,57	47,40	51,40	48,70
TiO <sub>2</sub>	5,29	1,34	4,19	2,75	1,50	1,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,39	4,37	16,29	4,86	3,09	8,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,48	4,49	7,13	12,20	9,30	0,33
FeO	15,81	12,38	1,56	12,41	9,27	13,34
MnO	1,93	0,42	0,20	1,46	0,92	0,74
MgO	7,03	11,31	14,92	4,72	8,62	10,64
CaO	3,86	4,57	9,32	5,47	5,60	6,94
Na <sub>2</sub> O	6,33	7,75	3,48	5,84	7,92	5,39
K <sub>2</sub> O	1,30	2,61	1,95	2,18	1,00	1,88
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,47	0,04	0,23	0,44	0,90	0,46
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,38	—	—	—	—	—
F	1,28	He опр.	—	—	—	1,88
Ппп.	—	—	0,84	—	—	—
Сумма	99,85	99,09	99,68	99,73	99,52	100,44
Si	6,80	7,45	5,80	7,42	7,91	7,17
Al <sup>IV</sup>	0,80	0,55	2,20	0,58	0,09	0,83
Fe <sup>IV</sup>	0,40	—	—	—	—	—
Ti <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	0,22	0,60	0,32	0,47	0,71
Ti <sup>VI</sup>	0,62	0,15	0,46	0,33	0,18	0,21
Fe <sup>3+</sup>	0,60	0,50	0,78	1,43	1,07	0,04
Fe <sup>2+</sup>	2,00	1,55	0,19	1,63	1,19	1,64
Mn	0,26	0,05	0,03	0,20	0,12	0,09
Mg	1,64	2,53	3,20	1,10	1,97	2,33
Fe <sup>VIII</sup>	—	—	—	—	—	—
Ca	0,63	0,73	1,50	0,92	0,93	1,09
K	0,26	0,50	0,36	0,43	0,20	0,35
Na	1,90	2,25	0,98	0,78	2,35	1,54
ОН	0,88	2,50	2,00	0,41	0,93	0,50
F	0,63	0,76	—	—	—	0,88
	Катофо- рит (M42)	Магне- зиоката- форит (M46)	Керсу- тит (M93)	Катофо- рит(M37)	Рихте- рит (M60)	Магне- зиокато- форит (M57)

В табл. 11 сведены химические анализы пироксенов, амфиболов и слюд Хибинского массива.

Сопоставление анализов пироксенов из пород различных комплексов массива позволяет констатировать отсутствие закономерного изменения их состава; если считать, что пространственная последовательность формирования пород хибиниты — ийолиты — фойяиты соответствует временной последовательности их внедрения. Составы пироксенов хибинитового и фойяитового комплексов очень близки и резко отличаются от состава этих минералов в ийолитах и урритах как по магнезиальности, так и по щелоч-

	Слюда					
	20	21	22	23	24	25
	38,45	35,68	36,03	38,32	45,51	37,46
	6,04	5,48	3,21	2,73	2,20	5,96
	10,17	7,24	10,84	15,20	7,76	11,57
	1,41	10,21	4,00	1,81	1,45	3,01
	14,42	19,53	23,62	5,30	9,15	16,13
	0,35	0,62	1,90	0,08	1,24	0,76
	12,85	5,83	7,07	21,54	16,12	10,76
	0,40	0,08	0,66	1,32	0,20	1,18
	0,46	0,55	0,50	0,82	0,30	1,46
	9,61	8,43	8,95	8,57	10,37	8,27
	0,91	4,34	3,35	1,24	0,45	1,58
	—	1,44	—	0,12	0,05	0,24
	2,56	0,70	1,34	0,18	5,32	—
	0,06	—	0,10	3,05	—	2,45
	97,69	100,06	101,57	99,88	99,56	100,50
	6,11	6,12	5,84	5,58	5,96	5,95
	1,77	1,47	2,03	2,42	1,82	2,05
	0,18	0,41	0,26	—	0,18	—
	0,06	—	—	—	—	—
	0,08	—	0,08	0,18	—	0,12
	0,88	0,71	0,37	0,30	0,44	0,72
	0,14	0,91	0,36	0,19	—	0,36
	1,92	2,80	3,21	0,65	2,92	2,14
	0,07	0,08	0,10	0,01	0,16	0,10
	3,02	1,49	1,71	4,67	2,46	2,56
	—	—	—	—	—	—
	0,06	0,02	0,12	0,20	0,16	0,20
	1,94	1,84	1,86	1,58	1,98	1,68
	0,14	0,19	0,16	0,23	0,06	0,46
	0,71	3,62	2,13	4,01	2,50	1,91
	1,34	0,38	0,69	0,09	0,76	1,26
	Титано- биотит (M60)	Титано- лепидо- мелан	Аннит	Флого- пит	Биотит (M46)	Титано- биотит M53

ности. Содержания титана и алюминия в пироксенах всех комплексов не обнаруживают четкого изменения.

Резко выделяются своей максимальной магнезиальностью, минимальной щелочностью и повышенным содержанием алюминия пироксены поздних мончикитов.

Анализ изменения составов пироксенов в сопоставлении с данными по изменению составов полевых шпатов и нефелина позволяет сделать вывод о резком различии составов породообразующих минералов, с одной стороны, хибинитового и фойяитового и, с другой — ийолитового комплексов.

Вероятно, последовательно сформированные комплексы Хибинского массива не могут быть дериватами одного магматического очага. Породы ийолитового комплекса, так же как и мончикиты, по-видимому, являются продуктом внедрения более глубинных, чем основной очаг, магм.

Считающиеся в настоящее время относящимися к одному комплексу ийолиты и рисчорриты характеризуются различными составами пироксенов. Состав пироксенов рисчорритов близок к составу пироксенов хибинитов и фойяитов.

Сравнение составов амфиболов из пород различных комплексов массива не обнаруживает закономерных изменений, причем изменение составов амфиболов неполностью соответствует изменению составов пироксенов, что, вероятно, объясняется формированием этих минералов в различные стадии минералообразования. Можно лишь отметить, что состав первичных амфиболов хибинитов довольно четко отличается от состава вторичных амфиболов фойяитов и ийолитов высокой алюминиевостью и титанистостью. Сопоставление составов амфиболов из лейкократовых уртитов и меланократовых ийолитов одного комплекса показывает практически полное их тождество.

Сравнение составов пироксенов и амфиболов из ийолитов и из пегматитовых тел, расположенных в ийолитовом комплексе, показывает, что ПТМ пегматитов отличаются более высокой щелочностью и железистостью и меньшим количеством алюминия и титана.

Для Хибинского массива проанализированы три пары сосуществующих минералов: пироксен и амфибол из фойяитов и мончикитов, а также пироксен и слюда из рисчорритов. Для фойяитов магнезиальность, щелочность и титанистость пироксена значительно меньше соответствующих параметров для амфибола. Сходная картина наблюдается для пары пироксен—амфибол из мончикитов. В рисчорритах магнезиальность пироксена существенно выше магнезиальности слюды.

### Ловозерский массив [26, 30, 129]

Массив, наряду с Хибинским массивом, является одной из крупнейших и уникальнейших по своему составу и минерализации щелочных интрузий СССР и входит в число классических щелочных агпайтовых комплексов мира.

Характернейшей особенностью интрузии является расслоенность ее основных фаз. В отличие от Хибинского массива последовательность становления основных комплексов пород Ловозерского массива принимается всеми исследователями одинаковой.

1. Пойкилитовые нефелиновые сиениты (преимущественно блоки, заключенные в породах дифференцированного комплекса).

2. Дифференцированный комплекс, представленный расслоенной толщей повторяющихся пачек, сложенных ийолитами, луявритами и фойяитами, рассматривающейся большинством исследователей как продукт кристаллизационной дифференциации единого расплава. С глубиной количество луявритов в пачках уменьшается за счет увеличения количества фойяитов.

3. Эвдиалитовые люавриты.

4. Ловозеритовые люавриты.

5. Дайки мончикитов и других пород основного состава.

Пироксен является главным первичным ПТМ в подавляющем большинстве пород массива. Наряду с пироксеном в ряде пород дифференцированного комплекса и комплекса эвдиалитовых люавритов первичным минералом является амфибол, который, однако, чаще всего уступает пироксену в количественном отношении. Отмечаются и отдельные разновидности люавритов, в которых амфибол преобладает над пироксеном. В люавритах темно-зеленые призматические кристаллы пироксена иногда имеют узкую периферическую каемку бурого цвета.

Амфибол в породах дифференцированного комплекса часто встречается в виде отдельных участков внутри выделений пироксена.

В Ловозерском массиве представляется редкая возможность проследить изменение состава ПТМ в разрезе расслоенной толщи дифференцированного комплекса. Кроме того, возможно выяснить эволюционные тенденции составов пироксенов и амфиболов в породах последовательно формирующихся фаз, зависимость состава этих минералов от степени лейкократовости пород в пределах ритма и особенности составов сосуществующих пироксенов и амфиболов (табл. 12).

В.П. Волков и др. [31] отмечали увеличение железистости пироксенов в фойяитах и уритах глубоких горизонтов. Е.И. Семенов [129] показал, что происходит постепенная замена пироксена амфиболом, а лопарита — пироксеном и ильменитом в глубоких горизонтах дифференцированного комплекса.

Сопоставление составов пироксена из люавритов различных по глубинности пачек разреза дифференцированного комплекса может быть произведено, к сожалению, лишь по весовым процентам окислов, так как основная масса анализов является неполными. Можно констатировать существенное закономерное увеличение алюминиевости пироксенов с глубиной, незначительное увеличение количества титана. Аналогичное сопоставление составов амфиболов (табл. 13) показывает еще большее увеличение с глубиной содержания алюминия, небольшое — железистости и фтористости, существенное уменьшение количества калия и заметное уменьшение содержания титана.

Эволюционные тенденции изменения состава пироксенов и амфиболов проявлены достаточно четко. От пойкилитовых сиенитов через породы дифференцированного комплекса к эвдиалитовым люавритам уменьшаются магниевость и алюминиевость пироксенов и увеличивается их титанность.

Амфиболы имеют ту же тенденцию изменения состава за исключением титанистости, которая уменьшается.

Сопоставление составов ПТМ в различных по меланократовости членах ритма (ийолиты, люавриты, фойяиты) показывает, что состав пироксенов закономерно меняется. Пироксены наиболее лейкократовых членов ритма — фойяитов являются наиболее алюминиевыми и титановыми и наименее магниевыми. Аналогичная тенденция наблюдается и для амфиболов. Так как для большинства пород массива не установлено реакционных взаимоотношений пироксенов с амфиболами, то были рассмотрены зако-

Таблица 12

Химический состав ПТМ Ловозерского массива [26, 27, 30, 129, 20, 31]

Компо- ненты	Пироксен							7
	1	2	3	4	5	6		
SiO <sub>2</sub>	47,36	50,65	51,37	51,13	52,20	52,58	48,20	
TiO <sub>2</sub>	1,55	2,54	2,08	2,34	3,05	3,87	1,74	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	1,79	3,03	2,78	1,32	1,72	3,21	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,28	22,11	21,11	21,95	24,04	22,44	6,29	
FeO	4,20	3,21	3,53	3,15	2,83	2,58	8,39	
MnO	1,31	0,84	0,40	0,52	0,64	0,67	1,29	
MgO	8,55	2,09	2,87	1,82	1,68	1,66	13,44	
CaO	13,95	3,61	4,73	3,34	1,81	1,46	6,35	
Na <sub>2</sub> O	4,20	11,10	10,48	12,19	10,89	11,48	6,23	
K <sub>2</sub> O	1,05	0,25	0,28	0,49	0,40	0,24	1,52	
H <sub>2</sub> O	—	0,32	0,45	0,42	0,60	0,60	1,92	
F	0,04	0,04	—	0,02	—	—	2,70	
—	—	—	—	—	—	—	0,06	
Сумма	96,75	98,55	100,33	100,15	99,46	100,11	100,17	
Si	1,90	1,90	2,00	1,90	2,00	2,04	7,4	
Al <sup>IV</sup>	0,10	0,08	—	0,10	—	—	0,6	
Fe <sup>IV</sup>	—	0,02	—	—	—	—	—	
Al <sup>VI</sup>	0,04	—	0,06	0,03	0,06	0,08	0,05	
Ti	0,04	0,05	0,09	0,07	0,09	0,09	0,25	
Fe <sup>3+</sup>	0,30	0,58	0,67	0,68	0,67	0,66	1,7	
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,10	0,09	0,10	0,09	0,08	—	
Mn	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,33	
Mg	0,50	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	2,60	
Ca	0,60	0,15	0,07	0,13	0,07	0,06	0,53	
K	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,24	
Na	0,30	0,80	0,80	0,90	0,80	0,86	1,60	
ОН	—	—	—	—	—	—	—	
F	—	—	—	—	—	—	0,85	
Эги- рин (32М76)				Акмит			Магне- зиока- тофо- рит(М89)	

1, 7, 13 — из пойкилитовых сиенитов; 2, 8 — из ийолит-уртитов; 3, 9 — из луавритов;  
4, 10 — из фойяитов; 5, 11 — из эвдиалитовых луавритов; 6 — из ловозеритовых луав-  
ритов; 12 — из альбитизированных фенитов; 14 — из камтонитов (уачатитов)

Таблица 13

Изменение состава амфиболов из луавритов дифференцированного комплекса с глубиной

Зона	Al <sup>IV</sup>	Al <sup>VI</sup>	Ti	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Mn	Mg	Na	K	F
Верхняя	0,36	0,22	0,19	0,97	1,36	0,16	2,08	2,35	0,56	0,22
Средняя	0,44	0,47	0,07	0,84	1,53	0,21	1,20	2,75	0,46	0,96
Нижняя	0,78	0,44	0,10	1,17	1,42	0,15	1,32	2,38	0,26	0,93

	Амфибол					Слюда	
	8	9	10	11	12	13	14
53,62	50,80	50,34	52,40	53,70	36,42	34,27	
1,23	1,27	1,65	1,30	0,29	5,02	3,34	
3,47	3,71	4,53	1,86	1,85	14,38	12,78	
8,95	8,96	7,64	9,46	15,27	2,05	1,81	
6,14	10,06	11,32	8,94	3,56	14,29	5,04	
0,74	1,39	1,47	1,44	1,05	1,09	—	
10,47	8,64	8,67	9,96	9,50	13,42	21,23	
2,27	1,75	1,49	1,57	0,21	0,20	8,38	
8,18	8,65	9,20	8,65	9,78	1,07	0,62	
1,60	1,98	2,07	1,61	1,44	9,10	6,98	
0,91	1,11	0,81	1,10	1,38	1,29	1,73	
2,57	1,75	2,40	2,05	2,11	2,07	3,77	
0,21	0,68	—	—	0,56	—	1,66	
100,36	100,75	100,58	100,34	100,70	99,64	100,14	
8,00	7,80	7,60	7,70	8,13	5,57	5,39	
—	0,28	0,40	0,30	—	2,43	2,37	
—	—	—	—	—	—	0,21	
0,60	0,46	0,40	0,05	0,35	0,16	—	
0,14	0,14	0,19	0,14	0,04	0,58	—	
1,00	1,00	0,87	1,04	1,75	0,24	—	
0,77	1,30	1,40	1,10	0,45	1,83	0,66	
0,09	0,18	0,19	0,18	0,15	0,14	—	
2,30	2,00	1,90	2,20	2,15	3,06	4,97	
0,37	0,23	0,24	0,25	0,04	0,03	0,28	
0,22	0,35	0,39	0,3	0,27	1,77	1,40	
2,40	2,60	2,70	2,50	2,87	0,42	0,19	
1,00	—	—	1,19	1,42	1,22	0,91	
1,00	0,90	0,98	0,91	1,01	1,00	0,38	
Эккерма- нит (М72)	Арфвед- сонит (М60)	Арфвед- сонит (М40)	Арфвед- сонит (М63)	Арфвед- сонит (М78)	Титано- биотит (М40)	Фло- гопит	

Таблица 14

Характер распределения химических компонентов между сосуществующими ПТМ

Порода	Минерал	M	Al	Ti	Mn	Na
Пойкилитовые сиениты	Пироксен	52	0,56	0,16	0,24	37
	Амфибол	60	0,65	0,25	0,33	70
	Слюда	60	2,59	0,58	0,14	—
Ийолиты	Пироксен	13	0,32	0,20	0,08	83
	Амфибол	56	0,60	0,14	0,09	80
Луавриты	Пироксен	16	0,24	0,36	0,08	81
	Амфибол	46	0,66	0,14	0,18	85

Таблица 14 (окончание)

Порода	Минерал	M	Al	Ti	Mn	Na
Фойяиты	Пироксен	11	0,52	0,28	0,08	91
	Амфибол	45	0,80	0,19	0,19	80
Эвдиалитовые луювриты	Пироксен	16	0,24	0,36	0,08	92
	Амфиболы	50	0,35	0,14	0,18	92

Таблица 15

Химический состав ПТМ массива Гремяха-Вырмес [72, 114]

Компоненты	Пироксен							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	44,48	49,28	50,11	49,26	50,77	51,73	52,01	51,48
TiO <sub>2</sub>	2,10	1,29	0,63	0,48	0,62	0,89	0,30	0,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,98	5,30	2,78	1,35	3,65	4,64	3,12	1,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,27	1,90	20,45	14,22	9,39	20,30	29,52	21,77
FeO	18,27	8,31	9,39	12,47	9,39	4,67	0,70	6,22
MnO	0,87	0,18	0,66	0,94	0,44	0,40	0,04	0,46
MgO	7,70	13,66	0,59	0,86	5,29	0,73	0,25	1,65
CaO	16,41	19,08	7,41	13,07	15,49	6,16	0,70	6,09
Na <sub>2</sub> O	0,60	0,78	8,88	6,04	4,95	9,74	12,58	8,85
K <sub>2</sub> O	0,06	сл.	0,07	0,30	0,15	0,16	0,04	0,08
H <sub>2</sub> O	—	0,32	0,61	0,26	0,35	0,41	0,64	0,20
F	—	—	—	—	—	—	0,26	—
П.п.п.	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	99,74	100,05	100,20	100,04	100,49	99,85	100,14	99,66
Si	1,78	1,84	1,95	1,96	1,93	1,97	1,94	1,98
Al <sup>IV</sup>	0,14	0,16	0,05	0,04	0,07	0,03	0,06	0,02
Fe <sup>IV</sup>	0,08	—	—	—	—	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	0,07	0,06	0,02	0,10	0,18	0,08	0,07
Ti	0,06	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,11	0,05	0,62	0,41	0,26	0,58	0,83	0,63
Fe <sup>2+</sup>	0,36	0,07	0,20	0,43	0,30	0,15	—	0,20
Fe <sup>VIII</sup>	0,25	0,19	—	—	—	—	0,02	—
Mn	0,03	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	—	0,01
Mg	0,46	0,76	0,03	0,05	0,30	0,04	0,01	0,09
Ca	0,70	0,76	0,29	0,56	0,63	0,25	0,03	0,25
K	—	—	—	0,02	—	0,01	—	—
Na	0,05	0,06	0,71	0,47	0,36	0,72	0,91	0,66
OH	—	—	—	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—	—	—	—
	Авгит (M45)	Авгит (M75)	Эгирин (71M12)	Эгирин (49M10)	Эгирин (36M50)	Эгирин (73M21)	Акмит (91M30)	Эгирин (66M30)

1, 9 12 — из перидотитов; 2 — из оливиновых габбро; 3 — из эгиринитов (3); 4 — из нефелиновых агиринитов; 5, 14 — из ийолитов (2); 6 — из ювитов; 7 — из нефелиновых сиенитов; 8, 11, 15, 16 — из щелочных сиенитов; 10 — из щелочных гранитов; 13 — из мельтейгитов.

номерности распределения основных компонентов между этими минералами (табл. 10).

Магнезиальность пироксенов для всех комплексов (табл. 14) значительно ниже магнезиальности амфиболов. Аллюминиевость пироксенов также ниже аллюминиевости амфиболов, а их титанистость ниже титанистости амфиболов для пойкилитовых сиенитов и выше — во всех остальных комплексах. Марганцевистость амфиболов во всех породах выше марганцевистости пироксенов. Соотношение натриевости амфиболов и протексенов непостоянно и не обнаруживает закономерности изменения.

	Амфибол			Слюда				
	9	10	11	12	13	14	15	16
	39,75	48,92	40,97	33,82	30,82	34,42	39,41	33,44
	4,92	0,86	0,89	6,13	4,32	1,94	3,18	4,70
	10,55	2,43	12,34	12,25	11,94	14,32	11,44	14,19
	4,04	10,33	8,43	8,31	22,50	3,54	1,67	7,68
	15,26	21,28	13,73	14,28	10,08	25,04	15,48	23,55
	0,32	0,62	0,58	0,12	0,97	0,60	0,19	1,07
	8,96	3,36	7,34	10,18	2,37	6,75	14,55	2,95
	10,86	2,71	11,21	1,49	1,70	0,75	0,39	0,38
	2,92	5,76	1,56	1,22	0,23	0,39	0,36	0,52
	0,88	1,79	1,46	6,46	3,31	8,79	9,21	7,24
	1,25	1,93	1,79	2,21	7,24	7,69	0,98	3,75
	0,22	—	0,15	0,53	0,06	0,24	2,01	0,12
	0,22	—	—	0,95	4,62	—	0,10	—
	99,93	100,05	100,45	98,36	100,20	99,42	98,08	99,56
	6,13	7,64	6,27	5,21	5,54	5,54	6,30	5,55
	1,92	0,36	1,73	2,22	2,46	2,46	1,70	2,45
	—	—	—	0,57	—	—	—	—
	—	0,09	0,50	—	0,08	0,24	0,46	0,32
	0,56	0,10	0,10	0,71	0,58	0,24	0,39	0,59
	0,46	1,21	0,97	0,39	3,05	0,44	0,20	0,96
	1,96	2,77	1,76	1,84	1,59	3,38	2,07	3,26
	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,04	—	0,07	0,01	—	0,04	0,03	0,15
	2,06	0,79	1,67	2,34	0,63	1,62	3,45	0,73
	1,79	0,45	1,84	0,25	0,32	0,12	0,07	0,07
	0,18	0,36	0,28	1,28	0,76	1,78	1,89	1,53
	0,87	1,74	0,46	0,35	0,08	0,10	0,11	0,16
	1,28	1,82	1,43	3,65	4,01	3,06	0,49	3,95
	0,08	—	0,07	0,52	0,03	0,12	0,97	0,07
	Керсунтит (M50)	Кальциорит (M50)	Гастингит (M50)	Биотит (M56)	Аннит	Биотит (M32)	Биотит (M62)	Аннит

Таблица 16

Химический состав ПТМ массивов Турий мыс, Озерная варака и Салмагорский [93, 122]

Компоненты	Пироксен		Слюда	Пироксен		Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	46,00	51,50	52,20	38,82	52,14	37,10	38,37	36,09
TiO <sub>2</sub>	2,53	сл.	0,50	1,66	0,29	2,65	2,52	2,11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,44	2,09	0,71	13,47	2,20	15,44	13,89	13,31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,67	3,44	3,58	3,35	11,86	6,73	5,54	7,87
FeO	3,10	4,45	5,66	8,48	6,24	5,60	6,55	13,75
MnO	0,06	0,27	0,27	0,25	0,32	0,12	0,17	0,39
MgO	13,43	13,94	13,60	20,80	7,00	13,69	13,80	13,55
CaO	23,76	23,31	22,44	0,39	14,82	12,39	12,91	0,47
Na <sub>2</sub> O	0,50	1,02	1,01	0,01	4,04	2,55	2,78	1,09
K <sub>2</sub> O		Следы	Следы	9,42	0,25	1,91	1,67	7,05
H <sub>2</sub> O	0,90	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,84	1,44	1,98	3,96
F	—	—	—	—	—	—	—	0,96
Сумма	100,39	100,02	99,97	96,64	100,0	99,62	100,18	100,20
Si	1,71	1,90	1,95	5,62	1,99	5,51	5,74	5,54
Al <sup>IV</sup>	0,24	0,09	0,03	2,30	0,01	2,49	2,26	2,39
Fe <sup>IV</sup>	0,05	—	—	0,08	—	—	—	0,07
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	—	0,09	0,21	0,18	—
Ti	0,07	—	0,01	0,16	0,01	0,30	0,28	0,24
Fe <sup>3+</sup>	0,08	0,10	0,10	0,28	0,34	0,75	0,61	0,83
Fe <sup>2+</sup>	0,10	0,19	0,18	5,54	0,19	0,70	0,83	1,77
Mn	—	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,03	0,06
Mg	0,74	0,77	0,75	4,48	0,40	3,04	3,07	3,10
Ca	0,94	0,32	0,90	—	0,57	1,97	2,07	0,08
K	0,02	—	—	1,74	0,01	0,36	0,32	1,38
Na	0,04	0,07	0,07	—	0,30	0,75	0,81	0,33
ОН	—	—	—	4,00	—	1,40	1,99	3,09
F	—	—	—	—	—	—	—	0,49
		Диопсид		Флогопит	Эгирин (31М 67)	Магнезиогастенгсит (М8)	Магнезиогастенгсит (М7)	Биотит

1 — из нефелин-пироксеновых пород; 2, 7, 17 — из йолитов; 3, 4 — из турьяитов; 5 — из фенитов; 6, 11, 14, 16 — из пироксенитов; 8 — из щелочных пород; 9 — из доломит-амфиболовой породы; 10 — из карбонатитов; 12, 13, 15 — из карбонатитов. 1-4 — Ту-

Постоянная, более высокая магнезиальность амфиболов по сравнению с пироксенами находится в соответствии с более ранней кристаллизацией амфиболов, отмечающейся при петрографических исследованиях.

Необходимо подчеркнуть, что сопоставление составов пироксенов и амфиболов массива произведено на основании ограниченного числа разрозненных анализов. Необходимо продолжить изучение выявленных закономерностей на более строгой методической основе.

В табл. 15 приведены анализы ПТМ слабообнаженного и недостаточно изученного массива Гремяха-Вырмес, а в табл. 16 разрозненные анализы ПТМ из других щелочных интрузий провинции.

	Амфибол		Пироксен		Амфибол	Слюда		Пироксен	
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	56,21	56,18	50,65	51,57	56,03	37,48	41,45	50,00	50,43
	0,23	0,22	1,38	0,36	—	1,84	0,02	1,47	1,58
	1,42	0,30	1,00	2,92	0,18	15,46	9,86	1,86	1,54
	5,48	5,44	2,57	2,19	4,52	3,36	3,94	3,93	3,56
	0,16	0,90	2,28	2,21	0,24	4,78	1,99	1,96	2,30
	—	0,12	0,03	0,18	0,08	0,03	0,29	0,08	0,11
	23,26	22,52	15,74	14,33	22,94	22,80	27,77	15,36	15,11
	3,81	3,76	25,50	24,70	5,56	0,67	0,50	24,10	24,03
	8,24	7,29	0,50	0,55	6,30	0,99	0,20	0,53	0,60
	0,37	1,51	—	0,16	1,67	8,32	8,98	—	—
	1,40	2,05	0,77	1,09	0,80	3,93	4,50	0,90	1,16
	—	0,28	—	—	1,59	0,26	0,92	—	—
	100,58	100,50	100,42	100,26	99,23	99,81	100,04	100,19	100,42
	7,53	7,67	1,87	1,90	7,75	5,37	5,85	1,86	1,87
	0,23	0,05	0,04	0,10	0,03	2,62	1,64	0,08	0,07
	0,24	0,28	0,07	—	0,22	—	0,41	0,06	0,06
	—	—	—	0,02	—	—	—	—	—
	0,02	0,02	0,04	0,01	—	0,21	—	0,04	0,04
	0,31	0,28	—	0,06	0,25	0,36	—	0,05	0,04
	0,02	0,11	0,07	0,07	0,02	0,58	0,24	0,06	0,07
	—	0,01	—	0,01	0,01	—	0,03	—	—
	4,65	4,58	0,86	0,81	4,72	4,87	5,84	0,85	0,83
	0,55	0,56	1,00	0,97	0,83	0,10	0,08	0,96	0,96
	0,26	0,26	—	0,01	0,30	1,52	1,62	—	—
	2,13	1,94	0,04	0,04	1,70	0,28	0,05	*0,04	0,06
	1,23	1,92	0,19	0,27	0,73	3,72	3,60	—	—
	—	—	—	—	0,70	0,14	0,40	—	—
	Рихтерит		Диопсид		Рихтерит	Истонит	Флогопит	Диопсид	

рий мыс, 5 — 8 — Озерная варака, 9, 10 — Лесная варака, 11 — 15 — Себлявр, 16 — 17 — Салмагорский.

#### ЮЖНО-УКРАИНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

Здесь выделяются две группы щелочных пород: протерозойская (Октябрьский массив, щелочной комплекс Черниговской зоны) и палеозойская (Покрово-Киреевский массив).

#### Октябрьский массив [53]

Массив представляет собой округлое в плане тело. В основном он сложен щелочными сиенитами. Внешнее прерывистое полукольцо составляют габброиды и пироксениты. Нефелиновые сиениты слагают крупное подко-

Таблица 17

Химический состав ПТМ Октябрьского массива [3, 53, 110, 194]

Компо- ненты	Пироксен					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	51,30	48,22	50,64	50,92	51,03	51,46
TiO <sub>2</sub>	0,85	4,34	0,50	0,45	0,55	0,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,73	Следы	1,48	0,63	2,70	2,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,86	5,70	27,80	29,70	25,95	28,84
FeO	5,04	10,45	3,24	1,80	3,10	1,07
MnO	0,48	1,71	0,40	0,57	0,55	0,34
MgO	10,78	7,05	0,70	0,38	1,15	0,23
CaO	19,90	19,14	2,94	1,90	3,42	2,99
K <sub>2</sub> O	0,13	0,27	0,06	0,04	0,42	0,88
Na <sub>2</sub> O	3,48	2,28	12,60	13,55	10,63	11,09
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	0,80	—	—	—	0,46
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	—
F	—	0,35	—	—	—	—
Сумма	100,55	100,01	100,36	99,94	99,50	100,51
Si	1,90	1,89	1,92	1,93	1,97	1,97
Al <sup>IV</sup>	0,08	—	0,07	0,03	0,03	0,03
Fe <sup>IV</sup>	0,02	0,11	—	0,04	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	—	0,09	0,10
Ti	0,02	0,13	0,01	0,01	0,02	0,01
Fe <sup>3+</sup>	0,17	0,06	0,79	0,81	0,76	0,83
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,35	0,10	0,06	0,10	0,03
Mn	0,02	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01
Mg	0,60	0,41	0,04	0,02	0,06	0,01
Ca	0,79	0,80	0,12	0,08	0,14	0,12
K	—	0,01	0,05	—	0,02	0,05
Na	0,25	0,17	0,92	1,00	0,79	0,82
OH	—	—	—	—	—	—
F	—	—	—	—	—	—
	Эгирин (25M80)	Салит (18M54)		Акмит		

1, 7, 13 — из твейтоизитов; 2, 8 — из шпиров в сиените; 3, 10, 15 — из нефелинового сиенита; 4, 11, 16 — из альбитизированного нефелинового сиенита; 5, 18 — из мариу-

вообразное тело среди сиенитов и ряд более мелких тел в габброидах. Чрезвычайно широким распространением пользуются альбититы и мариуполиты.

Массив окружен широкой каймой пород, соответствующих по составу кварцевым сиенитам и щелочным гранитам. Несмотря на длительную историю исследования массива, возрастные и генетические взаимоотношения пород до сих пор во многом остаются неясными. Однозначно доказывается лишь, что габброиды являются наиболее ранними породами, пересекаемыми нефелиновыми сиенитами, и что тела мариуполитов и альбититов являются поздними образованиями, формирующимися с замещением как габброидов, так и щелочных и нефелиновых сиенитов. Наиболее поздними образованиями массива являются карбонатно-флюоритовые прожилки.

	Амфибол					
	7	8	9	10	11	12
	47,70	46,10	36,34	37,45	37,37	52,05
	4,62	0,98	3,26	0,91	1,34	0,59
	2,37	4,82	10,43	9,68	10,85	1,06
	7,32	7,81	5,55	10,97	9,06	12,83
	10,44	9,85	24,01	22,81	23,40	11,36
	0,70	0,55	0,78	1,01	0,57	0,48
	12,65	10,91	2,46	0,67	1,28	9,55
	3,13	9,55	10,05	7,87	8,85	2,25
	1,38	1,49	2,16	2,12	2,10	1,40
	7,24	4,32	2,04	4,32	3,43	6,03
	1,05	2,04	2,19	1,35	1,96	1,78
	—	—	—	—	—	—
	2,46	1,71	0,36	0,15	0,19	1,46
	100,04	99,41	99,63	99,81	100,40	100,84
	7,06	7,19	5,93	6,19	6,07	7,73
	0,43	0,81	2,00	1,81	1,93	0,20
	0,51	—	0,07	—	—	0,07
	—	0,07	—	0,07	0,16	—
	0,52	0,12	0,40	0,11	0,16	0,07
	0,31	0,92	0,62	1,37	1,11	1,36
	1,29	1,26	3,28	3,14	3,17	1,41
	0,09	0,07	0,11	0,14	0,08	0,06
	2,79	2,53	0,60	0,16	0,31	2,11
	0,50	1,59	1,76	1,39	1,54	0,36
	0,27	0,30	0,45	0,44	0,43	0,27
	2,06	1,29	0,63	1,37	1,07	1,73
	1,03	0,79	2,13	2,04	1,90	1,31
	—	1,21	0,87	0,08	0,10	0,69
	Титано- магнезио- арфведсо- нит (M90)	Катофо- рит (M65)	Гастин- гсит (M15)	Тарамит (M5)	Гастин- гсит (M9)	Рибекит (M60)

полита (2, 8); 6, 17 — из альбитита; 9, 14 — из щелочных сиенитов (2, 3); 12 — из гидротермальных прожилков в сиенитах.

Щелочные сиениты, постепенно переходящие в нефелиновые сиениты, рассматриваются либо как фации единой щелочной интрузии, либо как тыловая зона фенитизации. Кварцевые сиениты и щелочные граниты внешней каймы большинством исследователей в настоящее время считаются передовыми зонами фенитизации вмещающих гранито-гнейсов под воздействием щелочной интрузии. При воздействии этой интрузии на базиты образуются нефелинсодержащие основные породы — твейтозиты.

Амфибол и слюда в габброидах в количественном отношении развиты незначительно и являются вторичными минералами, образующими каемки замещения вокруг зерен пироксена. В кварцевых сиенитах преобладающий ПТМ — амфибол; пироксен развит в меньшей степени. Пироксен часто находится в симплектитовых сростаниях с оливином. Амфибол, кроме

Таблица 17 (окончание)

Компо- ненты	Амфибол		Слюда			
	13	14	15	16	17	18
SiO <sub>2</sub>	41,61	32,80	31,94	34,85	32,59	36,24
TiO <sub>2</sub>	1,29	3,50	1,55	0,62	1,10	2,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,15	12,89	13,98	13,61	14,20	11,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,31	2,88	12,19	7,94	7,03	6,41
FeO	10,10	30,62	25,12	27,88	30,05	21,28
MnO	0,26	0,54	0,76	0,46	0,80	3,85
MgO	19,75	3,33	1,39	1,60	1,65	5,50
CaO	0,15	1,26	0,96	0,99	1,19	0,43
K <sub>2</sub> O	9,17	9,37	7,08	7,90	7,26	8,09
Na <sub>2</sub> O	0,61	0,50	1,01	1,10	0,10	2,75
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,33	2,44	1,02	—	0,60	0,26
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	2,24	3,06	2,71	1,41
F	3,26	0,22	—	0,10	0,80	—
Сумма	101,99	100,35	99,24	100,11	100,08	99,13
Si	6,09	5,49	5,42	5,85	5,46	5,98
Al <sup>IV</sup>	1,93	2,53	2,58	2,15	2,54	2,02
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,19	0,53	0,25	0,18
Ti	0,14	0,44	0,20	0,08	0,14	0,27
Fe <sup>3+</sup>	0,25	0,36	1,55	0,99	0,88	0,79
Fe <sup>2+</sup>	1,24	4,28	3,56	3,92	4,20	2,94
Mn	0,01	0,07	0,11	0,07	0,11	0,47
Mg	4,31	0,82	0,36	0,40	0,41	1,35
Ca	0,03	0,22	0,17	0,18	0,21	0,07
K	1,72	2,01	1,53	1,70	1,55	1,71
Na	0,18	0,16	0,33	0,36	0,04	0,89
OH	2,27	2,71	3,69	3,41	3,58	1,83
F	1,51	0,13	—	0,05	0,42	—
	Флого- пит	Сидеро филит	Алюмо- лепидо- мелан	Лепидо- мелан	Сидеро- филит	Ангит

самостоятельных выделений, часто образует псевдоморфозы по пироксену. В щелочных и нефелиновых сиенитах главными ПТМ являются амфиболы и слюды; пироксены встречаются в виде редких реликтов в зернах амфибола. Слюда чаще образует самостоятельные выделения, но иногда развивается с замещением амфибола. В нефелиновых сиенитах наблюдается замещение зерен амфибола поздним длиннопризматическим пироксеном. Главным ПТМ мариуполитов является пироксен, хотя отмечаются также слюдяные и амфиболовые разности мариуполитов.

Несмотря на большое количество анализов ПТМ из Октябрьского массива, эти анализы довольно трудно использовать для выяснения эволюционных закономерностей изменения состава ПТМ. Отсутствуют анализы пироксенов из базитов и анализы ПТМ вмещающих гранито-гнейсов. Это делает невозможным сопоставление составов ни в гипотетическом эволюционном ряду базиты — щелочные сиениты — нефелиновые сиениты, ни по гипотети-

ческой зональности фенитизации: гнейсы — щелочные граниты — кварцевые сиениты — щелочные сиениты — нефелиновые сиениты.

Существующие анализы (табл. 17) дают возможность сравнить составы ПТМ щелочных и нефелиновых сиенитов, а также неизмененных и альбитизированных нефелиновых сиенитов.

В качестве сосуществующих пар минералов могут быть рассмотрены слюды и амфиболы щелочных и нефелиновых сиенитов, а также амфиболы и слюды твейтозитов и, возможно, пироксены и слюды мариуполитов. Сопоставление составов амфиболов из твейтозитов, шпиров в сиенитах, щелочных сиенитов и нефелиновых сиенитов показывает, что в этом ряду пород в амфиболах закономерно уменьшается количество магния и фтора, а увеличивается количество алюминия. Количество титана и щелочей меняется незакономерно. Сравнение составов пироксенов твейтозитов и мариуполитов, с учетом того, что большая часть пироксеновых мариуполитов развивается по переработанным базитам, показывает, что пироксены мариуполитов отличаются значительно более высокой щелочностью и меньшей магниевостью, количество титана и алюминия остается приблизительно одинаковым. Сходный характер имеет изменение составов пироксенов от сиенитов к мариуполитам. Составы пироксенов в пегматоидных нефелиновых сиенитах, альбитизированных пегматоидных нефелиновых сиенитах и мариуполитах практически идентичны.

Анализ изменений составов слюд от твейтозитов, через щелочные сиениты к нефелиновым сиенитам позволяет констатировать, что в этом ряду значительно уменьшается магниевость слюд и увеличивается их марганцевистость и алюминиевость. Сопоставление составов амфиболов и слюд из нефелиновых сиенитов и их альбитизированных разновидностей показывает, что в альбитизированных нефелиновых сиенитах, альбититах и мариуполитах эти минералы характеризуются более магнизиальными составами и содержат значительно больше марганца.

Из нефелиновых сиенитов массива впервые З.И. Морозевичем описан высокоглиноземистый субщелочный амфибол — тарамит [194], впоследствии обнаруженный в ряде других щелочных массивов [152].

Амфибол твейтозитов, соответствующий по составу магнезиоарфведсониту, но содержащий 0,52 атома титана, и может быть выделен в новую разновидность — титановый магнезиоарфведсонит.

Сравнение составов сосуществующих пироксенов и амфиболов из шпиров в сиенитах показывает, что магнизиальность амфиболов несколько выше магнизиальности пироксенов, щелочность амфиболов значительно выше щелочности пироксенов, а титанистость пироксенов выше титанистости амфиболов. В паре амфибол—слюда из щелочных сиенитов магнизиальность амфибола несколько ниже магнизиальности слюды, титанистость амфибола незначительно ниже титанистости слюды, марганцевистость амфибола выше марганцевистости слюды, содержание фтора в амфиболе выше его содержания в слюде.

В нефелиновых сиенитах магнизиальность амфиболов несколько ниже магнизиальности слюд, а их титанистость существенно ниже титанистости слюд. Марганцевистость амфиболов выше марганцевистости слюд.

## Черниговская зона

Карбонаты и прикарбонатные щелочные метасоматиты образуют вытянутое тело, приуроченное к Черниговской тектонической зоне. Вмещающими породами, представляющими субстрат, подвергающийся замещению, является гранитизированная архейская толща гнейсов с прослоями амфиболитов и кварцитов.

В обобщенном виде зональность фенитизации гнейсов можно представить следующим образом (в скобках приведены главные ПТМ пород): гнейсы (слюда, амфибол) – фениты (пироксен) – нефелиновые фениты (слюда) –

Таблица 18

Химический состав ПТМ Черниговской зоны, данные автора

Компоненты	Пироксен	Амфибол			Слюда			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	50,60	44,52	53,69	50,00	37,32	35,80	35,00	38,96
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,58	0,32	0,17	3,45	1,03	2,25	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не обн.	6,36	Не обн.	1,40	14,83	12,94	16,03	10,07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,22	12,61	7,30	7,90	12,66	17,04	21,00	8,25
FeO	4,89	5,41	7,67	4,13	5,35	9,94	3,22	4,43
MnO	0,70	0,45	0,49	0,20	0,15	0,60	0,18	0,18
MgO	8,60	13,46	16,55	18,74	14,39	10,25	10,43	23,55
CaO	20,96	9,46	6,65	11,35	0,54	1,20	0,80	1,70
Na <sub>2</sub> O	1,36	4,66	4,99	3,12	0,96	0,22	0,20	1,20
K <sub>2</sub> O	0,08	1,22	1,33	0,90	7,26	9,00	8,80	7,79
H <sub>2</sub> O	Не обн.	0,53	0,40	0,50	2,65	0,46	2,28	1,15
F	Не обн.	0,60	1,71	1,25	–	1,15	0,44	2,57
Сумма	99,65	99,71	100,40	99,14	99,56	99,39	100,67	99,61
Si	1,96	6,60	7,68	7,56	5,59	5,62	5,40	5,64
Al <sup>IV</sup>	–	1,12	–	0,25	2,41	2,38	2,60	1,72
Fe <sup>IV</sup>	0,04	0,28	0,32	0,19	–	–	–	0,49
Ti	0,01	0,07	0,03	0,02	0,39	0,13	0,26	0,05
Al <sup>VI</sup>	–	–	–	–	0,20	–	0,30	–
Fe <sup>3+</sup>	0,10	0,33	0,50	0,28	0,60	1,17	0,37	–
Fe <sup>2+</sup>	0,40	1,56	0,88	0,44	1,58	2,23	2,70	1,00
Mn	0,02	0,06	0,06	0,03	0,02	0,08	0,02	0,03
Mg	0,50	2,98	3,52	4,22	3,21	2,40	2,30	5,08
Ca	0,87	1,51	1,02	1,83	0,09	0,20	0,13	0,26
K	–	0,23	0,24	0,02	1,39	1,79	1,90	1,44
Na	0,10	1,34	1,39	0,91	0,16	0,03	0,06	0,33
OH	–	0,50	0,39	0,51	2,65	0,49	2,30	1,11
F	–	0,57	0,76	0,59	0,39	0,57	0,21	1,18
	Салит (10M55)	Катафорит (M65)	Рихтерит (M79)	Нагро-тремо-лит	Биотит (M67)	Лепидо-домелан (M52)	Алюмо-биотит (M46)	Тетра-феррит флого-пит

1 – из фенитизированного пегматоидного гранита; 2 – из амфибол-биотитовой реакционной зоны (нефелинизированной); 3 – из амфибол-карбонатных прожилков в фенитах; 4, 8 – из лейкократовых карбонатов; 5 – из пегматоидных гранитов; 6 – из карбонатизированных миаскитов; 7 – из меланократовых амфибол-биотитовых шпиров в карбонатах.

меланократовые реакционные прикарбонатитовые оторочки (слюда) — карбонатиты (оливин, слюда, амфибол).

Магнезиальность слюд (табл. 18) закономерно убывает от пегматоидных гранитов вмещающей толщи через нефелиновые фениты к прикарбонатитовым оторочкам. Магнезиальность слюд в самих карбонатитах резко возрастает и является максимальной для пород зоны. Алюминиевость слюд гнейсовой толщи и фенитов меняется незначительно; существенно падает она лишь в слюдах карбонатитов, что обуславливает вхождение части окисного железа в тетраэдрическую позицию. Титанистость слюд меняется не закономерно. Можно лишь констатировать, что наиболее титановыми являются слюды вмещающих гранито-гнейсов, а наименее титановыми — слюды карбонатитов. Для фтора характерен обратный характер распределения, т.е. максимумом в слюдах карбонатитов и минимумом в слюдах пегматоидных гранитов вмещающей толщи.

Амфибол карбонатитов характеризуется несколько необычным составом. Количество кальция в нем преобладает над количеством щелочей; алюминий отсутствует. Амфиболы такого состава встречаются очень редко, и, вероятно, могут быть названы натротремолитами.

Слюды карбонатитов представлены тетраферрифлогопитами, типичными для поздних карбонатитов.

Близко-одновременно формирующиеся минералы карбонатитов — флогопит и натротремолит — характеризуются следующими особенностями распределения компонентов. Магнезиальность амфибола выше магнезиальности слюды, алюминиевость слюды значительно выше алюминиевости амфибола, титанистость слюды выше титанистости амфибола.

### Покрово-Киреевский массив [53]

Представляет собой вулканоплутон сложной конфигурации. Наиболее ранние породы (пироксениты) перекрыты щелочными оливиновыми базальтами и лейцитовыми базальтоидами. Самыми поздними породами являются малиньиты и ювиты (крупнозернистые пойкилитовые нефели-

Таблица 19

Химический состав ПТМ Покрово-Киреевского, Тежсарского и Мегринского массивов [53, 2, 110, 90]

Компоненты	Пироксен	Слюда	Амфиболы		Пироксен	Амфибол	Слюда
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	48,72	35,06	37,47	37,61	49,43	37,94	36,40
TiO <sub>2</sub>	0,88	2,45	2,82	2,10	0,84	2,09	3,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,88	6,65	11,73	12,54	3,90	11,87	15,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,20	9,87	7,35	6,44	3,35	7,56	2,35
FeO	5,76	22,32	13,00	13,83	5,78	13,13	14,30
MnO	0,68	3,57	1,64	1,56	0,67	1,51	0,57
MgO	3,32	5,80	7,86	6,60	12,78	7,40	13,69
CaO	9,94	1,06	12,44	13,92	21,47	11,24	0,67
Na <sub>2</sub> O	7,85	1,29	2,03	2,00	1,07	2,78	0,48
K <sub>2</sub> O	0,79	8,42	2,45	2,25	0,26	2,06	9,05

Таблица 19 (окончание)

Компоненты	Пироксен	Слюда	Амфиболы		Пироксен	Амфибол	Слюда
	1	2	3	4	5	6	7
H <sub>2</sub> O	—	3,33	0,51	0,92	0,09	1,92	3,11
F	—	0,44	0,34	—	—	0,84	1,20
Сумма	100,22	100,08	100,34	99,80	99,82	100,34	100,48
Si	1,87	5,95	5,95	6,00	1,85	5,98	5,58
Al <sup>IV</sup>	0,09	1,34	1,93	2,00	0,15	2,02	2,42
Fe	0,04	0,71	0,12	—	—	—	—
Ti	0,03	0,32	0,33	0,25	0,02	0,07	0,40
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	0,36	0,02	0,20	0,29
Fe <sup>3+</sup>	0,54	0,55	0,80	0,77	0,09	0,90	0,26
Fe <sup>2+</sup>	0,18	3,16	1,78	1,84	0,18	1,72	1,88
Mn	0,03	0,51	0,25	0,21	—	0,20	0,08
Mg	0,19	1,46	1,84	1,58	0,71	1,73	3,12
Ca	0,41	0,19	2,22	2,38	0,87	1,88	0,10
Na	0,58	0,43	0,69	0,61	0,08	0,85	0,14
K	0,04	1,81	0,50	0,45	0,01	0,40	1,76
ОН	—	3,75	0,96	0,55	—	0,99	2,40
F	—	0,22	0,17	—	—	0,42	0,58
	Эгирин (62M51)	Тетрафер- риллепидо- мелан	Гастин- гсит (M47)	Гастин- гсит (M43)	Салит (9M80)	Гастин- гсит (M50)	Биотит (M62)

1, 2 — из ювитов, Покрово-Киреево; 3, 5, 6, 7 — из нефелиновых сиенитов; 4 — из щелочных сиенитов. 3, 4 — Тежсар, 5—7 — Мегринский массив.

новые сиениты), содержащие многочисленные ксенолиты щелочных базальтов. Главным ПТМ ювитов является пироксен, образующий крупные призматические зональные кристаллы, ядра которых имеют слабо-фиолетовую окраску, а периферические зоны — светло-зеленую. Слюда присутствует в небольших количествах в виде пойкилокристаллов.

Имеется всего два анализа ПТМ из пород массива — пироксена и слюда из ювитов (табл. 19). Эти минералы, не имеющие между собой реакционных взаимоотношений, могут рассматриваться как сосуществующие. Слюда имеет необычный состав, характеризующийся недостаточным количеством алюминия, что компенсируется вхождением окисного железа в тетраэдрическую позицию. По аналогии с тетраферрифлогопитом эта слюда может быть названа тетраферриллепидомеланом. Магнезиальность пироксена ниже магнезиальности слюды; титанистость и марганцевистость слюды значительно превышает соответствующие параметры пироксена.

#### ЗАКАВКАЗСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

Провинция включает ряд массивов Памбакского и Базумского хребтов Центральной Армении и одного массива Зангезурского хребта Южной Армении. Наиболее крупными интрузиями, содержащими нефелиновые сиениты, являются Тежсарская в Памбакском хребте и Мегринская в Зангезурском.

## Тежсарский массив [90]

Массив может быть назван вулcano-плутоном. Интрузивные образования: псевдолейцитовые, щелочные и нефелиновые сиениты прорывают щелочные эффузивы, представленные эпилейцитовыми порфирами, их туфами и туфобрекчиями. Интрузия имеет концентрически-зональное строение; внешняя зона сложена псевдолейцитовыми, внутренняя — щелочными сиенитами. Нефелиновые сиениты встречаются в виде отдельных участков и во внешней и во внутренней зонах массива. Все породы связаны постепенными переходами.

Главным ПТМ всех типов интрузивных пород является амфибол; слюда и пироксен встречаются в незначительных количествах. Пироксен замещается амфиболом. Характерной особенностью нефелиновых сиенитов является присутствие плагиоклаза, который обычно соответствует по составу олигоклазу, а в отдельных участках — андезину и лабрадору.

Амфиболы щелочных и нефелиновых сиенитов представлены гастингитами близкого состава (см. табл. 19). Можно лишь отметить, что амфибол щелочных сиенитов является более алюминиевистым и содержит меньше магния, чем амфибол нефелиновых сиенитов. Обращает на себя внимание очень большое количество кальция в составе этих амфиболов. Если это не связано с ошибкой анализа, то, видимо, часть кальция входит в позицию  $M_3$ . Необходимо произвести проверку анализов амфиболов этого массива.

## Мегринский массив [2]

Является сложным многофазным образованием. Выделяются следующие четыре основные фазы: (от более древних к более молодым): 1) габброиды, 2) монцониты, нефелиновые монцониты и щелочные сиениты, 3) лейкократовые граниты, 4) порфириовидные граниты.

Главный ПТМ нефелиновых и щелочных сиенитов — амфибол. Пироксен и слюда присутствуют в подчиненных количествах. Характерной особенностью нефелиновых сиенитов является преобладание плагиоклаза над калиевым полевым шпатом.

Сопоставление составов неравновесных, но сосуществующих ПТМ из нефелиновых сиенитов (см. табл. 19) показывает, что наибольшую магнезиальность имеет пироксен, а наименьшую — амфибол. Слюда имеет промежуточное значение магнезиальности. Щелочность амфибола значительно выше щелочности пироксена. Алюминиевость слюды выше, чем алюминиевость амфибола. Титанистость увеличивается в ряду пироксен — амфибол — слюда, количество фтора в слюде больше, чем в амфиболе.

## УРАЛЬСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Щелочной комплекс Вишневых — Ильменских гор [96, 55, 121]

Комплекс в виде узкой полосы протягивается с севера на юг вдоль восточного склона Урала. Он состоит из нефелиновых сиенитов (миаски-тов), фенитов (преимущественно пироксеновых), лейкократовых, биотит-полевошпатовых и меланократовых биотит-карбонатных пород и карбонатитов.

Таблица 20. Химический состав ПТМ Ильменских гор [96], данные автора

Компоненты	Амфибол							Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	50,87	43,10	41,75	39,04	40,56	39,49	37,47	35,33	34,17
TiO <sub>2</sub>	0,52	1,28	1,11	0,68	0,67	1,41	1,44	3,19	3,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,38	10,82	9,78	12,73	11,80	11,41	12,71	18,06	18,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,15	4,40	7,39	7,11	7,81	8,94	9,53	7,65	4,58
FeO	9,34	13,02	10,98	14,39	10,05	14,64	16,24	11,86	14,38
MnO	0,72	0,33	0,29	0,68	0,75	0,75	1,40	0,28	0,23
MgO	4,40	10,69	10,69	10,06	10,00	6,49	4,28	10,03	10,20
CaO	9,20	11,58	11,43	10,09	9,80	8,85	8,81	0,10	0,07
Na <sub>2</sub> O	6,87	1,87	2,90	2,07	2,89	3,17	3,99	1,38	1,72
K <sub>2</sub> O	0,41	0,90	0,94	1,94	1,90	2,54	3,30	9,34	8,66
H <sub>2</sub> O	0,52	1,37	2,46	0,57	2,39	1,73	2,29	3,07	3,36
F	—	0,07	—	0,98	—	0,90	0,63	0,24	0,24
Сумма	100,38	100,39	99,72	100,14	99,62	100,32	101,35	100,17	99,72
Si	1,95	6,43	6,30	5,81	6,22	6,17	5,95	5,50	5,34
Al <sup>IV</sup>	0,05	1,57	1,61	2,19	1,78	1,83	2,05	2,50	2,66
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti	0,01	0,14	0,13	0,08	0,08	0,17	0,17	0,38	0,36
Al <sup>VI</sup>	0,06	0,33	0,15	0,05	0,36	0,27	0,34	0,82	0,84
Fe <sup>3+</sup>	0,44	0,50	0,85	0,79	0,90	1,05	1,13	0,90	0,54
Fe <sup>2+</sup>	0,30	1,62	1,41	1,89	1,29	1,90	2,15	1,54	1,88
Mn	0,02	0,04	0,04	0,08	0,09	0,10	0,19	0,04	—
Mg	0,25	2,37	2,44	2,23	2,28	1,51	1,02	2,32	2,38
Ca	0,38	1,85	1,87	1,01	1,61	1,48	1,50	—	—
Na	0,51	0,54	0,86	0,59	1,16	0,97	1,24	0,40	0,52
K	0,02	0,18	0,18	0,36	0,37	0,51	0,46	1,86	1,72
OH	—	1,31	2,42	0,55	2,43	1,78	1,69	2,88	2,56
F	—	0,04	—	0,47	—	0,44	0,31	0,12	0,12
	Эгирин (53M45)	Магнезио- гастингсит (M59)	Магнезио- гастингсит (M63)	Магнезио- гастингсит (M54)	Магнезио- гастингсит (M61)	Тарамит (M39)	Тарамит (M30)	Биотит (M60)	Алюмо- биотит (M52)

Таблица 20 (окончание)

Компоненты	Слюда									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
SiO <sub>2</sub>	35,79	35,51	36,92	36,38	36,00	33,38	32,63	33,10	35,00	
TiO <sub>2</sub>	3,08	2,49	2,89	2,34	3,11	3,32	3,32	4,71	2,73	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,93	13,80	13,39	14,10	11,92	14,77	15,26	10,58	16,11	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,79	7,30	14,26	3,96	5,17	9,95	8,07	7,36	2,28	
FeO	9,43	16,12	5,55	17,93	16,79	16,36	19,45	17,65	16,88	
MnO	0,22	0,40	0,22	0,76	0,68	1,09	1,22	0,54	0,39	
MgO	10,76	9,10	12,14	12,03	10,88	6,61	5,24	9,20	8,47	
CaO	0,61	0,61	0,47	0,08	0,17	0,44	0,61	1,60	0,11	
Na <sub>2</sub> O	1,09	2,31	1,00	0,32	1,79	1,57	0,99	0,60	0,54	
K <sub>2</sub> O	7,83	8,85	7,06	8,59	9,14	8,24	8,42	10,10	8,68	
H <sub>2</sub> O	5,05	2,64	5,08	3,20	3,75	3,69	5,57	4,16	2,80	
F	0,28	1,57	0,68	—	1,60	0,61	0,82	0,29	0,19	
Сумма	99,86	100,70	100,18	99,69	101,00	100,03	101,70	99,96	100,18	
Si	5,68	5,74	5,89	5,59	5,78	5,48	5,42	5,55	5,78	
Al <sup>IV</sup>	2,32	2,26	2,11	2,41	2,22	2,52	2,58	2,09	2,22	
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	—	0,36	—	
Ti	0,37	0,30	0,34	0,27	0,38	0,40	0,41	0,59	0,34	
Al <sup>VI</sup>	0,65	0,36	0,38	0,13	0,04	0,34	0,41	—	0,92	
Fe <sup>3+</sup>	1,16	0,89	1,71	0,46	0,64	1,24	1,02	0,57	0,28	
Fe <sup>2+</sup>	1,25	2,18	0,74	2,29	2,26	2,25	2,70	2,48	2,33	
Mn	0,03	0,06	0,03	0,10	0,09	0,15	0,17	0,07	0,06	
Mg	2,54	2,20	2,86	2,75	2,60	1,62	1,29	2,29	2,07	
Ca	0,10	0,11	0,08	0,02	0,03	0,07	0,11	0,29	0,02	
Na	0,34	0,72	0,30	0,09	0,56	0,51	0,32	0,20	0,16	
K	1,58	1,83	1,42	1,68	1,87	1,72	1,78	2,15	1,83	
OH	3,86	3,32	3,64	3,28	3,19	3,68	3,17	4,69	3,08	
F	0,14	0,68	0,34	—	0,81	0,32	0,83	0,16	0,11	
	Окси- биотит (M66)	Биотит (M50)	Окси- биотит (M79)	Биотит (M55)	Биотит (M53)	Алюмоле- пидомелан (M44)	Алюмо- оксидбио- тит	Биотит (M 48)	Биотит (M 46)	

1, 14 — из фенитов (5, 6); 2 — из амфиболитов (9); 3, 12 — из гранитизированных амфиболитов (4,2); 4, 13 — из фенитизированных амфиболитов; 5 — из санденитов; 6, 15 — из сиенитов (2, 7); 7, 16 — из миаскитов (10, 11); 8 — из сланцев, 9 — из кварцитов; 10 — из плаггиогнейсов (8); 11 — из гранито-гнейсовых мигматитов (2); 17 — из карбонатитов (2); 18 — из биотит-полевощпатовой породы.

Таблица 21. Химический состав ПТМ Вишневых гор [55, 121, 51, 52, 70], данные автора

Компоненты	Пироксен					Амфибол				Слюда
	1	2	3	4	4а	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	49,56	50,48	50,48	51,22	50,39	54,54	53,57	36,84	53,60	35,78
TiO <sub>2</sub>	0,38	0,50	0,38	0,54	0,54	0,36	0,06	1,14	0,29	2,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	1,25	1,85	2,74	1,68	2,21	3,65	9,90	2,00	16,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,47	30,04	22,33	26,35	17,57	4,39	5,46	15,25	14,18	13,48
FeO	4,54	1,10	4,77	1,90	6,15	1,59	4,09	12,81	8,98	10,44
MnO	1,04	0,39	0,73	0,38	0,52	0,60	0,49	1,72	0,75	0,37
MgO	3,69	1,52	2,44	2,42	4,51	22,26	19,72	5,79	10,42	10,06
CaO	8,36	2,80	8,36	2,82	10,25	5,81	4,42	8,29	2,13	0,67
Na <sub>2</sub> O	4,12	9,18	8,06	10,14	6,08	5,40	6,32	3,77	4,78	0,31
K <sub>2</sub> O	0,81	1,26	0,24	0,84	0,15	2,77	2,40	2,14	0,84	8,71
H <sub>2</sub> O	—	0,68	0,10	0,30	1,16	Не обн.	Не обн.	0,50	2,07	Не обн.
F	—	—	—	—	0,10	0,77	0,73	0,34	2,08	—
П.п.п.	—	—	—	—	1,50	—	—	1,53	—	0,17
Сумма	99,90	99,20	99,81	99,74	—	100,43	100,65	99,88	100,35	99,91
Si	1,95	2,00	1,96	2,00	1,99	7,41	7,31	5,86	8,00	5,43
Al <sup>IV</sup>	—	—	0,04	—	—	0,35	0,59	1,86	—	2,57
Fe <sup>IV</sup>	0,05	—	—	—	—	0,24	0,10	0,28	—	—
Ti <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti <sup>VI</sup>	0,01	0,01	0,01	—	0,01	0,04	0,01	0,13	0,03	0,24
Al <sup>VI</sup>	—	0,06	0,05	0,12	0,08	—	—	—	0,44	0,49
Fe <sup>3+</sup>	0,78	0,90	0,65	0,77	0,52	0,21	0,46	1,56	0,90	1,53
Fe <sup>2+</sup>	0,15	0,04	0,15	0,06	0,20	0,18	0,47	1,70	1,90	1,32
Mn	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,07	0,06	0,23	0,09	0,05
Mg	0,22	0,09	0,14	0,14	0,27	4,50	4,01	1,38	2,40	2,27
Ca	0,36	0,12	0,35	0,11	0,44	0,85	0,65	1,42	0,43	0,11
Na	0,32	0,70	0,60	0,76	0,46	1,42	1,68	1,17	1,32	0,09
K	0,04	0,07	0,01	0,04	0,01	0,48	0,42	0,42	0,05	1,68
OH	—	0,19	—	—	0,32	—	—	0,54	1,36	—
F	—	—	—	—	0,14	0,31	0,30	0,65	0,64	0,08
	Эгирин (60M60)	Эгирин (77M70)	Эгирин (60M50)	Эгирин (80M70)	Эгирин (47M53)	Рихтерит (M94)	Магнезио-катофорит (M89)	Гастингсит (M41)	Магнезио-рибекит (M69)	Оксибиотит (M63)

1, 10 — из фенитов; 2 — из альпийских прожилков в фенитах Вишневогорский массив (3); 3, 14 — из пегматита нефелинового сиенита (3); 4 — из зоны альбитизации того же пегматита; 4а — из карбонатитов (2); 5 — из метасоматической зоны перекристаллизации в ультраосновной интрузии (зеленый); 6 — то же (черный); 7 — из амфиболитов; 8 — из амфибол-кварцевых прожилков в фенитах (3); 9 — из мигматита; 11 — из фенитов

Таблица 21 (окончание)

Компоненты	Слюда									
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SiO <sub>2</sub>	37,33	36,22	34,72	33,90	33,31	33,90	33,39	34,77	38,38	36,46
TiO <sub>2</sub>	2,90	2,52	1,30	2,33	3,11	4,22	3,65	3,45	1,40	2,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,58	11,21	17,85	14,46	14,88	15,16	17,10	16,76	13,11	11,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,73	4,10	6,55	4,33	8,83	4,69	6,65	6,25	7,01	3,27
FeO	17,06	14,54	12,62	21,91	19,72	22,91	14,99	14,98	18,58	19,80
MnO	0,11	1,45	0,56	1,20	0,72	0,91	0,54	0,34	0,79	0,38
MgO	13,84	14,72	14,15	7,19	7,67	5,20	8,94	10,96	9,16	11,15
CaO	0,17	0,45	0,75	0,66	0,19	1,30	0,33	0,37	—	0,42
Na <sub>2</sub> O	3,06	1,03	0,52	0,76	0,63	0,54	0,65	0,51	1,02	0,37
K <sub>2</sub> O	10,12	9,31	8,48	8,58	8,18	9,35	8,58	8,46	8,55	8,47
H <sub>2</sub> O	2,34	2,44	1,55	3,80	1,75	1,81	3,05	2,02	—	3,47
F	0,30	0,96	—	0,03	0,68	0,65	—	—	0,24	2,03
П.п.п.	2,50	2,52	0,17	0,95	0,39	—	0,47	0,13	1,55	3,72
Сумма	101,04	101,46	100,02	100,10	99,96	100,37	100,12	99,97	100,47	—
Si	5,70	5,58	5,08	5,50	5,28	5,50	5,34	5,35	5,92	5,72
Al <sup>IV</sup>	1,71	2,02	2,92	2,50	2,78	2,50	2,66	2,65	2,06	2,23
Fe <sup>IV</sup>	0,20	0,40	—	—	—	—	—	—	—	0,05
Ti <sup>IV</sup>	0,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ti <sup>VI</sup>	—	0,28	0,14	0,29	0,38	0,52	0,44	0,41	0,16	0,36
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,16	0,30	—	0,41	0,56	0,40	0,34	—
Fe <sup>3+</sup>	—	0,08	0,72	0,53	1,04	0,57	0,81	0,72	0,82	0,35
Fe <sup>2+</sup>	2,20	1,86	1,54	3,00	2,60	3,11	2,01	1,93	2,40	2,61
Mn	0,79	0,20	0,07	0,17	0,10	0,13	0,07	0,04	0,10	0,06
Mg	3,10	3,38	3,36	1,70	1,60	1,27	2,12	2,51	2,10	2,63
Ca	0,03	0,08	0,12	0,12	0,04	0,22	0,05	0,06	—	0,07
Na	0,90	0,30	0,15	0,24	0,20	0,18	0,21	0,15	0,32	0,11
K	2,00	1,82	1,62	1,58	1,64	1,95	1,74	1,66	1,68	1,68
OH	3,86	2,52	1,52	3,98	1,84	1,95	2,19	2,05	1,96	3,67
F	0,14	1,22	0,15	0,01	0,06	0,32	0,24	0,06	0,78	0,99
	Биотит (M50)	Биотит (M64)	Алюмо-биотит (M66)	Сидеро-филлит (M36)	Алюмо-лепидо-мелан (M36)	Алюмо-биотит (M51)	Алюмо-биотит (M56)	Биотит (M47)	Биотит (M50)	—

зирванного амфиболита; 12 — из сандыта; 13 — из сиенита; 15 — из миаскитов; 16 — из биотит-полевошпатовых метасоматитов; 17 — из биотит-карбонатных метасоматитов (3); 18 — из биотит-кальцитовых прожилков (2); 19 — из карбонатитов (7).

Комплекс залегает в гнейсовой толще, содержащей прослой амфиболитов и кварцитов, и окружен зоной мигматитов гранитного состава.

По мнению ряда исследователей, комплекс мог образоваться в результате воздействия на первично-осадочную толщу глубинных щелочно-углекислых эманаций [97]. Часть миаскитов, вероятно, представляет собой интенсивно замещенные гнейсы (нефелиновые мигматиты), а другая часть является продуктом кристаллизации выплавок, интрузирующих в верхние горизонты.

Щелочной процесс развивался с различной интенсивностью в зависимости от состава первичного субстрата. Хуже всего замещались амфиболиты, остающиеся в виде реликтов даже в интенсивно преобразованных породах. Полосы меланократовых амфиболовых миаскитов (сандыитов) в лейкократовых миаскитах рассматриваются большинством исследователей как реликты амфиболитов.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является слюда, в некоторых участках преобладает амфибол. Амфибол и слюда образуют как сростания, так и индивидуализированные выделения в массе лейкократовых минералов. Иногда наблюдается замещение амфибола биотитом. Отмечалось замещение биотита калиевым полевым шпатом и нефелином с параллельным образованием магнетита.

Среди фенитов преобладают пироксеновые разности. Встречающийся в этих породах амфибол образует сростания с пироксеном. В амфиболе иногда наблюдаются реликты пироксена.

Значительное количество анализов амфиболов и слюд из пород щелочного комплекса и вмещающего его субстрата позволяет проследить эволюцию составов этих минералов от кристаллических сланцев через гнейсы, мигматиты и фениты к миаскитам (табл. 20,21), а затем от миаскитов через биотит-полевошпатовые породы к карбонат-биотитовым породам и карбонатитам.

От гнейсов к миаскитам в слюдах происходит закономерное и существенное увеличение железистости, количества марганца и фтора. При этом увеличение количеств марганца и фтора равномерное, а увеличение железистости наблюдается лишь от фенитов к сиенитам и миаскитам. От кристаллических сланцев до фенитов железистость меняется в небольших пределах, не обнаруживая четкой закономерности.

Алюминием и титаном обогащены слюды как сланцев так и миаскитов. В ходе щелочного процесса происходит обеднение этими элементами слюд гранитных мигматитов и фенитов, совпадающее пространственно с зоной выноса кремнекислоты из щелочного комплекса, что отмечалось и В.Я. Левиным [96]. Количество щелочей в слюдах меняется незначительно и незаконномерно. Изменение состава амфиболов от неизменных амфиболитов через гранитизированные и фенитизированные амфиболиты к сандинитам и миаскитам происходит в основном аналогично изменению состава слюд (увеличивается железистость, содержание фтора и марганца). Аналогично слюдам для амфиболов также отмечается минимум содержания алюминия и титана в мигматитах и фенитах.

По мере усиления щелочного процесса для амфиболов отмечается также и четкое закономерное увеличение количества щелочей и окисного железа.

От миаскитов к карбонатитам происходит уменьшение железистости

слюд, количества фтора и марганца. Уменьшение количества марганца в слюдах карбонатитов и карбонат-биотитовых пород, по-видимому, объясняется перераспределением марганца в кальцит, так как карбонатиты отличаются от всех пород комплекса резко повышенными содержаниями марганца.

### Щелочные метасоматиты Западного Урала

Эти образования развиты локально в пределах вулканической жерловины и ее ближайшего окружения с замещением эруптивной брекчии щелочных базальтов и вмещающей карбонатно-сланцевой толщи.

Выделяются четыре стадии формирования щелочных метасоматитов: перекристаллизация, микроклинизация, альбитизация и гематитизация.

В первую стадию по известковым прослоям в карбонатно-сланцевой толще образуются кальцифиры с мелкими игольчатыми кристаллами амфибола и короткопризматическими кристаллами пироксена; бурый таблитчатый амфибол из цемента эруптивных брекчий замещается агрегатом зеленого игольчатого амфибола. В стадию микроклинизации по эруптивным брекчиям развиваются микроклин-эгириновые породы, а по сланцам — биотит-микроклиновые породы прогрессивно все более и более лейкократовые вплоть до микроклинов. В стадию альбитизации по микроклин-эгириновым породам формируются флогопит-альбитовые, а по биотит-микроклиновым — биотит-альбитовые и рибекит-альбитовые. В стадию гематитизации по всем породам стадии альбитизации развиваются гематит-полевошпатовые метасоматиты. В поле микроклин-эгириновых метасоматитов встречен изолированный выход амфиболовых пегматоидных сиенитов.

Чрезвычайно пестрый состав метасоматитов, их мелкозернистость и отсутствие "проходных" через все стадии ПТМ затрудняют генетическую интерпретацию этих образований на основе составов ПТМ. Можно лишь констатировать, что амфибол вкрапленников эруптивных брекчий является керсутитом, типичным для щелочных базальтоидов (табл. 22), что является косвенным доказательством щелочного характера не только метасоматитов, но и первичного магматического субстрата. Все амфиболы метасоматитов, а также пегматоидных сиенитов близки по составу и относятся к низкотемпературным амфиболам—рибекитам. Таким образом, сравнивая составы амфиболов эруптивных брекчий и щелочных метасоматитов, можно отметить, что в ходе метасоматического процесса резко уменьшаются магнезиальность амфиболов и количество алюминия и титана в них, а увеличиваются щелочность, железистость и степень окисления железа. Довольно необычным является неизменность количества фтора в процессе эволюции.

Анализы пироксена и амфибола из метасоматитов начальной стадии показывают, что эта стадия характеризуется не только перекристаллизацией, но и некоторым приносом вещества, в частности, щелочей, так как пироксен представлен подщелоченным салитом 12M50, а амфибол — натротремолитом.

Все без исключения анализы слюд показывают избыток щелочей, что невозможно объяснить ошибкой всех анализов и требует особого рассмотрения и проверки.

Таблица 22

Химический состав ПТМ щелочных метасоматитов Западного Урала и Бердяушского массива, данные автора Е.М. Еськовой, А.А. Ганзеева [61]

Компоненты	Пироксен		Амфибол			
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	51,52	51,47	41,17	52,31	53,60	52,07
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,42	4,09	1,16	0,88	0,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,59	1,54	12,55	1,56	1,20	1,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,54	30,65	6,94	2,26	13,55	16,67
FeO	10,83	0,54	6,23	5,14	8,47	9,75
MnO	0,29	0,10	Следы	0,30	0,90	0,38
MgO	10,00	0,31	15,00	20,09	9,38	8,02
CaO	20,93	0,56	11,76	9,84	1,63	1,11
Na <sub>2</sub> O	1,37	11,65	8,55	4,21	5,51	5,36
K <sub>2</sub> O	0,20	1,95	2,15	1,27	2,02	2,21
H <sub>2</sub> O	0,36	0,68	1,00	1,31	0,56	1,60
F	—	0,09	0,78	0,52	0,70	0,79
Сумма	100,44	99,86	99,96	99,95	99,25	100,24
Si	2,01	2,00	5,82	7,45	7,94	7,70
Al <sup>IV</sup>	—	—	2,11	0,27	0,06	0,30
Fe <sup>IV</sup>	—	—	0,07	—	—	—
Ti	—	—	0,43	0,07	0,10	0,08
Al <sup>VI</sup>	—	0,07	—	—	0,15	0,04
Fe <sup>3+</sup>	0,15	0,89	0,07	0,24	1,51	1,86
Fe <sup>2+</sup>	0,34	0,02	0,74	0,61	1,05	1,21
Mn	—	—	—	0,03	0,12	—
Mg	0,50	0,02	3,16	4,27	2,07	1,76
Ca	0,87	0,03	1,79	1,51	0,26	—
K	—	—	0,39	0,24	0,37	0,41
Na	0,12	0,97	0,70	1,16	1,58	1,53
ОН	—	—	0,95	1,23	0,60	1,58
F	—	—	0,35	0,23	0,33	0,37
	Салит (12М65)	Акмит	Керсутит (М 80)	Нагро- тремо- лит	Рибекит (М 64)	Рибекит (М 58)

1 — из апоглинисто-карбонатных; 2 — из апоэффузионных эгирин-полевошпатовых; 3 — из эруптивных брекчий; 4 — из апоглинисто-карбонатных; 5 — из пегматоидных сиенитов; 6 — из рибекит-альбитовых; 7 — из поздних кварцевых прожилков; 8 — из апосланцевых слюдитов; 9 — из апосланцевых биотит-микроклиновых пород; 10 — из

	Слюда					Амфибол	
	7	8	9	10	11	12	13
	53,27	31,50	32,03	45,72	32,79	40,38	38,47
	0,33	0,54	2,25	0,52	3,36	3,07	0,92
	1,46	21,96	15,43	8,90	13,20	6,86	12,30
	15,95	11,67	7,25	0,61	5,55	8,53	7,97
	7,90	26,51	29,10	4,36	26,98	21,01	20,00
	0,15	0,93	0,76	0,18	1,06	0,74	0,60
	9,53	Следы	Следы	22,79	3,13	4,82	3,30
	1,88	1,44	1,15	0,37	0,37	9,34	9,98
	5,41	2,35	1,36	1,94	0,92	2,58	3,78
	2,36	7,17	7,62	11,33	10,80	Сл.	1,03
	1,94	2,81	2,78	—	0,36	1,72	1,69
	0,85	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,32	0,68	0,40
	100,63	99,78	99,74	99,72	99,00	99,73	99,36
	7,85	5,44	4,92	6,27	5,53	6,36	6,11
	0,15	2,56	3,08	—	2,47	1,29	1,89
	—	—	—	—	—	0,35	—
	0,04	0,30	0,06	0,05	0,43	0,37	0,11
	0,12	0,52	0,98	1,44	0,14	—	0,36
	1,77	0,94	1,37	0,50	0,71	0,65	0,96
	0,97	4,13	3,47	0,10	3,80	2,76	2,66
	0,02	0,11	0,12	—	0,15	0,09	0,09
	2,09	—	—	5,19	0,78	1,12	0,78
	0,30	0,21	0,24	0,05	0,06	1,57	1,61
	0,44	1,65	1,43	2,17	2,33	—	0,21
	1,54	0,47	0,71	0,29	0,30	0,76	1,15
	1,89	3,16	2,91	2,00	0,40	1,78	1,74
	0,40	—	—	2,00	0,16	0,08	0,26
	Рибекит (М 68)	Сидеро- филлит	Алюмоле- пидомелан	Флогопит	Аннит	Роговая об- манка (М 29)	Гастингсит (М 22)

альбит-флогопитовых пород; 11 — из поздних кальцитовых прожилков; 1—11 — Западный Урал; 12 — из кварцевого сиенита; 13 — из нефелинового сиенита; 12, 13 — Бердяушский массив.

## Бердяушский массив [63]

Представляет собой овальную в плане интрузию, залегающую в докембрийских карбонатных породах. Основной объем массива составляют граниты-рапакиви. В центральной части располагается небольшое тело нефелиновых сиенитов, окруженное мощной каймой щелочных сиенитов. Переход нефелиновых сиенитов в щелочные постепенный, по мере уменьше-

ния количества нефелина. Граниты являются более древними породами и прорываются как щелочными, так и нефелиновыми сиенитами.

Главным ПТМ нефелиновых и щелочных сиенитов является амфибол. Слюда присутствует в подчиненных количествах и в основном в качестве вторичного минерала, замещающего амфибол. Амфибол является главным ПТМ и кварцевых сиенитов (фашии гранитов-рапакиви).

Сопоставление составов амфиболов кварцевых и нефелиновых сиенитов

(табл. 22) показывает, что первые характеризуются большей магнезиальностью и более высоким содержанием титана, а вторые — большей щелочностью, алюминиевостью, более высокой степенью окисленности железа и существенно большим содержанием фтора.

#### ТУРКЕСТАН-АЛАЙСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

Интрузии биотитовых нефелиновых сиенитов провинции тесно ассоциируют с гранитоидами. В одних массивах (Шахи-Сафет, Дара-Пиоз и др.) наблюдаются постепенные переходы от гранитов к нефелиновым сиенитам, через промежуточные зоны сиенитов и кварцевых сиенитов, в других — нефелиновые сиениты являются последней фазой гранитоидных интрузий (Тозбулак, Турпи и др.). И, наконец, в третьих — мелкозернистые лейкократовые граниты пересекают интрузии нефелиновых сиенитов.

#### Массив Турпи

Сложен мелкозернистыми гранитами, щелочными и нефелиновыми сиенитами. С севера к массиву примыкает крупная интрузия гранодиоритов. Возрастные взаимоотношения пород определяются пересечением гранитами интрузии гранодиоритов, пересечением нефелиновыми и щелоч-

ными сиенитами гранитов и менее отчетливо выраженным пересечением нефелиновыми сиенитами щелочных сиенитов.

Щелочные и нефелиновые сиениты местами сильно альбитизированы, карбонатизированы, канкринитизированы и содалитизированы. Наиболее поздней фазой массива являются дайки кварцевых сиенитов.

Главный ПТМ всех типов пород — слюда, лишь для щелочных и нефелиновых сиенитов отмечаются существенно амфиболовые разности. Отсутствие четких реакционных взаимоотношений между амфиболами и слюдами в этих породах позволяет считать их близкоодновременными образованиями.

Для массива Турпи выполнено значительное количество анализов слюд (табл. 23), что позволяет не только проследить эволюционные изменения их состава, но и судить о степени изменчивости составов в одной породе.

Наиболее четко изменяющимся в серии пород массива параметром состава слюд является магнезиальность, уменьшающаяся от слюд гранодиоритов до слюд нефелиновых сиенитов. Обращает на себя внимание повышенная магнезиальность слюд альбититов, развивающихся по нефелиновым сиенитам, но, к сожалению, ограниченное количество анализов этих слюд не позволяет судить об их составе с надлежащей достоверностью. Степень окисленности железа в слюдах увеличивается от гранодиоритов к нефелиновым сиенитам и снова уменьшается в поздних кварцевых сиени-

Таблица 23

Химический состав ПТМ массива Турпи, данные автора, В.Д. Дусматова, А.И. Акрамова

Компоненты	Амфибол		Слюды	
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	36,33	35,93	36,29	36,82
TiO <sub>2</sub>	2,48	3,16	2,88	2,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,00	17,17	15,62	12,33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,31	4,20	7,85	20,33
FeO	20,51	18,34	19,89	15,50
MnO	0,63	0,25	0,25	0,51
MgO	2,18	8,98	5,42	1,70
CaO	11,18	0,65	1,15	2,45
Na <sub>2</sub> O	2,38	0,37	0,30	0,40
K <sub>2</sub> O	2,77	8,79	7,28	5,44
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,19	0,24	0,16
F	0,15	0,13	0,13	0,09
П.п.п.	—	2,13	1,19	2,08
Сумма	99,92	100,29	98,49	99,81
Si	6,00	5,55	5,80	6,14
Al <sup>IV</sup>	2,00	2,45	2,20	1,86
Ti	0,31	0,37	0,34	0,25
Al <sup>VI</sup>	0,10	0,68	0,74	1,86
Fe <sup>3+</sup>	1,30	0,48	0,94	2,53

Слюды				
5	6	7	8	9
32,61	32,98	33,74	29,52	32,60
2,30	2,84	2,83	1,12	3,15
17,57	17,13	18,97	16,08	16,80
9,79	7,25	8,80	7,61	10,74
24,69	27,48	23,80	28,90	24,46
0,69	0,54	0,45	0,63	0,43
0,78	0,65	0,64	2,25	0,47
0,36	0,47	0,34	0,40	0,56
0,43	0,55	0,40	0,51	0,46
8,85	8,95	8,75	8,70	8,50
—	—	—	3,78	—
0,70	0,12	0,08	0,13	0,16
0,12	0,10	0,12	0,10	0,16
1,55	0,90	1,06	—	1,71
100,40	100,31	99,96	99,73	100,20
5,38	5,34	5,49	4,95	5,41
2,62	2,66	2,51	3,05	2,53
0,29	0,35	0,34	0,11	0,40
0,80	0,44	0,13	0,13	0,70
1,22	0,89	0,18	0,97	1,34

Таблица 23 (окончание)

Компоненты	Амфибол		Слюды	
	1	2	3	4
Fe <sup>2+</sup>	2,20	2,37	2,64	2,16
Mn	0,17	0,04	0,03	0,07
Mg	0,54	2,07	1,29	0,42
Ca	2,00	0,11	0,20	0,44
Na	0,77	0,10	0,09	0,12
K	0,59	1,73	1,49	1,14
ОН	1,20	0,86	2,00	3,96
F	0,08	0,06	2,00	0,04
	Гастингсит (М 16)	Биотит (М 46)	Аннит	Лепидомелан

1 — из нефелиновых сиенитов; 2 — из гранодиоритов (I фаза) (4); 3 — из гранитов (II фаза) (2); 4 — из щелочного сиенита; 5 — из нефелиновых сиенитов (5); 6 — из

тах. Количество тетраэдрического алюминия уменьшается от слюд гранодиоритов к слюдам гранитов, а затем резко увеличивается в слюдах нефелиновых сиенитов и их измененных разновидностей. В слюдах поздних кварцевых сиенитов количество алюминия уменьшается.

Количество титана более или менее постоянно и не обнаруживает четких закономерностей изменения. Слюды и амфиболы массива характеризуются чрезвычайно низкими и постоянными содержаниями фтора. Содержания марганца минимальны в слюдах всех гранитных пород массива и максимальны в слюдах из щелочных и нефелиновых сиенитов.

Сопоставление составов амфиболов и слюд нефелиновых сиенитов показывает, что магнезиальность амфиболов выше магнезиальности слюд, степень окисленности железа в слюдах ниже этого параметра в амфиболах. Титанистость слюд и амфиболов практически одинакова. Марганцевистость амфиболов существенно выше марганцевистости слюд. Алюминиевость слюд значительно выше алюминиевости амфиболов.

Составы слюд из одной и той же породы варьируют незначительно, т.е. вариации состава в каждой фазе значительно меньше, чем при переходе от одной фазы к другой. Наблюдения такого порядка очень важны, так как позволят в дальнейшем установить такой параметр, как изменчивость состава ПТМ для пород различных генетических типов и определить для каждого типа пород достаточное количество анализов ПТМ для обоснованного суждения о их составе.

### Массив Дара-Пиоз

Расположен в труднодоступной водораздельной части Алайского хребта, чем объясняется его слабая геологическая изученность. Мелкозернистые лейкократовые турмалиновые граниты северной части массива постепенно переходят в кварцевые сиениты и щелочные сиениты южной части. В глыбовых развалах встречены пегматоидные нефелиновые сиениты, однако их генетическая позиция остается невыясненной. Большое распространение в

Компоненты	Слюды				
	5	6	7	8	9
	3,40	3,72	3,24	4,04	3,39
	0,08	0,07	0,07	0,08	0,06
	0,19	0,15	0,15	0,64	0,11
	0,06	0,08	0,07	0,07	0,10
	0,13	0,16	0,12	0,16	0,14
	1,83	1,84	1,82	1,85	1,79
	2,00	3,95	3,95	3,95	3,92
	2,00	0,05	0,05	0,05	0,08
	Алюмолепидомелан		Сидерофиллит		

канкринитизированных нефелиновых сиенитов (2); 7 — из альбитизированных нефелиновых сиенитов; 8 — из альбитита; 9 — из карбонатизированного нефелинового сиенита.

массиве имеют пегматоидные образования, пересекающие сиениты и кварцевые сиениты и отвечающие по составу щелочным гранитам. Пегматиты часто имеют зональное строение, пироксен-полевошпатовую крупнозернистую периферическую зону и центральную блоковую кварц-полевошпатовую зону, иногда с кварцевым ядром.

Альбитизация и карбонатизация развиты локально. Наиболее часто альбитизированы щелочные пегматиты. Вмещающие сланцы изменены на контакте с массивом незначительно, известняковые прослои, встречающиеся спорадически во вмещающей толще, близ контакта мраморизованы, в них встречаются крупные до 10 см в длину и 1 см в поперечнике кристаллы амфибола.

Главным первичным ПТМ гранитов является темная слюда, местами интенсивно замещенная светлой слюдой, в отдельных участках граниты становятся двуслюдяными. Главный ПТМ кварцевых щелочных сиенитов — пироксен. В щелочных пегматитах, наряду с пироксеном, встречается амфибол. Пироксен приурочен преимущественно к периферической зоне, амфибол — к альбитизированным участкам блоковой зоны около кварцевого ядра. Наблюдаются зональные кристаллы амфибола, в которых центральная часть сложена серым амфиболом, а тонкая до 1 мм кайма — красным.

Для массива Дара-Пиоз мы не имеем одного "проходящего" минерала, характерного для всех пород и потому провести анализ характера изменения состава ПТМ в предполагаемой эволюционной последовательности не представляется возможным.

Сопоставление составов темных слюд ранних гранитов и нефелиновых сиенитов (табл. 24) показывает, что магнезиальность первых из них значительно выше магнезиальности вторых. Степень окисленности слюд нефелиновых сиенитов существенно выше этой величины для слюд гранитов. Общая алюминиевость слюд гранитов значительно выше алюминиевости слюд из нефелиновых сиенитов; незначительно, но тоже выше и количество тетраэдрического алюминия. Эти слюды резко различаются по относительной

Таблица 24

Химический состав ПТМ массива Дара-Пиоз, по данным автора и В.Д. Дусматов:

Компоненты	Пироксен			Амфибол			Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	50,09	51,01	51,17	53,00	49,71	53,60	36,96	34,21
TiO <sub>2</sub>	1,00	1,40	0,75	0,97	1,10	0,47	3,27	3,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	0,88	0,95	0,27	Не обн.	0,49	16,55	11,75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,98	22,87	22,16	19,71	18,43	14,62	4,67	7,40
FeO	6,20	4,94	1,26	4,24	9,42	3,75	20,35	29,65
MnO	0,75	1,07	1,34	4,27	Не опр.	0,27	0,71	0,60
MgO	1,57	0,79	0,05	2,13	9,10	11,00	4,61	0,66
CaO	9,65	8,41	3,73	0,52	1,59	1,50	0,64	0,52
K <sub>2</sub> O	0,10	0,20	—	2,23	0,37	2,32	7,77	0,42
Na <sub>2</sub> O	7,82	8,00	11,00	9,56	7,64	10,03	1,48	8,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,10	0,12	0,10	—	—	—	0,09	—
F	—	—	—	1,39	1,47	3,80	0,74	0,26
H <sub>2</sub> O	0,71	0,39	0,45	0,58	1,50	Не обн.	2,66	2,23
Сумма	99,70	100,00	99,88	98,87	100,10	100,23	100,50	99,90
Si	2,01	2,01	2,12	8,91	8,11	8,11	5,85	5,75
Al <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	2,15	2,25
Ti	0,05	0,04	0,02	0,12	0,14	0,05	0,38	0,42
Al <sup>VI</sup>	0,01	0,04	0,05	0,06	Не обн.	0,09	1,14	0,23
Fe <sup>3+</sup>	0,67	0,68	0,67	2,48	2,25	1,66	0,48	0,72
Fe <sup>2+</sup>	0,22	0,16	0,04	0,59	1,28	0,47	2,81	4,08
Mn	0,02	0,04	0,04	0,61	—	0,04	0,09	0,07
Mg	0,02	0,05	0,01	0,23	2,22	2,49	1,11	0,23
Ca	0,29	0,36	0,16	0,09	0,28	0,25	0,08	0,04
Na	0,63	0,61	0,88	3,55	2,41	2,93	0,41	0,13
K	0,08	0,01	—	0,61	0,45	0,44	1,64	1,84
OH	—	0,10	0,14	0,65	1,63	0,20	2,59	2,65
F	—	—	—	0,75	0,77	1,82	0,39	0,14
	Эгирин (63M30)	Эгирин (62M20)	Акмит	Нагроарф- ведсонит (M 16)	Магнезио- арфвед- сонит (M 64)	Магнезио- арфведсо- нит (M 82)	Аннит	

1 — из щелочного сиенита; 2 — из кварц-пироксен-микроклинового пегматита; 3, 4 — из альбитизированного пегматита; 5 — из поздних прожилков в пегматите; 6 — из контактового мрамора; 7 — из гранита (1 фаза) (3); 8 — из нефелинового сиенита (2).

доле октаэдрического алюминия, которая составляет 0,34 для слюд из гранитов и 0,11 для слюд из нефелиновых сиенитов.

Для массива Дара-Пиоз представляется возможным сопоставить по составу амфибол из пегматита с амфиболом из контактных известняков, мраморизованных в результате внедрения интрузии. Амфибол из мраморизованных известняков отличается значительно более высокой магнезиальностью и существенно большим количеством фтора.

### Массив Шахисафед

Преобладающими породами являются кварцевые и щелочные сиениты; нефелиновые сиениты и граниты встречаются в подчиненном количестве. Исследователи массива отмечают наличие взаимных переходов от гранитов к нефелиновым сиенитам через занимающие промежуточное положение щелочные и кварцевые сиениты.

Главным ПТМ большинства пород является слюда, иногда в значительных количествах присутствует пироксен.

Слюды нефелиновых сиенитов (табл. 25) отличаются от слюд гранитов значительно большей железистостью, более высокой степенью окисленности железа, большим количеством щелочей и более низким содержанием алюминия. Количества марганца, титана и фтора приблизительно одинаковы. Слюды канкринитизированных, альбитизированных и карбонатизированных нефелиновых сиенитов существенно не отличаются по составу от слюд нефелиновых сиенитов, лишь железистость слюд зон карбонатизации несколько ниже, чем для слюд нефелиновых сиенитов.

Сравнение состава слюд нефелиновых сиенитов и контактных щелочных сиенитов показывает, что слюды последних отличаются значительно более высокой магнезиальностью, более низкой степенью окисленности железа, более низким содержанием алюминия, титана и щелочей и существенно более высоким содержанием фтора. Эти же тенденции продолжают при сопоставлении состава слюд из контактных сиенитов и контактных мраморов.

Изменение состава слюд в направлении контактных мраморов массива аналогично изменению состава амфиболов в направлении контактных мраморов массива Дара-Пиоз.

На примере массива Шахи-Сафед представляется возможность сравнения двух высокомагнезиальных амфиболов: высокотемпературного керсутита из поздних даек лампрофиров и низкотемпературного рихтерита из контактных мраморов. Первый из этих минералов при высокой магнезиальности характеризуется одновременно высокой алюминиевостью, титанистостью и высоким содержанием кальция, второй — низким уровнем содержания всех указанных компонентов и высоким содержанием фтора.

Состав пироксенов от нефелиновых сиенитов к их пегматоидным разностям меняется в основном за счет увеличения акмитовой составляющей и уменьшения геденбергитовой. Разноокрашенные зоны пироксенов из пегматоидных нефелиновых сиенитов отличаются по составу незначительно (на 0,08 атома натрия и 0,07 атома окисного железа).

Таблица 25

Химический состав ПТМ Шахисафедского массива, по данным В.Д. Дусматова

Компоненты	Пироксен			Амфибол	
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47,86	50,42	52,12	54,05	38,32
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,29	0,23	0,17	7,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,61	2,02	2,49	1,25	13,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,88	28,11	30,60	4,09	1,35
FeO	11,59	3,23	1,24	4,04	13,03
MnO	0,85	0,45	0,05	0,20	0,14
MgO	0,62	0,34	0,09	18,81	9,91
CaO	12,80	4,21	0,69	7,20	10,79
K <sub>2</sub> O	—	0,13	0,40	0,90	1,53
Na <sub>2</sub> O	6,00	10,19	11,32	6,40	2,84
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	0,04	0,05	0,05	0,08
H <sub>2</sub> O	1,22	0,47	0,37	3,27	1,20
F	—	0,03	0,06	0,98	0,15
Сумма	99,72	99,93	99,65	99,86	100,07
Si	1,93	1,98	2,05	7,82	5,72
Al <sup>IV</sup>	0,08	0,01	—	0,18	2,26
Fe	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	0,82
Al <sup>VI</sup>	—	0,07	0,11	0,03	0,12
Fe <sup>3+</sup>	0,51	0,83	0,90	0,44	0,15
Fe <sup>2+</sup>	0,39	0,11	0,04	0,49	1,63
Mn	0,03	0,01	—	0,02	0,02
Mg	0,04	0,02	—	4,06	2,22
Ca	0,55	0,18	0,03	1,12	1,73
K	—	—	—	—	0,29
Na	0,47	0,78	0,86	0,80	0,83
OH	—	—	—	3,16	1,21
F	—	—	—	0,44	0,07
	Эгирин (47M10)	Акмит		Напротремо- лит	Керсутит (M 57)

1, 7 — из нефелиновых сиенитов (2); 2 — из пегматитов нефелиновых сиенитов (3); 3 — из пегматитов нефелиновых сиенитов (зеленый, периферические части зональных кристаллов) (3); 4, 11 — из контактных мраморов; 5 — из лампрофиров (2); 6 — из

### Массив Рохшиф-Собах

Массив, залегающий в карбонатно-сланцевой толще, сложен щелочными, кварцевыми и нефелиновыми сиенитами с преобладанием щелочных сиенитов. В приконтактных частях массива довольно широко развиты гранатовые сиениты. Все разновидности постеленно сменяют друг друга. В периферической части массива имеется небольшой выход габброидов. Наблюдается ин-

Слюда					
6	7	8	9	10	11
34,38	32,97	33,27	32,87	36,58	39,45
2,83	2,93	1,84	3,10	0,96	0,55
19,03	13,31	12,34	12,40	10,98	13,17
1,52	7,61	10,04	8,45	3,10	2,38
21,64	27,86	25,74	25,95	24,34	12,11
0,25	0,39	0,37	0,28	0,41	0,23
7,10	2,73	2,63	3,03	10,56	16,12
0,42	0,41	0,41	0,31	0,60	0,56
9,03	8,42	8,00	8,73	8,40	9,04
0,20	0,60	0,68	0,53	0,29	0,65
0,32		0,45	0,39	0,38	0,30
2,90	3,66	4,52	4,31	2,60	2,77
0,60	0,38	0,45	0,31	1,75	2,51
100,22	101,27	100,74	100,66	100,95	99,84
5,34	5,56	5,63	5,57	5,65	5,75
2,66	2,42	2,37	2,43	2,01	2,26
—	0,02	—	—	0,35	—
0,33	0,36	0,24	0,40	0,12	0,07
0,81	0,08	0,11	0,05	—	0,19
0,17	1,08	1,29	1,08	—	0,11
2,81	3,75	3,65	3,68	3,14	1,54
0,04	0,06	0,05	0,04	0,06	0,03
1,64	0,68	0,66	0,75	2,43	4,08
0,07	0,08	0,07	0,05	0,10	0,13
1,77	1,82	1,73	1,87	1,65	1,68
0,06	0,20	0,23	0,16	0,09	0,17
3,01	4,16	5,12	4,87	2,67	
0,30	0,21	0,24	0,16	0,85	
Сидерофиллит		Лепидомелан		Бiotит (M 44)	Флогопит

турмалиновых гранитов; 8 — из альбититов (2); 9 — из зон карбонатизации; 10 — из контактных сиенитов.

тенсивная сиенитизация габброидов; в сиенитах встречаются многочисленные ксенолиты габброидов. В приконтактной части массива нефелиновые сиениты иногда имеют пегматоидный облик; они интенсивно содалитизированы, канкринитизированы и альбитизированы. Дайки лейкократовых гранитов пересекают все породы массива.

Главными ПТМ щелочных и нефелиновых сиенитов являются слюды и амфиболы. Выделяются участки амфиболовых, биотит-амфиболовых и

Таблица 26

Химический состав ПТМ массива Рохшиф-Собах, данные В.Д. Дусматова и автора

Компо- ненты	Амфибол		Слюда				
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	34,42	41,24	36,03	33,04	33,65	35,23	36,27
TiO <sub>2</sub>	1,56	0,63	1,35	0,96	2,06	1,84	2,83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,34	11,02	16,58	16,22	16,51	17,15	14,16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,48	4,07	2,15	5,76	5,78	4,00	1,89
FeO	20,67	22,44	18,38	27,74	23,45	21,94	21,43
MnO	0,74	0,61	0,33	1,00	0,57	0,50	0,58
MgO	2,90	4,07	11,90	1,15	5,01	6,77	9,61
CaO	12,21	10,92	0,73	3,55	0,98	0,28	1,10
Na <sub>2</sub> O	2,45	1,03	0,66	1,33	0,66	0,76	0,28
K <sub>2</sub> O	2,18	2,02	8,69	6,57	7,60	8,42	8,19
H <sub>2</sub> O	0,48	1,65	3,40	2,76	5,68	2,50	1,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0,06	0,05	0,17	0,10	0,10
F	0,49	0,90	0,25	0,12	0,42	0,29	1,79
Сумма	100,67	100,22	100,11	100,01	102,54	99,30	100,03
Si	5,44	6,45	5,22	5,55	5,52	5,53	5,69
Al <sup>IV</sup>	2,56	1,55	2,78	2,45	2,48	2,47	2,31
Ti	0,19	0,08	0,61	0,13	0,25	0,22	0,08
Al <sup>VI</sup>	0,67	0,48	0,24	0,76	0,68	0,72	0,48
Fe <sup>3+</sup>	0,65	0,49	0,22	0,77	0,55	0,53	0,49
Fe <sup>2+</sup>	2,72	2,93	2,53	3,90	2,99	2,88	2,93
Mn	0,09	0,08	0,06	0,14	0,08	0,07	0,08
Mg	0,68	0,95	2,80	0,30	1,46	1,60	0,95
Ca	2,07	1,82	0,07	0,65	0,12	0,05	1,82
K	0,44	0,39	1,64	0,36	1,65	0,10	0,39
Na	0,76	0,30	0,06	1,41	0,08	1,68	0,90
OH	0,44	1,37	3,28	3,13	2,82	2,62	1,88
F	0,25	0,44	0,15	0,02	0,19	0,15	0,89
	Гастинг- сит (M20)	Гастингсит (M 27)	Биотит (M 52)	Аннит			

1,4 — из фенитизированных габбро; 2, 5 — из сиенитов; 3 — из габбро (2); 6 — из контактных сиенитов (4); 7 — из фенитов (2); 8 — из нефелиновых сиенитов (3); 9 — из содалитовых сиенитов (4); 10 — из канкринитовых сиенитов (2); 11 — из позд-

биотитовых сиенитов, между которыми наблюдаются постепенные переходы; реакционные взаимоотношения между слюдой и амфиболом, замещение амфибола слюдой отмечаются лишь спорадически. Выделения амфибола сравнительно идиоморфные, а слюда всегда резко ксеноморфна по отношению ко всем остальным породообразующим минералам.

Слюда нефелиновых сиенитов отличается от слюды щелочных сиенитов (табл. 26) большей железистостью, большим количеством окисного желе-

	Слюда							
	8	9	10	11	12	13	14	15
	31,59	32,79	31,71	35,08	32,10	33,23	37,46	35,71
	0,98	0,54	0,53	2,23	0,74	0,10	0,70	3,55
	16,72	19,31	19,90	18,63	19,40	21,49	14,46	17,88
	5,86	3,77	1,48	2,88	6,37	1,51	0,0	2,46
	28,32	29,80	28,73	22,30	25,84	29,08	20,46	18,94
	1,25	0,68	0,70	0,44	1,60	0,82	0,35	0,63
	1,48	0,74	0,11	5,68	1,26	0,00	13,33	8,34
	0,49	0,21	0,52	0,22	0,42	1,32	0,28	0,42
	0,76	0,85	0,84	0,79	0,13	0,27	0,16	0,22
	8,86	8,65	8,62	8,67	7,30	8,62	8,92	8,12
	3,55	3,57	3,40	2,85	4,70	3,10	2,00	2,78
	0,11	—	0,01	0,07	0,02	0,04	0,02	0,08
	0,15	0,15	0,11	0,80	0,05	0,50	1,00	0,20
	99,83	100,60	96,09	100,09	99,93	100,08	99,14	99,33
	5,31	5,42	5,25	5,56	5,28	5,49	5,66	5,66
	2,69	2,58	2,75	2,44	2,72	2,51	2,34	2,34
	0,13	0,06	0,07	0,27	0,09	0,01	0,42	0,42
	0,61	1,17	1,19	1,04	1,04	1,68	1,00	1,00
	0,74	0,47	0,42	0,34	0,78	0,18	0,30	0,30
	3,97	4,11	4,20	2,96	3,55	4,02	2,51	2,51
	0,18	0,10	0,10	0,06	0,23	0,11	0,09	0,09
	0,37	0,09	0,02	1,33	0,31	—	3,01	1,69
	0,08	0,04	0,10	0,04	0,07	0,23	0,05	0,07
	1,88	1,82	1,82	1,73	1,83	0,10	1,66	1,79
	0,18	0,12	0,08	0,07	0,05	1,81	0,05	0,07
	1,13	3,92	3,75	3,01	3,97	3,42	2,95	2,95
	0,11	0,08	0,05	0,40	0,03	0,26	0,10	0,10
	Сидерофиллит			Аннит	Сидерофиллит	Биотит (M70)	Аннит	

них гранитов (3); 12 — из альбитизированного сиенита; 13 — из альбитизированного нефелинового сиенита; 14 — из контактного мрамора; 15 — из альбитита по фенитам (2).

за, большими алюминиевостью и марганцевостью. Слюда поздних гранитов не продолжает тенденции изменения состава от щелочных до нефелиновых сиенитов. Она характеризуется большей, чем у слюды нефелиновых сиенитов, магниальностью и титанистостью, меньшими марганцевостью и алюминиевостью и меньшим количеством окисного железа.

Наиболее магниальными являются слюды габброидов и фенитов. Слюда фенитов обогащена фтором в большей мере, чем все остальные слюды массива.

Таблица 27

Химический состав ПТМ массивов Тутек-Деонасу и Ярмазар, данные автора

Компоненты	Амфибол			Слюда
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	38,88	49,71	38,30	32,03
TiO <sub>2</sub>	1,78	0,84	1,04	3,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,52	0,64	9,63	13,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,83	7,07	9,61	13,97
FeO	25,89	14,88	24,62	23,44
MnO	0,80	1,41	1,10	0,48
MgO	0,34	8,40	0,51	0,78
CaO	11,26	5,36	9,03	0,23
Na <sub>2</sub> O	1,42	5,55	3,02	0,30
K <sub>2</sub> O	2,02	1,51	2,41	8,31
H <sub>2</sub> O	1,26	1,91	1,20	3,29
F	Следы	—	0,12	0,16
П.п.п.	—	1,25	—	0,57
Сумма	100,63	99,53	100,18	99,60
Si	6,34	7,84	6,24	5,53
Al <sup>IV</sup>	1,66	0,06	1,76	2,47
Ti	0,23	0,09	0,13	0,39
Al <sup>VI</sup>	0,36	0,05	0,08	0,22
Fe <sup>3+</sup>	0,71	0,83	1,17	1,80
Fe <sup>2+</sup>	3,51	1,96	3,35	3,38
Mn	0,11	0,19	0,15	0,07
Mg	0,08	1,97	0,12	0,20
Ca	1,96	0,81	1,58	0,04
Na	0,45	1,70	0,94	1,82
K	0,41	0,30	0,49	0,10
ОН	1,35	2,01	1,31	3,75
F	—	—	0,07	0,08
	Гастингсит (М22)	Феррорихтерит (М47)	Гастингсит (М33)	Аннит

1 — из щелочных сиенитов, Ярмазар; 2 — из нефелиновых сиенитов, Тутек; 3, 4 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов, Деонасу.

Слюды канкринитовых и содалитовых сиенитов близки по составу слюдам нефелиновых сиенитов и отличаются лишь несколько меньшей магнезиальностью, меньшим количеством окисного железа и марганца.

Слюды альбитизированных сиенитов, нефелиновых сиенитов и фенитов отличаются меньшей магнезиальностью от слюд соответствующих неизменных пород.

В остальном составы практически не меняются.

В паре сосуществующих ПТМ сиенитов (амфибол — слюда) амфибол является более железистым и содержит больше фтора. Алюминий и титан накапливаются преимущественно в слюде.

Таблица 28

Химический состав ПТМ массивов Джилису, Ходжачкан, Кульп [110]

Компо- ненты	Пироксен			Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	51,06	29,50	51,26	35,96	35,48	36,64
TiO <sub>2</sub>	1,12	0,71	1,04	2,33	1,71	2,03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,68	4,18	3,38	10,70	13,91	17,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,99	10,27	25,95	5,97	5,32	3,35
FeO	4,79	12,46	2,88	26,14	24,93	26,54
MnO	0,58	0,81	0,07	0,81	0,92	1,29
MgO	1,17	4,35	0,69	0,27	0,24	0,36
CaO	5,33	11,06	2,64	10,44	10,76	0,75
Na <sub>2</sub> O	8,97	5,87	12,25	2,74	1,87	0,74
K <sub>2</sub> O	—	0,65	0,06	2,07	2,18	8,52
H <sub>2</sub> O	—	0,40	—	1,82	1,86	3,25
F	—	—	—	—	—	0,40
П.п.п.	0,41	—	0,10	1,25	1,12	—
Сумма	99,10	100,26	100,41	100,50	100,30	100,17
Si	2,02	1,90	1,95	6,01	5,84	5,80
Al <sup>IV</sup>	—	0,10	0,05	1,99	2,16	2,20
Ti	0,03	0,02	0,03	0,29	0,21	0,25
Al <sup>VI</sup>	0,03	0,09	0,09	0,12	0,43	1,34
Fe <sup>3+</sup>	0,75	0,29	0,74	0,76	0,65	0,42
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,40	0,09	3,65	3,43	3,71
Mn	0,02	0,03	0,02	0,11	0,13	0,18
Mg	0,07	0,25	0,03	0,06	0,05	0,09
Ca	0,23	0,45	0,10	1,86	1,91	0,14
Na	0,69	0,44	0,89	0,88	0,61	0,22
K	—	0,03	—	0,44	0,45	1,81
OH	—	—	—	2,01	2,00	3,64
F	—	—	—	—	—	0,26
	Эгирин (69M30)	Эгирин (47M40)	Акмит	Гастингсит (M2)	Гастингсит (M1)	Аннит

1 — из нефелиновых сиенитов, Джилису; 2 — из нефелиновых сиенитов, Ходжачкан; 3 — из альбититов, Джилису; 4 — из нефелиновых сиенитов, Кульп; 5 — из пегматоидных сиенитов, Кульп; 6 — из пегматоидных сиенитов, Джилису.

Ниже (табл. 27—30) приводятся разрозненные анализы ПТМ пород других щелочных интрузий Туркестан-Алайской и Тянь-Шанской провинций.

Сравнение составов амфибола и слюды из пегматоидных нефелиновых сиенитов Деонасу показывает, что алюминиевость и титанистость\* слюды значительно выше, чем амфибола; для слюды выше и степень окисленности железа. Содержание марганца в амфиболе выше, чем в слюде. Магнезиальность обоих минералов очень низкая и приблизительно одинаковая.

Гастингсит нефелиновых сиенитов Кульпского массива является несколько более щелочным и содержит больше титана и существенно мень-

Таблица 29

Химический состав ПТМ массивов Матча, Утрен и ледника Рейгордского [71]

Компоненты	Пироксен		Амфибол	Слюда	Амфибол	Пироксен
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	47,15	49,57	48,41	33,54	37,43	50,63
TiO <sub>2</sub>	0,57	0,84	1,08	2,14	0,57	0,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,31	1,43	4,78	17,39	9,86	1,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,39	17,95	10,66	3,55	5,63	21,33
FeO	16,24	9,95	17,40	27,37	25,30	8,83
MnO	0,66	0,76	0,45	0,51	2,03	0,51
MgO	0,08	1,24	3,48	1,05	1,16	0,42
CaO	11,41	10,60	5,79	1,33	11,23	8,26
Na <sub>2</sub> O	5,14	6,06	4,56	0,47	2,72	8,59
K <sub>2</sub> O	0,76	0,48	1,58	8,82	1,88	—
H <sub>2</sub> O	0,35	0,13	1,35	3,26	1,96	0,30
F	—	—	0,50	0,58	—	—
П.п.п.	—	1,11	0,07	—	—	—
Сумма	99,06	100,12	99,90	100,10	99,77	100,47
Si	1,91	1,99	7,58	5,65	6,22	1,97
Al <sup>IV</sup>	0,09	0,01	0,42	2,35	1,78	0,03
Ti	0,02	0,03	0,13	0,26	0,07	0,01
Al <sup>VI</sup>	0,07	0,05	0,46	1,11	0,16	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,41	0,54	1,26	0,45	0,70	0,63
Fe <sup>2+</sup>	0,35	0,34	2,27	3,85	3,51	0,29
Mn	0,02	0,03	0,07	0,07	0,28	0,02
Mg	0,01	0,07	0,81	0,26	0,28	0,02
Ca	0,49	0,46	0,97	0,23	2,00	0,35
Na	0,40	0,47	1,39	0,14	0,88	0,65
K	0,04	—	0,32	1,88	0,40	—
OH	—	—	1,43	3,66	2,18	—
F	—	—	0,24	0,91	—	—
	Эгирин (40M3)	Эгирин (50M17)	Феррорихтерит (M25)	Аннит	Гастингсит (M7)	Эгирин (65M4)

1—4 — массив Матчинский: 1, 3 — из нефелиновых сиенитов; 2 — из щелочных сиенитов (2); 4 — из микроклиновой биотитовой породы; 5 — из канкринитовых сиенитов массива ледника Рейгордского; 6 — из пегматоидного щелочного сиенита, Утрен.

ше алюминия, чем гастингсит щелочных сиенитов того же массива, что компенсируется вхождением большего количества окисного железа.

Сопоставление составов пироксенов из щелочных и нефелиновых сиенитов массива Матча не показывает сколько-нибудь существенных различий. Сравнение составов пироксена и амфибола из нефелиновых сиенитов этого массива позволяет отметить, что магнезиальность амфибола значительно выше магнезиальности пироксена, степень окисленности железа в пироксене выше степени окисленности железа в амфиболе.

Таблица 30

Химический состав амфиболов и слюд массивов Аксай, Ахбасай, Тозбулак, Орто-Токой, Сандык, данные автора, Ф.Н. Абдусаломова, [74]

Компо- ненты	Амфибол					Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO	37,05	42,00	47,50	41,17	39,12	35,25	34,57
TiO <sub>2</sub>	3,10	1,13	0,69	1,55	0,77	5,24	5,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,46	7,54	2,36	6,38	8,63	11,67	14,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,30	5,62	19,94	7,24	16,23	4,00	4,32
FeO	15,42	21,18	12,26	25,45	19,08	16,57	15,34
MnO	0,69	0,73	0,53	0,86	1,00	0,36	0,52
MgO	6,19	6,00	0,70	2,90	0,87	12,04	9,57
CaO	11,25	9,49	3,98	6,92	9,20	0,26	0,66
Na <sub>2</sub> O	2,15	3,09	8,59	3,80	2,79	—	0,28
K <sub>2</sub> O	2,15	1,64	2,18	1,62	2,00	8,74	8,20
H <sub>2</sub> O	0,78	0,57	0,22	1,42	0,34	3,00	4,47
F	0,29	1,45	0,12	1,05	—	2,50	1,47
Сумма	99,95	100,44	99,17	100,80	100,09	99,00	99,65
Si	5,77	6,56	7,95	6,55	6,35	5,61	5,58
Al <sup>IV</sup>	2,23	1,39	0,05	1,20	1,64	2,19	2,42
Fe	—	0,05	—	0,25	—	0,20	—
Ti	0,36	0,13	0,09	0,19	0,10	0,63	0,72
Al <sup>VI</sup>	0,24	—	0,40	—	—	—	0,31
Fe <sup>3+</sup>	0,86	0,61	2,51	0,61	1,97	0,28	0,52
Fe <sup>2+</sup>	2,00	2,77	1,72	3,39	2,60	2,20	2,07
Mn	0,09	0,09	0,07	0,12	0,14	0,05	0,07
Mg	1,44	1,40	0,17	0,69	0,21	2,85	2,30
Ca	1,89	1,59	0,71	1,17	1,60	0,04	0,11
Na	0,67	0,94	2,79	1,16	0,88	—	0,09
K	0,43	0,32	0,46	0,32	0,41	1,77	1,69
OH	0,82	0,62	0,22	1,49	0,35	3,18	3,25
F	0,15	0,74	0,06	0,55	—	1,33	0,75
Гастингсит (M37)	Натрогас- тингсит (M33)	Арфвед- сонит (M9)	Катафо- рит (M16)	Гастинг- сит (M7)	Титанобио- тит (M56)	Биотит (M52)	

1, 3, 5, 7 — из нефелиновых сиенитов: 1 — Аксай, 3 — Ахбасай, 5 — Тозбулак, 7 — Сандык; 2 — из аплитовидных нефелиновых сиенитов, Ахбасай; 4 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов, Ахбасай; 6 — из псевдолейцитовых сиенитов, Орто-Токой.

## ТЯНЬ-ШАНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Массив Орто-Токой (Кзыл-Омпул)

Массив залегает в песчано-сланцевой толще. Основной объем сложен гигантозернистыми щелочными сиенитами; кроме того, в строении массива участвуют граносиениты и граниты. Идиоморфные кристаллы калиево-натриевых полевых шпатов, достигающие размера 40 см, определяют структурный облик сиенитов. В зависимости от количества вкрапленников калиевого полевого шпата выделяются порфиновые и пегматоидные сиениты; ПТМ, представленные пироксенами, амфиболами и слюдами (с преобладанием амфиболов и слюд), заполняют интерстиции. Иногда интерстиции выполнены среднезернистым равномернозернистым сиенитом, состоящим из калиевого полевого шпата, андезина, пироксена, амфибола и слюды. В отдельных локальных участках эти интерстиции выполнены псевдолейцитовым сиенитом, который отличается от щелочного лишь присутствием в основной массе округлых, неравномерно распределенных выделений псевдолейцита и постепенно переходит в щелочной сиенит.

Среди ПТМ псевдолейцитовых разновидностей преобладает слюда, химический состав которой приведен в табл. 30.

### Сандыкский массив

Этот массив складывается в основном монзонит-сиенитовой серией пород, которая характеризуется постепенными переходами от более меланократовых пород к сиенитам.

Псевдолейцитовые и щелочные сиениты образуют ряд небольших дайкообразных секущих тел. В отдельных телах отмечается постепенный переход щелочных сиенитов в нефелиновые сиениты. Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является слюда, в подчиненных количествах присутствуют амфибол и пироксен; в сиенитах главный ПТМ — амфибол. Состав слюды нефелиновых сиенитов массива приведен в табл. 30.

### Массив Суртеке

Залегает в известково-сланцевой толще. Преобладающими породами являются щелочные и трахитоидные нефелиновые сиениты, которые прорываются кварцевыми сиенитами. Интенсивно развита фенитизация вмещающих пород. В эндоконтактной части интрузии наблюдаются щелочные пегматиты и альбититы. Альбитизации подвергаются также фениты.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является амфибол; местами в породе присутствует пироксен, иногда образующий реликты внутри выделений амфибола. В щелочных сиенитах наряду с амфиболом наблюдается слюда. Среди фенитизированных сланцев преобладают биотитовые разновидности.

Сопоставление составов амфиболов щелочных и нефелиновых сиенитов (табл. 31) показывает, что магнезиальность амфиболов из щелочных сиенитов выше магнезиальности амфиболов из нефелиновых сиенитов, значительно выше и их алюминиевость. Количество фтора также значительно выше в амфиболах щелочных сиенитов. Амфиболы нефелино-

Компоненты	Амфибол		Слюда	
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	37,67	37,72	32,91	41,34
TiO <sub>2</sub>	0,95	0,68	1,73	2,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,65	11,87	12,02	9,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,64	9,29	20,59	9,63
FeO	23,44	21,83	19,70	10,01
MnO	0,90	0,90	1,34	1,11
MgO	0,50	1,60	0,50	10,23
CaO	8,95	8,87	0,70	0,11
Na <sub>2</sub> O	3,07	2,20	Не обн.	1,59
K <sub>2</sub> O	2,03	3,65	7,62	8,97
H <sub>2</sub> O	1,74	0,88	2,81	3,09
F	0,08	0,79	0,11	2,21
Сумма	100,29	100,05	100,00	99,73
Si	6,25	6,08	5,61	6,74
Al <sup>IV</sup>	1,68	1,92	2,39	1,26
Fe	0,07	—	—	—
Ti	0,12	0,09	0,22	0,25
Al <sup>VI</sup>	—	0,35	0,03	0,58
Fe <sup>3+</sup>	1,39	1,13	2,64	1,18
Fe <sup>2+</sup>	3,25	2,93	2,81	1,36
Mn	0,13	0,13	0,18	0,16
Mg	0,12	0,39	0,12	2,48
Ca	1,60	1,53	0,13	0,02
Na	0,98	0,68	—	0,51
K	0,42	0,76	1,66	1,88
OH	1,90	0,95	3,18	2,86
F	0,04	0,40	0,06	1,14
	Натрогастингсит (M3)	Натрогастингсит (M11)	Лепидомелан	Биотит (M62)

1 — из нефелиновых сиенитов; 2, 3 — из щелочных сиенитов; 4 — из фенитов.

вых сиенитов характеризуются более высокой степенью окисленности железа и несколько более высокой титанистостью по сравнению с амфиболами щелочных сиенитов.

Сравнение составов слюд фенитов и сиенитов позволяет установить, что магнезиальность слюд фенитов значительно выше магнезиальности слюд из сиенитов и они содержат существенно больше фтора. Слюда из сиенита в то же время содержит значительно больше алюминия.

Из двух сосуществующих минералов щелочных сиенитов амфибол является более магнезиальным и содержит больше фтора, а слюда — более глиноземистой и титанистой.

## ЩЕЛОЧНЫЕ МАССИВЫ КАЗАХСТАНА

## Массив Кши-Орда [68]

Преобладающими породами массива являются нефелиновые сиениты, сменяющиеся в периферической части щелочными сиенитами. Жильная серия представлена преимущественно гранитными пегматитами, щелочными гранитами, граносиенитами. Местами нефелиновые сиениты интенсивно альбитизированы.

Таблица 32

Химический состав ПТМ массива Кши-Орда, [68], данные автора и А.А. Ганзеева

Компоненты	Амфибол			Слюда
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	38,10	37,80	38,99	33,30
TiO <sub>2</sub>	2,19	2,86	1,21	0,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,04	6,34	9,53	16,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,35	12,74	9,17	17,60
FeO	23,17	18,10	24,28	15,20
MnO	0,28	0,43	1,22	Следы
MgO	2,58	4,36	1,00	2,43
CaO	11,03	7,39	7,81	0,65
Na <sub>2</sub> O	3,64	2,60	2,68	0,65
K <sub>2</sub> O	2,12	1,60	3,36	4,36
H <sub>2</sub> O	1,13	1,14	0,63	7,97
F	1,01	0,99	0,86	Следы
Сумма	101,02	100,79	100,40	99,89
Si	6,70	6,20	6,40	5,63
Al <sup>IV</sup>	0,45	1,20	1,60	2,37
Fe	0,87	0,60	—	—
Ti	0,18	0,35	0,15	0,01
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,20	1,00
Fe <sup>3+</sup>	1,63	1,00	1,10	2,24
Fe <sup>2+</sup>	3,00	2,50	3,30	2,15
Mn	0,12	0,06	0,17	—
Mg	0,26	1,10	0,25	0,60
Ca	1,30	2,00	1,30	0,12
Na	1,50	0,84	0,86	0,22
K	0,36	0,34	0,70	0,96
OH	0,16	0,22	0,69	4,00
F	0,55	0,52	0,44	—
	Тетраферрика- тофорит (M8)	Тетраферригас- тингсит (M30)	Тарамит (M7)	Лепидомелан

1, 4 — из нефелиновых сиенитов (3); 2 — из нефелиновых сиенитов эндоконтактной фации; 3 — из альбитизированных нефелиновых сиенитов.

Таблица 33

Химический состав ПТМ массива Ири-Су, [1], данные автора

Компоненты	Амфибол		Слюда	
	1	2	3	
SiO <sub>2</sub>	36,46	32,60	34,10	
TiO <sub>2</sub>	2,94	3,57	3,90	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,82	15,62	15,10	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,27	3,30	0,70	
FeO	12,90	12,18	17,20	
MnO	0,53	—	—	
MgO	7,97	15,80	11,80	
CaO	12,44	3,48	3,50	
Na <sub>2</sub> O	1,49	2,30	2,21	
K <sub>2</sub> O	2,39	6,88	7,80	
H <sub>2</sub> O	0,64	2,82	1,30	
F	0,20	0,02	0,02	
Сумма	100,37	99,07	98,70	
Si	5,91	5,06	5,40	
Al <sup>IV</sup>	1,68	2,86	2,60	
Fe	0,41	0,08	—	
Ti	0,36	0,39	0,47	
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,22	
Fe <sup>3+</sup>	1,21	0,28	0,08	
Fe <sup>2+</sup>	1,75	1,60	2,27	
Mn	0,07	—	—	
Mg	1,92	3,67	2,79	
Ca	2,16	0,60	0,59	
Na	0,47	0,71	0,67	
K	0,49	1,37	1,58	
OH	0,69	3,42	1,37	
F	0,10	0,02	0,02	
	Гастингсит (M51)	Алюмобитит (M70)	Алюмобитит (M54)	

1 — из жилы нефелиновых сиенитов; 2 — из пироксенитов и шонкинитов; 3 — из монцонитов.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является амфибол, слюда развивается с замещением амфибола.

Состав амфиболов нефелиновых сиенитов непостоянен (табл. 32): в периферической зоне интрузии амфиболы значительно более магнезиальные, содержат больше кальция, алюминия и титана. Амфиболы альбитизированных разностей существенно не отличаются по составу от амфиболов неизменных нефелиновых сиенитов.

В табл. 33, 34 приведены разрозненные анализы ПТМ Ишимского массива и массива Ири-Су.

Таблица 34

Химический состав ПТМ Ишимского массива, [105], данные автора

Компо- ненты	Пироксен		Амфибол		Слюда		
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	42,80	45,80	54,20	36,80	35,40	35,05	34,36
TiO <sub>2</sub>	0,90	0,60	—	3,17	—	0,55	1,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,60	2,90	8,40	10,51	16,50	18,49	14,41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,60	23,80	4,00	10,53	3,42	3,30	11,54
FeO	4,70	5,80	3,20	15,11	13,10	19,10	16,49
MnO	Следы	2,60	0,12	0,47	Следы	—	0,99
MgO	12,40	0,30	10,50	6,32	17,70	12,72	10,56
CaO	21,90	6,20	7,50	12,39	0,81	0,30	0,56
Na <sub>2</sub> O	Следы	9,20	4,20	1,58	0,47	—	1,23
K <sub>2</sub> O	0,50	0,60	4,10	1,55	8,89	6,95	7,53
H <sub>2</sub> O	1,50	0,90	2,70	1,31	2,29	2,21	2,66
F	0,30	0,10	—	1,13	1,25	—	0,12
Сумма	99,20	99,10	99,40	100,87	99,93	98,67	100,73
Si	1,63	1,84	8,28	5,97	5,30	4,61	5,15
Al <sup>IV</sup>	0,37	0,14	—	1,86	2,70	3,10	2,53
Fe	—	—	—	0,13	—	0,28	0,31
Ti	0,02	0,02	—	0,26	0,40	0,06	0,10
Al <sup>VI</sup>	0,08	—	1,50	—	0,24	0,19	—
Fe <sup>3+</sup>	0,13	0,81	0,46	0,57	—	0,11	1,26
Fe <sup>2+</sup>	0,07	0,16	0,41	2,85	1,60	2,83	2,24
Mn	—	0,10	0,01	0,09	—	—	—
Mg	0,70	0,02	2,39	1,08	3,80	2,77	2,26
Ca	0,90	0,26	1,39	1,95	0,12	0,25	0,03
Na	—	0,71	1,25	0,63	0,16	—	0,10
K	0,02	0,03	0,81	0,53	1,70	1,36	1,48
ОН	—	—	2,0	1,50	0,12	1,71	1,50
F	—	—	—	0,30	0,60	—	—
	Фассаит	Эгирин (74M10)	Рихтерит (M80)	Гастингсит (M37)	Алюмо- биотит (M70)	Алюмо- биотит (M49)	Алюмо- биотит (M64)

1 — из эпидейцитовых пироксенитов; 2, 7 — из щелочных пегматитов; 3, 5 — из конгресситов; 4, 6 — из нефелиновых сиенитов (4) и (2).

ПРОВИНЦИЯ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ

Массив Кия-Шалтырь [7]

Залегают в эффузивно-карбонатной толще. Основную площадь массива занимает вытянутая в меридиональном направлении, согласно с простираем вмещающих пород, интрузия габброидов, к которой с запада при-

Таблица 35

Химический состав ПТМ щелочных массивов Кузнецкого Алатау, [6, 7, 120], данные автора

Компоненты	Пироксен				Амфиболы			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	46,81	44,89	45,33	44,56	47,16	39,22	38,93	36,28
TiO <sub>2</sub>	1,86	1,89	1,22	1,84	1,51	4,12	4,54	1,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,01	9,07	3,85	7,07	4,07	13,02	9,41	11,64
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,61	3,16	5,41	5,72	2,76	1,50	5,80	9,30
FeO	6,76	7,79	20,12	8,16	12,76	12,97	16,94	21,16
MnO	0,19	0,13	0,67	0,20	0,38	0,39	0,58	1,32
MgO	11,85	9,03	1,56	8,54	8,60	10,34	6,70	2,26
CaO	21,90	21,21	20,43	22,68	22,36	12,51	11,80	10,55
Na <sub>2</sub> O	0,20	—	1,18	0,72	0,84	2,78	2,50	2,92
K <sub>2</sub> O	0,14	—	0,16	0,24	0,04	1,34	1,30	1,87
H <sub>2</sub> O	0,39	—	0,33	0,32	Не обн.	1,55	0,86	1,25
Прочие	0,02	—	0,14	0,10	—	—	—	—
F	—	—	—	—	0,18	0,38	0,50	0,32
Сумма	99,76	99,17	100,40	100,12	100,60	99,96	99,69	100,39
Si	1,75	1,76	1,90	1,74	1,80	5,90	6,17	5,92
Al <sup>IV</sup>	0,25	0,24	0,10	0,26	0,18	2,10	1,75	2,08
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	0,08	—
Ti	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05	0,47	0,54	0,19
Al <sup>VI</sup>	0,10	0,18	0,09	0,07	—	0,20	—	0,17
Fe <sup>3+</sup>	0,05	0,09	0,17	0,12	0,08	0,16	0,01	1,14
Fe <sup>2+</sup>	0,11	0,12	0,58	0,27	0,41	1,60	2,25	2,88
Mn	0,01	—	0,02	0,01	0,01	0,05	0,08	0,18
Mg	0,66	0,53	0,10	0,50	0,49	2,30	1,58	0,55
Fe <sup>VIII</sup>	0,10	0,19	0,16	—	—	—	—	—
Ca	0,88	0,86	0,74	0,95	0,94	2,00	2,00	1,84
K	0,01	—	—	0,01	—	0,26	0,27	0,39
Na	0,01	—	0,10	0,05	0,07	0,81	0,76	0,92
ОН	—	—	—	—	—	—	0,90	1,38
	Авгит (M84)	Авгит (M81)	Ферро- авгит (M14)	Фасса- ит (M64)	Салит (M53)	Керсутит (M58)	Керсутит (M40)	Гастин- гсит (M15)

1 — из габбро; 2 — из тералита, Кия-Шалтырь; 4 — из уртита, Кия-Шалтырь; 3 — из ийолита, Кия-Шалтырь; 5 — из нефелиновых сиенитов, Горячегорский массив; 6 — из габбро, гора Патын; 7 — из нефелиновых сиенитов, Кия-Шалтырь; 8 — из нефелиновых сиенитов, гора Дедова (2).

мыкает меньшее по размерам вытянутое в том же направлении тело уртитов.

Возрастные взаимоотношения уртитов с габброидами определяются по интенсивной перекристаллизации и нефелинизации габброидов на контакте с урритами с образованием ийолитов и тералитов. И габброиды и урриты пересекаются маломощными (до 1 м) дайками нефелиновых сиенитов. В урритах наблюдается большое количество тел пегматоидных гранатовых ийолитов, имеющих неправильную форму, и поздних даек ийолит-порфиров и микройолитов.

Широко развит процесс штокверковой содалитизации, пиритизации и цеолитизации уртитов.

Главным ПТМ габброидов, уртитов, тералитов и пегматоидных ийолитов является пироксен, который образует резко ксеноморфные по отношению к плагиоклазу и нефелину кристаллы. Амфибол и слюда встречаются в подчиненных количествах и чаще всего в качестве вторичных минералов. В нефелиновых сиенитах главный ПТМ — амфибол, образующий крупные призматические кристаллы в породе.

В табл. 35 наряду с анализом ПТМ массива Кия-Шалтырь приведены данные по ПТМ Горячегогорского и Патынского массивов и массива горы Дедовой. Интрузивные породы Патынского массива представлены габброидами аналогичными габброидам массива Кия-Шалтырь, более поздними сиенитами и, наконец, нефелиновыми сиенитами. В габброидах Патынского массива интенсивно проявлено замещение пироксена бурым амфиболом (керсутит) вплоть до образования полных псевдоморфоз.

Массив горы Дедовой сложен лейкократовыми габбро и небольшим линзовидным телом нефелиновых сиенитов. Кроме того, наблюдается маломощная протяженная дайка амфиболовых нефелиновых сиенитов, аналогичная дайкам нефелиновых сиенитов массива Кия-Шалтырь, пересекающая габброиды.

Состав пироксенов массива Кия-Шалтырь закономерно меняется от ранних габброидов к урритам. В этом направлении уменьшаются магнезиальность пироксенов, количество железа в группе "X" и их алюминиевость. Незначительно увеличивается щелочность.

Пироксен из поздних даек гранатовых ийолитов является наиболее железистым.

## САЯНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Нижнесаянский массив [113]

Прорывает эффузивно-сланцевую толщу, которая под воздействием массива фенитизирована.

Периферическая зона массива сложена ийолитами, содержащими крупные ксенолиты пироксенитов. Центральная часть представляет собой карбонатитовый шток. В периферической зоне отмечены редкие дайки нефелиновых сиенитов; здесь же наблюдается альбитизация.

Выделяются четыре стадии карбонатитов. Карбонатиты первых двух стадий образуют кольцевые структуры (шток, кольцевые дайки). Карбо-

Таблица 36

Химический состав ПТМ карбонатитов Саянского массива и пироксенитов Жидойского массива

Компоненты	Саянский массив					
	Пироксен I	Слюда I		Пироксен II	Слюда II	
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	47,63	36,61	37,02	53,68	38,64	39,74
TiO <sub>2</sub>	1,56	2,12	1,07	0,28	0,99	0,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,79	15,61	15,52	0,73	11,38	12,30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,42	2,14	4,21	1,97	4,99	4,25
FeO	5,97	6,99	2,36	1,78	5,89	2,51
MnO	0,47	0,19	0,12	0,39	0,32	0,20
MgO	10,38	19,77	21,26	16,45	21,89	23,00
CaO	21,85	0,45	2,67	23,86	0,38	0,48
Na <sub>2</sub> O	1,91	1,06	0,50	1,11	0,77	0,79
K <sub>2</sub> O	0,63	8,98	9,34	0,39	9,67	9,76
H <sub>2</sub> O	—	5,09	5,50	0,25	4,67	5,99
F	—	0,18	0,17	—	0,65	0,59
Сумма	100,61	99,19	99,74	100,89	100,24	99,86
Si	1,80	5,49	5,57	1,96	5,78	5,91
Al <sup>IV</sup>	0,19	2,51	2,43	0,04	1,93	1,95
Fe <sup>VIII</sup>	—	—	—	—	0,31	0,13
Ti	0,04	0,24	0,12	—	0,10	0,02
Al <sup>VI</sup>	—	0,26	0,32	—	—	0,16
Fe <sup>3+</sup>	0,20	0,26	0,48	0,05	0,39	0,41
Fe <sup>2+</sup>	0,21	0,86	0,30	0,06	0,66	0,27
Mn	0,02	0,03	0,01	—	—	—
Mg	0,59	4,42	4,78	0,85	4,84	5,14
Ca	0,83	0,08	0,43	0,90	—	—
Na	0,14	0,32	0,15	0,08	0,18	0,22
K	0,03	1,74	1,79	0,02	1,90	1,84
ОН	—	3,36	3,21	—	2,90	3,40
F	—	0,09	0,08	—	0,30	0,28
	Салит	Истонит	Флогопит	Диопсид	Флогопит	
	(14М73)					

1, 2, 4, 5 — из пироксеновых карбонатитов (3, 2, 2, 5); 3, 6 — из форстеритовых карбонатитов (2, 7); 7 — из апофорстеритовых карбонатитов (2); 8 — из апопироксеновых карбонатитов (7); 9 — из карбонатитов (10); 10 — из карбонатитов (3); 11 — из перовскитового пироксенита; 12 — из ильменитового пироксенита.

натиты двух последних стадий контролируются пересекающимися линейными структурами.

Состав ПТМ карбонатитов (табл. 36) закономерно меняется от первой стадии ко второй и затем от второй к четвертой. Экстремум составов при переходе от второй к третьей стадии, вероятно, не случаен и отвечает

Таблица 36 (окончание)

Компо- ненты	Сахинский массив				Жидойский массив	
	Амфибол III		Слюда III	Амфибол IV	Пироксен	
	7	8	9	10	11	12
SiO <sub>2</sub>	55,25	53,59	38,74	54,15	45,12	46,52
TiO <sub>2</sub>	0,67	0,66	1,08	0,44	3,35	2,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,51	1,25	13,17	1,60	6,24	3,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,40	8,36	4,72	13,71	4,23	5,59
FeO	2,41	4,32	3,59	5,99	2,87	3,59
MnO	0,08	0,14	0,17	—	Следы	0,17
MgO	19,79	16,38	21,91	11,99	13,51	13,38
CaO	3,58	3,06	0,38	0,32	22,51	23,84
Na <sub>2</sub> O	7,22	7,46	0,71	7,77	0,65	0,63
K <sub>2</sub> O	1,68	1,94	9,66	1,41	—	—
H <sub>2</sub> O	2,90	2,67	5,31	1,15	Не опр.	0,36
F	0,37	0,29	0,54	1,08	—	—
Сумма	99,86	100,12	99,98	99,61	99,58	99,87
Si	7,81	7,82	5,73	7,84	1,69	1,76
Al <sup>IV</sup>	0,07	0,13	2,18	0,16	0,27	0,14
Fe <sup>VIII</sup>	0,80	0,09	—	—	0,04	0,10
Ti	0,07	0,06	0,11	0,05	0,09	0,08
Al <sup>VI</sup>	0,04	0,10	0,10	0,11	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,46	0,80	0,43	1,49	0,08	0,06
Fe <sup>2+</sup>	0,29	0,45	0,49	0,77	0,09	0,11
Mn	—	—	—	—	—	—
Mg	4,17	3,63	4,85	2,58	0,75	0,75
Ca	0,54	0,47	—	0,05	0,92	0,96
Na	1,83	1,18	0,20	2,17	0,06	0,04
K	0,31	0,30	1,81	0,25	—	—
OH	1,99	1,13	3,24	1,48	—	—
F	—	0,27	0,26	0,46	—	—
	Рихте- рит	Кальцио- магнезио- рибекит	Флого- пит	Рибе- кит	Фассаит (M90)	Диоп- сид

переходу от магматической к пневмато-гидротермальной стадии. Этот экстремум соответствует тектонической перестройке структур, контролирующих внедрение карбонатитов, с кольцевых на линейные с преимущественно метасоматическим способом формирования.

От первой ко второй стадии происходит увеличение магнезиальности пироксенов и слюд и резкое уменьшение в них количества алюминия. От второй стадии к четвертой происходит уменьшение магнезиальности амфиболов и слюд, увеличение щелочности амфибола и увеличение количества фтора в амфиболах и слюдах.

Составы слюд и амфиболов в карбонатитах одной и той же стадии, но

разных минеральных ассоциаций (пироксеновых или форстеритовых) отличаются незначительно. Достаточно надежной закономерностью является относительное обогащение слюд и амфиболов форстеритовых карбонатов магнием.

### Ботогольский массив [87]

Прорывает известняковую толщу. Массив характеризуется зональным строением. Центральная часть сложена трахитоидными нефелиновыми сиенитами, которые по периферии постепенно сменяются щелочными сиенитами, более меланократовыми по сравнению с нефелиновыми сиенитами.

Таблица 37

Химический состав ПТМ массива Ботогол [87]

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол	Слюда
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	43,88	48,09	47,44	45,18	38,86	31,86
TiO <sub>2</sub>	1,26	0,40	0,70	0,94	1,74	3,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,73	3,24	2,87	6,03	11,25	14,76
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,50	5,23	1,65	5,42	5,22	7,29
FeO	19,88	20,41	22,67	20,18	24,43	29,26
MnO	0,61	0,68	0,42	0,41	0,56	0,33
MgO	0,28	0,80	0,94	1,04	0,37	0,56
CaO	19,19	19,07	23,12	19,35	13,41	1,18
Na <sub>2</sub> O	1,91	2,36	0,26	1,19	2,18	0,47
K <sub>2</sub> O	0,32	0,13	0,33	0,32	1,66	8,23
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	0,62	2,40
Сумма	100,56	100,41	100,40	100,46	100,26	99,68
Si	1,77	1,95	1,92	1,81	6,38	5,46
Al <sup>IV</sup>	0,23	0,05	0,08	0,19	1,62	2,54
Ti	0,04	0,01	0,02	0,03	0,21	0,42
Al <sup>VI</sup>	0,04	0,04	0,06	0,09	0,55	0,40
Fe <sup>3+</sup>	0,24	0,16	0,05	0,16	0,65	0,34
Fe <sup>2+</sup>	0,67	0,70	0,79	0,62	3,35	4,16
Mn	0,02	0,03	—	0,02	0,08	0,04
Mg	0,02	0,05	0,06	0,06	0,10	0,14
Ca	0,83	0,83	1,00	0,85	2,35	0,20
Na	0,16	0,20	0,02	0,10	0,08	0,16
K	—	—	—	—	0,34	1,76
OH	—	—	—	—	0,40	1,88
	Геденбер- гит (16M2)	Геденбер- гит (20M6)	Геденбер- гит (M7)	Геденбер- гит (10M10)	Гастинг- сит (M3)	Сидерофил- лит

1, 5 — из нефелиновых сиенитов; 2 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов; 3 — из метасоматитов по нефелиновым сиенитам (светлый); 4 — то же (темный); 6 — из щелочных сиенитов.

В массиве содержатся многочисленные ксенолиты известняков и сланцев. Известняки на контакте с массивом местами интенсивно скарнированы.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является пироксен, который в сиенитах сменяется слюдой. Амфибол замещает пироксен первой генерации и замещается поздним зеленым пироксеном. Нефелиновые сиениты вдоль тектонических зон альбитизированы, канкринитизированы и либениритизированы.

Пироксен пегматоидных нефелиновых сиенитов (табл. 37) отличается от пироксена нефелиновых сиенитов лишь меньшей алюминиевостью при одинаковой щелочности и магнезиальности. Необычным является состав позднего светло-зеленого пироксена метасоматических зон, который развивается с замещением первичного пироксена нефелиновых сиенитов и амфибола, замещающего первичный пироксен. Обычно поздние светлые пироксены щелочных комплексов представлены акмитами. В этом же случае, требующем специального изучения, пироксен представлен почти чистым геденбергитом. Отличием этого пироксена от пироксена нефелиновых сиенитов является его более низкая алюминиевость. Из ПТМ нефелиновых сиенитов наибольшей магнезиальностью и титанистостью характеризуются слюды, наименьшей — пироксены. Амфиболы занимают промежуточное положение. Щелочность амфиболов выше щелочности пироксенов. Алюминиевость слюд выше алюминиевости амфиболов. Степень окисленности железа в пироксенах выше чем в амфиболах, а в слюдах имеет наименьшее значение.

### Северо-Восточная Тува [75]

Среднепалеозойский магматический комплекс Северо-Восточной Тувы представлен четырьмя магматическими фазами (от древних к молодым): 1) аляскиты, 2) сиениты, 3) граносиениты и граниты, 4) щелочные граниты. Во всех фазах встречаются пироксены, амфиболы и слюды, но только амфиболы являются "сквозными" минералами всех фаз.

Состав амфиболов (табл. 38) закономерно меняется от щелочных сиенитов ранней фазы к поздним щелочным гранитам; магнезиальность в этом направлении резко падает. Аналогичным образом уменьшается и титанистость. Щелочность же и количество фтора в амфиболах меняются, по-видимому, в зависимости от щелочности пород, обнаруживая отчетливый минимум в амфиболах граносиенитов. Алюминиевость амфиболов граносиенитов, напротив, максимальна.

Составы амфиболов из пегматитов щелочных гранитов и альбититов существенно не различаются от амфиболов щелочных гранитов, лишь магнезиальность амфибола из альбититов существенно ниже магнезиальности амфиболов из щелочных гранитов.

Характер изменения состава пироксенов от щелочных сиенитов к щелочным гранитам имеет ту же направленность, что и для амфиболов. Однако в пироксенах существенно уменьшается только их магнезиальность.

Щелочность амфиболов щелочных сиенитов и их титанистость выше таковых в пироксенах из этих пород. Магнезиальность амфиболов ниже магнезиальности пироксенов. В щелочных гранитах, напротив, магнезиальность амфиболов выше магнезиальности пироксенов.

Таблица 38

Химический состав ПТМ магматического комплекса Северо-Восточной Тувы [75, 110]

Компоненты	Пироксен		Амфибол			Слюда		
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	49,39	51,67	43,50	44,27	47,06	34,25	39,12	38,37
TiO <sub>2</sub>	1,17	0,95	2,90	2,50	0,66	4,82	3,35	3,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,35	2,77	6,80	6,37	1,56	12,06	11,74	10,57
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,90	28,72	7,07	8,59	19,14	6,79	7,49	14,70
FeO	12,23	1,70	19,01	18,57	18,57	21,78	17,91	20,39
MnO	1,09	0,29	1,29	1,79	0,66	0,48	2,45	0,47
MgO	9,79	0,35	4,80	3,60	0,29	7,57	5,83	0,12
CaO	16,52	0,93	6,85	7,36	2,17	1,13	1,48	0,39
Na <sub>2</sub> O	1,20	11,44	2,46	2,94	5,72	1,16	1,54	0,48
K <sub>2</sub> O	0,39	0,30	1,32	1,48	0,76	7,61	7,55	7,10
H <sub>2</sub> O	1,63	—	1,81	2,44	1,93	1,97	2,07	3,13
F	0,05	—	0,54	0,15	0,42	0,43	—	1,33
Сумма	100,71	99,12	98,35	100,06	98,94	100,05	100,53	100,45
Si	1,92	2,10	6,91	7,10	7,92	5,50	6,30	6,54
Al <sup>IV</sup>	0,08	—	0,44	0,90	0,08	2,29	1,70	1,46
Fe	—	—	0,65	—	—	0,21	—	—
Ti	0,04	0,03	0,35	0,28	0,17	0,58	0,42	0,44
Al <sup>VI</sup>	0,03	0,13	—	0,31	0,07	—	0,53	0,67
Fe <sup>3+</sup>	0,14	0,90	0,26	0,91	1,64	0,62	0,91	1,88
Fe <sup>2+</sup>	0,25	0,06	2,70	2,44	2,31	2,92	2,41	2,91
Fe <sup>2+</sup>	0,15	—	—	—	—	—	—	—
Mn	0,04	0,01	0,12	0,12	0,15	0,07	0,34	0,07
Mg	0,57	0,02	1,55	0,93	0,60	1,81	1,39	0,03
Ca	0,70	0,04	1,03	1,33	0,36	0,19	0,26	0,07
Na	0,09	0,67	1,26	1,01	1,80	0,37	0,46	0,16
K	0,02	0,01	0,24	0,25	0,28	1,56	1,57	1,54
ОН	—	—	1,47	1,90	1,60	2,14	2,27	3,52
F	—	—	0,50	0,15	0,35	0,20	—	0,70
	Малоалюминиевый авгит (M70)	Эгирин (67M25)	Тетраферрикатафорит (M35)	Катафорит (M27)	Рибекит (M20)	Титаноанит	Аннит	Лепидомелан

1, 3, 6 — из щелочных сиенитов (5, 6, 7); 2, 5, 8 — из щелочных гранитов (5, 16); 4, 7 — из граносиенитов (4, 2).

### Катунский массив [75]

Массив прорывает и фенитизирует карбонатно-сланцевую толщу. На контакте с известняками местами наблюдаются скарны. Преобладающей фазой массива являются трахитоидные нефелиновые сиениты. Жильная серия представлена пегматитами нефелиновых сиенитов, сиенитами и щелочными гранитами.

Таблица 39

Химический состав ПТМ Катунского массива [75, 110]

Компоненты	Пироксен		Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	43,50	51,19	41,73	49,34	31,55
TiO <sub>2</sub>	1,64	0,19	2,29	0,74	4,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,50	4,85	8,04	4,14	11,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,63	2,35	6,03	16,84	12,70
FeO	19,98	1,98	21,23	17,75	25,92
MnO	0,87	0,12	1,29	0,60	0,81
MgO	4,14	13,45	4,00	0,15	3,22
CaO	15,28	23,47	11,41	1,07	1,55
Na <sub>2</sub> O	2,72	0,10	2,57	5,69	1,08
K <sub>2</sub> O	0,76	0,03	1,55	0,94	6,93
H <sub>2</sub> O	0,74	—	1,65	3,74	0,86
F	0,15	—	0,34	—	0,18
Сумма	100,91	99,41	101,44	100,40	100,34
Si	1,71	1,91	6,35	7,95	5,22
Al <sup>IV</sup>	0,25	0,09	1,54	0,05	2,18
Fe	0,04	—	0,22	—	0,60
Ti	0,05	0,01	0,28	0,09	0,51
Al <sup>VI</sup>	—	0,13	—	0,37	—
Fe <sup>3+</sup>	0,14	0,07	0,73	2,19	0,99
Fe <sup>2+</sup>	0,65	0,06	2,92	2,33	3,55
Mn	0,03	—	0,16	0,08	0,11
Mg	0,25	0,75	0,92	0,05	0,84
Ca	0,65	0,98	1,81	0,11	0,28
Na	0,21	0,01	0,84	1,86	0,32
K	0,04	—	0,31	0,21	1,46
ОН	—	—	1,43	2,00	2,31
F	—	—	0,16	—	0,10
	Авгит (M26)	Диопсид	Гастингсит (M23)	Рибекит (M2)	Титанолепидомелан

1, 3, 5 — из нефелиновых сиенитов (2); 2 — из скарнов; 4 — из альбититов.

Главными ПТМ нефелиновых сиенитов являются пироксен и слюда; амфиболовые разности встречаются лишь в приконтактных участках.

Сравнение составов пироксенов массива (табл. 39) показывает, что в направлении от скарнов через контактные мельтейгиты и нефелиновые сиениты к нефелиновым сиенитам главной фазы наблюдается закономерное изменение состава. Повышается их щелочность, железистость и титанистость. Аллюминиевость пироксенов не обнаруживает закономерного изменения.

Из ПТМ нефелиновых сиенитов наиболее магниезальным является пироксен, наименее — слюда. Это необычное соотношение магниезальности, вероятно, указывает на одновременное образование этих минералов. Аллюминиевость и титанистость закономерно возрастают в ряду пироксен—амфибол—слюда. Щелочность амфибола несколько выше щелочности пироксена. Наиболее марганцовистым из трех минералов является

амфибол. Сравнение составов амфиболов из неизменных нефелиновых сиенитов и альбитизированных разновидностей показывает, что при альбитизации существенно растет щелочность амфиболов, уменьшается количество алюминия, магния и титана.

## ТУВИНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Массив Коргеретаба [140]

Массив, сложенный габброидами и нефелиновыми сиенитами, залегает в метаморфизованной карбонатной толще и более древних гранитоидах. Нефелиновые сиениты прорывают габброиды и интенсивно фенитизируют габбро и граниты. При фенитизации габбро образуются щелочные габброиды типа эссекситов. Пироксен при этом сменяется биотитом, а затем амфиболом.

Таблица 40

Химический состав ПТМ массива Коргеретаба [140]

Компоненты	Пироксен		Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	48,80	49,64	37,95	38,20	36,80
TiO <sub>2</sub>	1,25	1,17	3,44	3,49	3,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,31	2,30	11,81	10,42	13,50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,99	25,27	4,32	5,79	6,48
FeO	9,84	3,61	19,34	19,62	23,77
MnO	0,0	0,47	0,34	0,51	1,01
MgO	11,27	0,61	5,36	4,63	2,55
CaO	21,66	5,06	11,20	10,58	2,95
Na <sub>2</sub> O	0,90	11,13	2,60	2,65	1,74
K <sub>2</sub> O	0,29	0,18	1,94	2,04	6,79
H <sub>2</sub> O	0,87	0,55	1,00	1,13	1,52
F	Не опр.	—	0,60	0,34	—
Сумма	100,08	99,89	100,21	100,11	100,40
Si	1,90	1,90	6,00	6,10	5,90
Al <sup>IV</sup>	0,10	0,11	2,00	1,90	2,10
Ti	0,04	0,03	0,41	0,42	0,38
Al <sup>VI</sup>	0,05	0,01	0,20	0,10	0,50
Fe <sup>3+</sup>	0,06	0,75	0,51	0,69	0,78
Fe <sup>2+</sup>	0,30	0,11	2,56	2,60	3,20
Mn	—	0,02	0,04	0,07	0,14
Mg	0,70	0,03	1,27	1,60	0,61
Ca	0,90	0,21	1,92	1,89	0,51
Na	0,07	0,82	0,80	0,83	0,53
K	0,01	0,01	0,38	0,41	1,38
OH	—	—	1,06	1,20	1,60
F	—	—	0,30	0,17	—
	Салит (7M70)	Акмит	Гастингсит (M32)	Гастингсит (M41)	Аннит

1 — из эссекситов; 2 — из фойяитов; 3 — из щелочных сиенитов; 4 — из нефелиновых сиенитов.

Главным ПТМ габброидов и эссекситов является пироксен, нефелиновых сиенитов — амфибол. Встречающаяся в нефелиновых сиенитах слюда обычно развивается с замещением амфибола. Пироксен наблюдается в подчиненных количествах.

Сравнение составов пироксена, амфибола и слюды из нефелиновых сиенитов массива (табл. 40) показывает, что наиболее железистым является пироксен, наиболее магниальным — амфибол. Магниальность слюды несколько ниже магниальности амфибола. Щелочность пироксена превышает щелочность амфибола. Амфибол является незначительно более титанистым, чем слюда, и содержит меньше алюминия.

Сопоставление составов ПТМ нефелиновых сиенитов подтверждает геологические наблюдения о одновременном образовании этих минералов.

### Харлинский массив [139]

Залегает в карбонатной толще и имеет асимметричное концентрически-зональное строение. Периферическая часть сложена ийолитами, ядро — нефелиновыми сиенитами. Ийолиты содержат многочисленные ксенолиты

Таблица 41

Химический состав пироксенов Харлинского массива [139]

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47,16	49,29	48,39	39,86	46,15
TiO <sub>2</sub>	2,00	1,48	1,24	8,63	2,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,50	2,39	2,52	5,22	2,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,46	5,60	5,83	7,11	7,65
FeO	16,63	12,17	13,81	14,79	16,65
MnO	0,39	0,44	0,42	0,54	0,62
MgO	3,82	6,60	5,66	4,18	2,92
CaO	20,24	19,64	20,07	14,98	18,12
Na <sub>2</sub> O	2,10	2,64	1,50	3,21	2,87
K <sub>2</sub> O	0,09	0,10	0,17	0,92	0,12
H <sub>2</sub> O	—	0,47	0,23	0,91	0,53
Сумма	100,39	100,82	100,34	100,53	100,72
Si	1,86	1,89	1,89	1,59	1,84
Al	0,12	0,11	0,10	0,24	0,11
Fe	0,02	—	—	0,17	0,05
Ti	0,06	0,04	0,04	0,26	0,08
Fe <sup>3+</sup>	0,14	0,16	0,21	0,32	0,18
Fe <sup>2+</sup>	0,55	0,42	0,45	0,21	0,55
Mn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Mg	0,22	0,38	0,28	0,25	0,17
Ca	0,85	0,85	0,80	0,64	0,77
Na	0,16	0,14	0,22	0,25	0,22
K	—	—	—	0,05	—
	Геденбер- гит (16M24)	Салит (14M44)	Салит (22M40)	Фассант (25M55)	Геденбер- гит (22M23)

1 — из экзоконтактного кальцифира; 2 — из ийолита; 3 — из полевошпатового ийолита; 4 — из уррита; 5 — из нефелинового сиенита.

мраморов, имеют крайне непостоянный состав и в направлении к контакту с известняками обогащаются пироксеном и кальцитом и обедняются нефелином. Приконтактные мраморы содержат рассеянные кристаллы нефелина и пироксена. Это заставляет исследователей массива предполагать контактно-метасоматическое происхождение ийолитов.

Главным ПТМ всех типов пород является пироксен. Состав пироксенов в направлении от нефелиновых сиенитов центральной части массива через полевошпатовые ийолиты и ийолиты к экзоконтактным кальцифирам меняется незначительно (табл. 41). Немного уменьшается щелочность пироксенов и увеличивается магнезиальность. Алюминиевость, титанистость и степень окисленности железа пироксенов остаются приблизительно постоянными.

### **Баянкольский массив [82]**

Прорывает карбонатную и гнейсовую толщу и имеет сложное строение. Нижняя часть массива сложена лейкократовыми нефелиновыми сиенитами, верхняя представляет собой послынное чередование меланократовых нефелиновых сиенитов, малинитов и ювитов. Слоистая часть массива рассматривается одними исследователями как дифференцированная толща, другие — как реликтивно-слоистая толща фенитов. Фенитизация в районе массива развита очень интенсивно.

Главным ПТМ лейкократовых нефелиновых сиенитов является амфибол, местами интенсивно замещенный слюдой. В нефелиновых сиенитах слоистой толщи преобладает пироксен; иногда встречаются амфиболовые и слюдяные разности.

Химический состав ПТМ массива приведен в табл. 42.

### **Чахыртойское поле [81]**

Представляет собой систему инъекционных жил нефелиновых сиенитов в мраморах. Контактные-реакционные зоны жил представлены пироксеновыми породами и ийолитами.

Пироксены поля представлены эгиринами (табл. 43). В направлении от нефелиновых сиенитов к контактными кальцифирам увеличиваются щелочность и магнезиальность пироксенов, уменьшается их алюмининость.

## **ПРОВИНЦИЯ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА**

### **Заангарский массив [127]**

Залегает в известково-сланцевой толще. В плане имеет округлую изометрическую форму. Центральную часть массива слагают ийолиты, периферическую — нефелиновые сиениты. Ийолиты на глубине сменяются нефелиновыми сиенитами, аналогичными нефелиновым сиенитам периферической зоны. В нефелиновых сиенитах встречаются ксенолиты ийолитов. Широко развиты пегматиты нефелиновых сиенитов. Нефелиновые сиениты и их пегматиты, особенно в приконтактной части, интенсивно калишпатизированы, альбитизированы и карбонатизированы. В зоне контакта наблюдается флюоритизация. В известняках отмечаются флогопит-пироксеновые скарны.

Таблица 42

Химический состав ПТМ массивов Баянкол, Дахунур и Кия [82, 83, 125]

Компоненты	Пироксен	Слюда	Пироксен			Амфибол	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	45,65	29,96	44,34	44,46	44,46	51,14	49,83
TiO <sub>2</sub>	1,38	7,58	1,47	1,46	1,28	0,60	1,44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,83	13,67	6,18	4,80	5,46	0,85	3,38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,52	4,49	5,84	5,08	5,51	12,98	5,67
FeO	20,45	31,88	13,28	18,05	17,63	4,51	8,38
MgO	1,25	0,83	5,26	2,27	2,72	8,93	0,80
MnO	0,18	0,28	0,32	0,46	0,39	0,82	14,68
CaO	18,36	Не обн.	21,02	21,33	21,05	15,62	5,86
Na <sub>2</sub> O	2,15	0,27	1,62	1,60	1,08	4,80	5,74
K <sub>2</sub> O	Не обн.	8,08	0,06	0,07	Следы	—	2,01
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	То же	0,23	0,33	0,24	0,18	—	1,70
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,21	2,61	0,36	0,21	0,30	0,07	1,00
Сумма	99,98	100,24	100,08	100,39	100,43	100,49	100,27
Si	1,84	5,05	1,74	1,78	1,78	1,93	7,29
Al <sup>IV</sup>	0,16	2,71	0,26	0,23	0,22	0,04	0,58
Fe	—	0,24	—	—	—	0,03	0,13
Ti	0,04	0,96	0,05	0,05	0,04	0,02	0,16
Al <sup>VI</sup>	0,02	—	0,02	—	0,04	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,20	0,33	0,17	0,15	0,16	0,34	0,50
Fe <sup>2+</sup>	0,69	1,48	0,44	0,60	0,59	0,14	1,03
Mn	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,10
Mg	0,08	0,20	0,30	0,14	0,16	0,50	3,21
Ca	0,80	—	0,88	0,91	0,90	0,63	0,91
Na	0,17	0,10	0,12	0,12	0,09	0,35	1,62
K	—	1,74	—	—	—	—	0,37
OH	—	3,17	—	—	—	—	0,98
F	—	0,83	—	—	—	—	0,79
	Геден-бергит (17M10)	Титано-сидеро-филлит	Фасса-ит (12M42)	Геден-бергит (12M18)	Геден-бергит (9M21)	Эгирин (35M76)	Катафорит (M71)

1 — из нефелиновых сиенитов, Баянкольский; 2 — из лейкократовых нефелиновых сиенитов, Баянкольский; 3, 6 — из ийолита (3); 4 — из шорломитового ийолита, Дахунарский; 5 — из ксенолита мрамора; 7 — из амфибол-апатитовой породы.

Таблица 43

Химический состав пироксенов Чахыртойского поля [81]

Компоненты	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	47,12	45,58	47,86	49,14
TiO <sub>2</sub>	0,61	1,05	0,44	0,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,29	4,88	2,38	1,85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,39	10,20	10,00	10,33
FeO	18,76	19,15	18,27	13,91

Таблица 43 (окончание)

Компоненты	1	2	3	4
MgO	0,57	0,34	0,54	2,95
MnO	0,73	0,71	0,67	0,52
CaO	16,47	12,62	16,22	15,66
Na <sub>2</sub> O	3,70	4,59	3,43	4,59
K <sub>2</sub> O	0,21	0,83	0,22	0,10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,18	0,04	0,12	0,15
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,45	0,50	0,37	0,37
Сумма	100,48	100,58	100,52	100,14
Si	1,88	1,82	1,92	1,94
Al <sup>IV</sup>	0,12	0,18	0,08	0,06
Ti	0,02	0,03	0,01	0,01
Al <sup>VI</sup>	0,03	0,05	0,04	0,03
Fe <sup>3+</sup>	0,25	0,31	0,30	0,30
Fe <sup>2+</sup>	0,63	0,64	0,61	0,46
Mn	0,02	0,02	0,02	0,02
Mg	0,03	0,02	0,03	0,17
Ca	0,70	0,54	0,70	0,66
Na	0,29	0,35	0,27	0,35
K	0,01	0,04	0,01	—
	Эгирин (30M2)	Эгирин (39M3)	Эгирин (28M4)	Эгирин (33M20)

1 — из нефелинового сиенита; 2 — из пироксеновой породы; 3 — из щелочного сиенита; 4 — из пироксенового кальцифира.

Пироксены являются главными ПТМ интрузивных пород массива (ийолитов и нефелиновых сиенитов) и остаются главными ПТМ альбитизированных нефелиновых сиенитов. В то же время встречаются и амфиболовые разности альбититов. Амфибол является преобладающим минералом в калишпатизированных нефелиновых сиенитах. В зонах флюоритизации нефелиновых сиенитов преобладает слюда.

Макроскопически выделяются две разности пироксенов: черный призматический ийолитов, нефелиновых сиенитов и их пегматитов и зеленый (иногда бурый), игольчатый в зонах карбонатизации пегматитов, образующий спутанно-волокнистые агрегаты. Пироксены и амфиболы альбититов часто встречаются в виде призматических пойкилокристаллов.

Состав пироксенов альбитизированных нефелиновых сиенитов (табл. 44) отличается от состава пироксенов в неизмененных нефелиновых сиенитах несколько большей щелочностью. Слюды альбитизированных нефелиновых сиенитов отличаются от слюд нефелиновых сиенитов большей железистостью и значительно большей степенью окисленности железа. Слюды поздних гидротермальных прожилков в сиенитах характеризуются наиболее высокой магнезиальностью, низкой степенью окисленности железа и повышенным содержанием фтора.

Наиболее резко отличаются по составу слюды околоскарпатовых и альбититов в известняках, которые являются маложелезистыми и низкоалюминиевыми флогопитами, содержащими незначительное количество титана и наибольшие для массива количества фтора и лития.

Таблица 44

Химический состав ПТМ Заангарского массива [127, 128]

Компоненты	Пироксен		Амфибол		Слюда			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	50,49	51,65	53,45	52,27	34,17	35,56	37,82	46,76
TiO <sub>2</sub>	0,32	0,60	0,60	0,74	2,00	1,80	2,53	0,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,35	4,01	1,17	2,38	12,77	13,02	12,57	8,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,91	25,03	12,25	10,75	10,60	24,48	1,14	2,54
FeO	4,87	2,87	7,61	5,90	22,58	7,09	22,77	2,72
MnO	—	—	—	—	2,38	0,92	0,93	0,30
MgO	0,54	0,65	10,74	8,34	2,16	2,39	8,30	22,89
CaO	5,78	3,00	0,79	1,27	0,41	0,29	—	—
Na <sub>2</sub> O	10,60	11,24	7,88	8,70	0,58	0,83	1,08	1,44
K <sub>2</sub> O	0,34	0,43	1,46	2,40	7,23	6,60	8,98	10,16
H <sub>2</sub> O	0,44	0,49	2,25	1,66	4,42	5,58	2,07	1,65
F	—	—	—	—	0,28	0,49	1,94	4,40
Сумма		100,34	100,19	100,18	99,43	104,98	99,5	100,52
Si	1,92	1,98	7,90	8,06	5,54	6,01	6,12	6,60
Al <sup>IV</sup>	0,08	0,02	0,10	—	2,46	2,00	1,88	1,41
Ti	0,01	0,02	0,07	0,09	0,24	0,25	0,28	0,03
Al <sup>VI</sup>	0,08	0,16	0,11	0,44	—	0,86	0,53	—
Fe <sup>3+</sup>	0,66	0,72	1,36	1,25	1,29	2,96	0,14	0,27
Fe <sup>2+</sup>	0,15	0,08	0,94	0,76	3,07	1,63	3,00	0,18
Mn	0,02	0,01	0,16	0,49	0,33	0,08	0,04	0,03
Mg	0,03	0,04	2,36	1,91	1,07	0,20	2,01	4,81
Ca	0,24	0,12	0,12	0,21	0,07	—	0,09	—
Na	0,79	0,83	2,25	2,61	0,12	0,10	0,14	0,05
K	0,01	0,02	0,28	0,45	1,48	1,53	1,85	1,85
OH	—	—	2,12	1,48	1,82	3,94	2,24	1,53
F	—	—	0,39	1,13	0,16	0,06	0,98	1,96
	Эгирин (80M20)	Эгирин (85M33)	Магнези- оарфвед- сонит (M67)	Магне- зиоарф- ведсо- нит (M60)		Аннит	Биотит (M39)	Флого- пит

1 — из нефелиновых сиенитов; 2 — из альбитизированных нефелиновых сиенитов; 3 — из щелочного пегматита в известняках экзоконтакта; 4 — из амфиболового альбитита в известняках; 5 — из микроклинизированного нефелинового сиенита; 6 — из альбитизированного щелочного пегматита; 7 — из карбонатизированного нефелинового сиенита и поздних флюорит-сульфидных прожилков; 8 — из магнезиальных скарпов около пегматитов.

Слюда нефелиновых сиенитов являются более магнезиальными и титанистыми, чем пироксены этих пород. В альбитизированных сиенитах магнезиальность слюд и пироксенов приблизительно равна. Титанистость слюд остается выше титанистости пироксенов.

В амфиболовых экзоконтактных альбититах магнезиальность, фтористость и алюминиевость слюд существенно выше соответствующих характеристик амфиболов. Титанистость и слюд, и амфиболов низкая.

## СЕВЕРО-БАЙКАЛЬСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

## Массив Бурпала

Прорывает алевролиты, которые в приконтактной части фенитизированы. Основная площадь выхода массива сложена трахитоидными пуласскитами. Периферическая оторочка представлена кварцсодержащими массивными щелочными сиенитами. Интрузия содержит большое количество пегматитов как фациальных в пуласскитах, так и фазовых в массиве и вмещающих сланцах. Заключительный этап магматической деятельности

Таблица 45

Химический состав ПТМ массива Бурпала, данные автора и А.А. Ганзеева

Компоненты	Пироксен			Амфибол		Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	49,87	49,60	48,90	51,80	47,74	51,52	40,66
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,63	2,25	0,50	4,03	1,66	4,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,15	1,10	1,80	0,54	3,00	1,72	9,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,80	—	28,76	31,92	11,53	14,39	6,71
FeO	7,93	—	3,34	1,12	13,19	11,76	9,60
MnO	0,37	0,34	—	0,35	1,34	1,47	1,04
MgO	6,18	5,66	0,61	Не обн.	5,42	2,07	13,02
CaO	10,29	14,60	4,20	0,50	0,90	0,73	0,40
Na <sub>2</sub> O	5,25	5,69	10,05	11,34	7,67	10,29	1,66
K <sub>2</sub> O	0,71	0,11	0,33	1,80	2,91	1,84	9,10
H <sub>2</sub> O	0,82	—	—	0,41	0,66	0,57	1,54
F	—	—	—	—	2,15	3,27	4,41
Сумма	100,34	100,43	100,24	100,28	99,70	100,24	99,94
Si	1,98	1,87	1,91	2,02	7,46	7,85	6,33
Al <sup>IV</sup>	0,02	0,05	0,08	—	0,55	0,20	1,72
Fe <sup>IV</sup>	—	0,05	—	—	—	—	—
Ti <sup>IV</sup>	—	0,02	—	—	—	—	—
Ti <sup>VI</sup>	0,03	—	0,07	0,01	0,47	0,19	0,47
Al <sup>VI</sup>	0,07	—	—	0,02	—	0,11	0,05
Fe <sup>3+</sup>	0,38	—	0,84	0,94	1,64	2,40	0,78
Fe <sup>2+</sup>	0,15	0,67	0,07	0,04	1,72	1,49	1,25
Fe <sup>2+</sup>	0,12	—	0,04	—	—	—	—
Mn	0,01	0,01	—	0,01	0,18	0,44	0,44
Mg	0,37	0,32	0,04	—	1,26	0,47	3,02
Ca	0,44	0,59	0,18	0,02	0,15	0,11	0,08
Na	0,40	0,42	0,78	0,85	2,80	2,40	0,50
K	0,04	0,01	0,01	0,10	0,58	0,35	1,81
ОН	—	—	—	—	0,41	0,58	1,60
F	—	—	—	—	1,12	1,57	2,17
	Эгирин (44M74)	Эгирин (43M32)	Акмит	Титан-арфведсонит (M40)	Арфведсонит (M20)	Биотит (M64)	

1 — из щелочных сиенитов; 2 — из пегматоидных щелочных сиенитов; 3 — из альбитита; 4, 6 — из щелочного гранита; 5 — из сиенит-пегматита в фенитах; 7 — из апатит-флюорит-биотитовой зоны.

представлен системой даек гранит-аплитов. Довольно широко развиты постмагматические образования: альбититы и эгириниты в пуласкитах и фенитах, содалит-полевошпатовые метасоматиты в пуласкитах, апатит-флюорит-биотитовые зоны в пуласкитах и кварц-пироксен-полевошпатовые метасоматиты, развивающиеся по аплитам, соответствующие по составу щелочным гранитам

ПТМ представлены пироксеном в пуласкитах, амфиболом и пироксеном в массивных щелочных сиенитах эндоконтактной оторочки, а также в пегматитах, альбититах и щелочных гранитах.

В пуласкитах с четко выраженным агпаитовым характером кристаллизации пироксен в виде ксеноморфных выделений темно-зеленого цвета заполняет интерстиции между кристаллами полевого шпата. В массивных щелочных сиенитах пироксен представлен короткопризматическими кристаллами, в пегматитах и щелочных гранитах — темно-зелеными кольцевидными кристаллами, а в зонах эгиринизации — агрегатом тонкоигольчатых кристаллов светло-зеленого цвета.

Амфибол во всех образованиях — черный короткопризматический. В пуласкитах отмечается замещение пироксена щелочным амфиболом. В содалит-полевошпатовых метасоматитах амфибол образует пойкилобласты, нафаршированные реликтами полевого шпата. Слюда встречается только в апатит-флюорит-биотитовой зоне в виде черного крупночешуйчатого агрегата.

Щелочность пироксенов (табл. 45) увеличивается от пуласкитов и их шпировых пегматитов к альбититам и достигает наивысшего значения в щелочных гранитах. Состав амфибола щелочных гранитов существенно отличается от состава амфибола жильных сиенит-пегматитов; он менее магнизиален, имеет меньшую алюминиевость и титанистость. Количество фтора и лития в нем существенно выше, чем в амфиболе из пегматитов и, что наиболее существенно, количество натрия столь высоко, что приходится предполагать его вхождение в позиции  $M_1$  и  $M_3$ .

### Сыннырский массив [135]

Крупнейший массив Северо-Байкальской провинции. Большинство исследователей считают этот массив однофазным образованием; сложен массив пироксен-биотитовыми и биотитовыми нефелиновыми и псевдолейцитовыми сиенитами нескольких фациальных разновидностей. Он залегает в эффузивно-терригенной толще, интенсивно фенитизированной.

Характерной особенностью пород массива является широкое развитие симплектитовых сростаний калиевого полевого шпата с нефелином, что может быть объяснено распадом лейцита.

Состав пироксенов из различных пород массива (табл. 46) довольно постоянен; состав слюд также меняется в очень узких пределах. Слюды псевдолейцитовых сиенитов несколько более глиноземистые, чем слюды нефелиновых сиенитов. Слюды фенитов существенно отличаются по составу от слюд пород массива: они значительно более магнизиальны и содержат большее количество фтора.

Пироксен псевдолейцитовых сиенитов более магнизиальный, чем слюда из этих пород.

Таблица 46

Химический состав ПТМ массива Сыннырский [135, 110]

Компо- ненты	Пироксен					
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	49,15	46,42	50,15	49,20	52,11	50,50
TiO <sub>2</sub>	1,45	1,26	0,71	0,44	0,73	0,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,87	4,15	3,26	3,13	0,81	2,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,71	5,75	6,61	6,76	5,25	8,42
FeO	5,05	10,18	5,63	8,26	4,63	7,31
MnO	0,41	0,53	0,25	0,64	0,18	0,44
MgO	10,96	10,53	10,23	8,39	12,58	8,13
CaO	19,08	19,28	19,95	19,35	21,87	19,16
Na <sub>2</sub> O	2,48	1,88	2,00	2,26	1,40	2,58
K <sub>2</sub> O	0,54	0,05	1,10	0,11	0,09	0,09
H <sub>2</sub> O	0,40	—	—	0,20	0,35	0,29
Сумма	99,10	100,03	99,89	98,73	100,00	100,00
Si	1,90	1,80	1,90	1,90	1,95	1,93
Al <sup>IV</sup>	0,09	0,18	0,10	0,10	0,04	0,07
Fe <sup>IV</sup>	—	0,02	—	—	—	—
Ti	0,04	0,04	0,08	0,01	0,02	0,02
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,04	0,04	—	0,04
Fe <sup>3+</sup>	0,22	0,14	0,20	0,20	0,15	0,24
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,32	0,18	0,27	0,14	0,23
Mn	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
Mg	0,62	0,60	0,57	0,48	0,70	0,46
Ca	0,78	0,78	0,80	0,80	0,88	0,79
Na	0,18	0,14	0,14	0,17	0,10	0,19
K	0,02	—	0,05	—	0,01	0,01
ОН	—	—	—	—	0,10	0,08
F	—	—	—	—	—	—
	Диоп- сид (20М78)	Салит (14М60)	Диоп- сид (9М75)	Салит (17М60)	Диоп- сид (11М81)	Салит (20М60)

1 — из фойяитов; 2, 10 — из нефелиновых сиенитов; 3, 9 — из псевдолейцитовых сиенитов (3); 4, 11 из пегматоидных дитроитов; 5 — из апатитсодержащих фенитов; 6 — из мезократовых фенитов; 7 — из пегматоидных кварцевых шпиров; 8 — из дитроитов (3); 11 — из фенитов (меланократовых).

## ВИТИМСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Сайжинский и Гулхенский массивы [79]

Сайжинская интрузия прорывает известняки и габброиды; южная часть массива сложена пироксенитами и габбро-пироксенитами, пересеченными дайками ийолитов и тералитов, северная — нефелиновыми сиенитами.

Близким по составу к Сайжинскому массиву является расположенный

Таблица 46 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен		Слюда			
	7	8	9	10	11	12
SiO	52,22	34,02	33,78	35,35	35,20	35,52
TiO <sub>2</sub>	0,70	4,63	2,19	2,23	3,55	5,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	13,07	15,78	10,76	12,26	12,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,21	8,09	8,18	13,87	7,79	3,46
FeO	4,76	18,85	19,09	13,31	18,85	10,82
MnO	0,58	0,39	0,40	0,84	0,42	0,16
MgO	3,20	7,93	7,88	10,42	8,37	15,32
CaO	7,88	0,16	1,13	2,88	0,24	0,76
Na <sub>2</sub> O	8,83	0,13	0,66	1,07	0,56	0,24
K <sub>2</sub> O	0,13	8,53	8,74	7,77	8,06	9,14
H <sub>2</sub> O	0,28	3,39	2,02	—	2,88	0,98
Сумма	99,24	99,19	99,86	98,50	98,29	95,45
Si	2,02	5,49	5,73	5,66	5,67	5,61
Al <sup>IV</sup>	—	2,46	2,27	2,04	2,34	2,26
Fe <sup>IV</sup>	—	0,05	—	0,30	—	0,13
Ti	0,02	0,56	0,26	0,27	0,44	0,66
Al <sup>VI</sup>	0,02	—	0,55	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,59	0,94	0,93	1,37	0,95	0,29
Fe <sup>2+</sup>	0,16	2,55	2,49	1,78	2,54	1,42
Mn	0,02	0,06	0,05	0,12	0,06	0,02
Mg	0,18	1,90	1,79	2,42	2,01	3,60
Ca	0,33	0,03	0,18	0,50	0,04	0,13
Na	0,66	0,04	0,20	0,33	0,19	0,08
K	0,01	1,76	1,68	1,59	1,66	1,84
ОН	0,08	3,67	2,04	1,03	3,11	1,03
F	—	—	—	0,69	—	0,69
	Эгирин (67M50)		Аннит	Биотит (M56)	Биотит (M43)	Биотит (M71)

Таблица 47

Химический состав ПТМ Сайжинского и Гулхенского массивов [79]

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол	Слюда
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	40,62	40,20	43,76	49,91	34,80	34,68
TiO <sub>2</sub>	1,86	2,00	1,88	0,15	3,63	2,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,24	12,30	9,27	3,73	13,04	13,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,85	4,79	3,79	28,27	9,34	7,05
FeO	13,14	11,78	10,81	2,73	22,70	22,63
MnO	0,29	0,37	0,04	0,59	0,41	0,11
MgO	4,48	4,85	7,75	0,07	0,92	7,40

Таблица 47 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол	Слюда
	1	2	3	4	5	6
CaO	21,39	20,61	21,37	2,28	10,36	0,01
Na <sub>2</sub> O	0,77	1,68	1,19	12,25	3,46	1,02
K <sub>2</sub> O	0,74	0,06	0,25	0,11	2,07	8,44
H <sub>2</sub> O	—	1,26	0,34	—	—	0,01
Сумма	99,18	100,45	100,55	100,89	100,85	101,05
Si	1,60	1,60	1,70	1,90	6,00	5,55
Al <sup>IV</sup>	0,40	0,40	0,30	0,10	2,00	2,45
Ti	0,10	0,10	0,10	—	0,10	0,34
Al <sup>VI</sup>	—	0,10	0,10	0,10	0,05	0,07
Fe <sup>3+</sup>	0,20	0,10	0,10	0,80	1,25	0,85
Fe <sup>2+</sup>	0,40	0,40	0,30	0,10	3,00	3,03
Mn	—	—	—	—	0,10	0,01
Mg	0,30	0,30	0,40	—	0,20	1,77
Ca	0,90	0,90	0,90	0,10	1,70	—
Na	0,10	0,10	0,10	0,90	1,50	0,31
K	—	—	—	—	0,50	1,71
OH	—	—	—	—	0,10	4,00
F	—	—	—	—	—	—
	Фассаит (M43)	Фассаит (M43)	Фассаит (M57)	Акмит	Натрогас- тингсит	Аннит

1 — из ийолита (Сайжинский массив); 2 — из ийолита пегматоидного (Гулхенский); 3 — из тералита (Гулхенский); 4 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов (Сайжинский); 5 — из нефелиновых сиенитов (Сайжинский); 6 — из слюды (Сайжинский).

неподалеку Гулхенский массив, сложенный пироксенитами и оливиновыми габбро, прорванными мелкими телами ийолитов и тералитов.

Пироксены ийолитов и тералитов обоих массивов характеризуются постоянным составом (табл. 47). Характерной особенностью их состава является значительное содержание алюминия при отсутствии ферросилитового компонента. Пироксен нефелиновых сиенитов резко отличается повышенной щелочностью. Щелочность и железистость пироксенов нефелиновых сиенитов значительно превышают эти параметры для амфиболов из этих пород.

### Нижне-Бурулзайский массив [5]

Залегает в известняках. Резко вытянут в меридиональном направлении. Преобладающей породой массива являются ийолиты. В периферических частях наблюдаются крупные участки пироксенитов и габброидов. В осевой части массива расположено несколько тел уртитов, постепенно переходящих во вмещающие ийолиты. Все породы массива пересекаются системой субпараллельных поперечных даек лейкократовых гранитов.

Таблица 48

Химический состав ПТМ Нижне-Бурулзайского массива [5]

Компоненты	Пироксен			Амфибол		
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	43,30	38,28	41,90	35,80	36,05	34,92
TiO <sub>2</sub>	1,24	0,52	0,35	0,70	0,67	0,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,97	12,64	9,99	16,49	15,03	14,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,67	13,37	9,75	6,82	9,94	11,56
FeO	7,33	9,38	14,08	20,69	19,80	17,50
MnO	0,26	0,32	0,45	—	0,49	0,65
MgO	9,06	1,39	0,86	2,77	0,60	3,07
CaO	22,52	21,84	20,94	12,21	13,70	12,14
Na <sub>2</sub> O	0,63	1,70	1,28	2,30	2,11	2,12
K <sub>2</sub> O	0,36	0,67	0,35	1,35	1,47	1,40
H <sub>2</sub> O	0,94	—	—	0,32	0,10	0,89
Сумма	99,51	99,75	99,95	99,45	100,05	99,44
Si	1,71	1,55	1,67	5,79	5,89	5,65
Al <sup>IV</sup>	0,28	0,44	0,33	2,21	2,11	2,35
Ti	0,02	0,01	0,01	0,09	0,09	0,08
Al <sup>VI</sup>	0,11	0,14	0,14	0,94	0,78	0,41
Fe <sup>3+</sup>	0,15	0,40	0,29	0,84	1,21	1,42
Fe <sup>2+</sup>	0,20	0,31	0,47	2,80	2,71	2,37
Mn	0,01	0,01	0,01	—	0,07	0,09
Mg	0,58	0,08	0,06	0,66	0,15	0,74
Ca	0,89	0,92	0,90	2,13	2,41	1,85
Na	0,05	0,15	0,12	0,72	0,67	0,70
K	—	—	—	0,27	0,31	0,50
ОН	—	—	—	0,34	0,12	0,97
	Фассаит (M73)	Фассаит (M20)	Фассаит (M11)	Гастинг- сит (M19)	Гастинг- сит (M4)	Гастинг- сит (M23)

1 — пироксениты; 2, 6 — ийолиты; 3, 5 — мельтейгиты; 4 — якупирангиты.

Наиболее древними породами массива являются габброиды и пироксениты, ксенолиты которых наблюдаются в породах ийолитового состава.

Главным ПТМ всех (кроме гранитов) типов пород является пироксен; амфибол развивается с замещением пироксена и лишь в редких случаях наблюдаются амфиболовые разности ийолитов. Слюда встречается в незначительных количествах в качестве вторичного минерала, развивающегося по пироксену.

Состав пироксенов (табл. 48) закономерно меняется от пироксенитов к ийолитам. В этом направлении резко уменьшается магнезиальность пироксенов, в небольшой степени увеличиваются их щелочность и алюминивость.

Амфибол мельтейгитов более щелочной и более магнезиальный, чем пироксен из этих пород, — он содержит значительно больше алюминия, титана и марганца. Аналогичная картина наблюдается для пары амфибол—пироксен из ийолитов.

Все пироксены массива, как и пироксены других массивов провинции, отличаются очень высоким содержанием алюминия. Обращает на себя внимание несоответствие большого количества окисного железа умеренному содержанию щелочей, что, несомненно, требует проверки.

### Верхне-Бурулзайский и Мухальский массивы [5]

Основная площадь Верхне-Бурулзайского массива сложена либнеритовыми сиенитами, вероятно развивающимися по нефелиновым сиенитам, которые наблюдаются в этих породах в виде отдельных участков. С выходами неизменных нефелиновых сиенитов ассоциируют мелкие тела нефелин-пироксеновых пород (йюлитов, полевошпатовых йюлитов, мельтейгитов, уртитов).

Мухальский массив обнажен очень слабо и перекрыт покровом более молодых базальтов. Отмечаются породы йюлит-уртитовой серии.

Пироксены полевошпатовых йюлитов Верхне-Бурулзайского массива (табл. 49) являются более щелочными и содержат больше алюминия, чем

Таблица 49

Химический состав ПТМ Верхне-Бурулзайского и Мухальского массивов [5]

Компоненты	Пироксен		Амфибол	Пироксен	Амфибол	
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	43,15	44,95	40,56	42,55	38,62	35,70
TiO <sub>2</sub>	1,48	1,75	2,52	1,40	1,50	1,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,62	3,66	7,98	5,74	12,94	12,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,92	8,36	8,10	10,39	7,15	8,57
FeO	17,09	18,51	20,59	13,70	17,87	19,66
MnO	0,13	0,72	0,67	0,69	0,47	0,84
MgO	0,57	0,88	1,02	2,95	5,00	2,71
CaO	13,88	18,99	14,91	20,05	10,87	13,04
Na <sub>2</sub> O	2,94	1,47	1,82	1,73	2,32	1,84
K <sub>2</sub> O	0,95	0,53	1,69	0,54	2,52	2,17
H <sub>2</sub> O	—	0,18	0,31	—	0,82	0,45
Сумма	99,77	100,00	100,17	99,74	100,08	99,74
Si	1,73	1,82	6,61	1,73	6,11	5,84
Al <sup>IV</sup>	0,27	0,17	1,39	0,27	1,89	2,16
Ti	0,05	0,05	0,30	0,04	0,18	0,24
Al <sup>VI</sup>	0,09	—	0,14	—	0,48	0,32
Fe <sup>3+</sup>	0,36	0,26	1,00	0,31	0,88	1,06
Fe <sup>2+</sup>	0,49	0,64	2,81	0,46	2,37	2,69
Mn	0,04	0,02	0,09	0,02	0,07	0,12
Mg	0,04	0,05	0,24	0,18	1,18	0,66
Ca	0,60	0,83	2,61	0,85	1,85	2,29
Na	0,23	0,15	0,58	0,16	0,70	0,59
K	0,05	—	0,35	—	0,50	0,45
ОН	—	—	0,34	—	0,86	0,50
	Фассаит (M7)	Геден- бергит	Катофо- рит (M8)	Фассаит (M27)	Гастинг- сит (M33)	Гастинг- сит (M15)

1, 3 — из полевошпатовых йюлитов; 2, 5 — из йюлитов; 4 — из мельтейгитов; 6 — из уртитов. 1, 2, 3 — Верхне-Бурулзайский; 4-6 — Мухальский.

пироксены ийолитов. Амфибол полевошпатовых ийолитов менее щелочной, чем пироксен из тех же пород, более магниезальный и более титанистый. Амфибол уртитов Мухальского массива более железистый, чем амфибол ийолитов. Он содержит больше титана, марганца и алюминия.

### Бамбуйский массив [5]

Залегает в известняковой толще. Основную площадь массива занимают диориты, габбро-диориты и щелочные сиениты. Нефелиновые сиениты играют подчиненную роль.

Главным ПТМ щелочных и нефелиновых сиенитов является слюда, состав которой приведен в табл. 50.

Таблица 50

Химический состав ПТМ некоторых малоизученных щелочных массивов Забайкалья ([5], данные автора и А.А. Ганзеева)

Компоненты	Слюда	Пироксен	Слюда	Амфиболы		
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	33,85	51,15	32,05	37,17	36,98	38,91
TiO <sub>2</sub>	3,05	1,00	2,90	0,51	0,17	2,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,22	2,72	15,33	11,80	11,93	13,14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,67	26,22	8,56	12,01	18,12	7,80
FeO	20,68	1,62	23,20	22,27	16,64	18,56
MnO	0,42	0,42	0,99	0,69	0,19	—
MgO	5,79	0,69	3,28	0,39	0,28	4,82
CaO	0,60	4,08	0,24	10,13	9,96	7,70
Na <sub>2</sub> O	0,26	10,50	0,40	1,55	3,24	5,94
K <sub>2</sub> O	8,96	0,30	8,16	2,98	2,41	0,12
H <sub>2</sub> O	5,94	0,83	4,39	1,15	1,40	1,01
F	0,47	—	—	0,26	0,24	—
Прочие	—	0,13	0,08	—	—	—
Сумма	99,20	99,66	99,58	100,81	100,46	100,99
Si	5,50	2,00	5,36	6,14	6,07	5,94
Al <sup>IV</sup>	2,50	—	2,64	1,86	1,93	2,06
Ti	0,38	0,03	0,36	0,04	0,02	0,35
Al <sup>VI</sup>	0,79	0,12	0,37	0,49	0,38	0,29
Fe <sup>3+</sup>	0,57	0,77	1,08	1,20	2,23	0,90
Fe <sup>2+</sup>	2,80	0,05	3,23	3,04	2,28	2,37
Mn	0,06	0,01	0,14	0,13	0,03	0,10
Mg	1,40	0,04	0,81	0,10	0,07	1,09
Ca	0,11	0,17	0,04	1,67	1,58	1,26
Na	0,08	0,79	0,12	0,85	1,03	1,76
K	1,85	0,01	1,75	0,41	0,49	0,02
OH	3,78	—	4,01	4,99	1,64	—
F	0,22	—	—	—	0,12	—
	Сидеро- филлит	Акмит	Сидеро- филлит	Натрогастингсит		Тарамит (М30)

1, 5, 6 — из нефелиновых сиенитов; 1 — Бамбуйский, 5 — Зимовьечинский, 6 — Ангиджанский; 2, 3 — из сиенитов, Боргойский; 4 — из щелочных сиенитов, Зимовьечинский.

Гулинский массив [47]

Залегает в терригенно-карбонатной толще. Представляет собой вулканоплутон. Основную часть массива занимают дуниты и перидотиты, местами перекрывающиеся покровами их эффузивных аналогов меймечитов и щелочных базальтоидов — анкаратритов. Покровы прорваны двумя штоками карбонатитов.

Вокруг штоков располагаются тела метасоматических мелилитовых пород, ийолит-мельтейгитов, а также нефелин-пироксеновых пород с гра-

Таблица 51

Химический состав ПТМ Гулинского массива [47]

Компоненты	Пироксен						Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	50,21	51,29	49,00	51,75	51,75	52,07	38,08	36,62
TiO <sub>2</sub>	1,82	1,22	1,80	0,56	0,91	0,22	2,09	1,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,23	3,65	2,96	0,65	0,54	2,26	11,84	15,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,98	3,04	4,00	8,28	9,37	1,88	10,37	5,89
FeO	2,18	2,56	4,08	6,47	8,77	3,46	6,86	4,11
MnO	—	—	0,11	0,37	0,70	0,07	0,37	0,21
MgO	15,03	15,84	13,34	9,22	6,68	15,53	18,08	21,49
CaO	23,13	21,48	23,52	19,11	16,36	24,44	0,26	0,18
Na <sub>2</sub> O	0,03	0,30	1,03	3,14	4,32	0,28	Следы	0,57
K <sub>2</sub> O	Следы	0,06	0,31	0,14	Следы	Следы	10,06	9,63
BaO	0,77	0,78	0,33	0,40	—	—	0,64	0,83
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	2,58	3,15
F	—	—	—	—	—	—	0,43	0,19
Сумма	100,61	99,93	100,49	100,13	99,40	100,24	100,22	100,26
Si	1,87	1,95	1,82	1,97	2,00	1,92	5,76	5,40
Al <sup>IV</sup>	0,05	0,05	0,13	0,03	—	0,08	2,10	2,60
Fe <sup>IV</sup>	0,08	—	0,05	—	—	—	0,14	—
Ti	0,05	0,03	0,05	0,02	0,03	0,01	0,23	0,20
Al <sup>VI</sup>	—	0,10	—	—	0,02	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,06	0,09	0,06	0,24	0,27	0,05	0,92	0,50
Fe <sup>2+</sup>	0,04	—	0,13	0,21	0,28	0,10	0,87	0,50
Fe <sup>2+</sup>	0,03	0,08	—	—	—	—	—	—
Mn	—	—	—	0,01	0,02	—	—	—
Mg	0,86	0,69	0,74	0,52	0,38	0,86	4,13	4,74
Ca	0,93	0,87	0,94	0,78	0,68	0,97	—	—
Na	0,04	0,03	0,07	0,23	0,32	0,02	—	0,08
K	—	—	—	—	—	—	1,97	1,86
OH	—	—	—	—	—	—	2,32	2,94
F	—	—	—	—	—	—	0,20	0,10
		Диопсид		Салит (M75)	Эгирин (32M55)	Диопсид	Флогопит	Истонит

1 — из перидотита; 2 — из рудного пироксенита (2); 3 — из мельтейгита; 4 — из ийолита; 5 — из меланократового щелочного сиенита; 6, 8 — из кальцит-диопсидовой породы (2 и 3); 7 — из нефелин-пироксеновой породы (2).

натом и флогопитом. Дуниты на контакте со щелочными породами подвержены пироксенизации, ослоденению и нефелинизации. Сходным преобразованиям подвержены и мельтейгиты вокруг карбонатитов. Отмечаются мелкие тела и дайки ийолитов, щелочных и нефелиновых сиенитов, секущие ийолит-мельтейгиты.

Состав пироксенов (табл. 51) закономерно эволюционирует от ранних перидотитов к поздним щелочным сиенитам. В этом направлении растет щелочность пироксенов, падает их магнезиальность. Алюминиевость пироксенов растет от перидотитов к пироксенитам, а затем падает. Пироксены карбонатитов характеризуются максимальной магнезиальностью и минимальной щелочностью и титанистостью.

Слюды ийолитов существенно более магнезиальные и титанистые по сравнению с пироксенами из тех же пород. В пироксен-карбонатных породах титанистость слюд выше титанистости пироксенов, а их магнезиальность несколько ниже магнезиальности пироксенов, что, возможно, объясняется реликтовым характером пироксенов в карбонатных породах.

### Массив Фадью-Куда [49]

Расположен в центральной части п-ва Таймыр, к северу от Маймечакотуйской провинции. Залегает в известково-сланцевой толще, прорывает массив долеритов.

Основной фазой массива является интрузия нефелиновых сиенитов. Широко развиты пегматоидные разности нефелиновых сиенитов, а также альбититы и поздние флюоритовые прожилки. Пегматиты в долеритах имеют преимущественно состав щелочных сиенитов.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является пироксен, щелочных сиенитов — амфибол. Анализы ПТМ массива приведены в табл. 52.

Таблица 52

Химический состав ПТМ некоторых массивов Восточной Сибири; данные автора, А.А. Ганзеева, А.П. Хомякова

Компоненты	Пироксен	Амфибол	Пироксен	Слюда	Пироксен	
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	50,73	38,40	49,55	34,70	37,65	47,06
TiO <sub>2</sub>	1,20	4,95	0,48	2,30	2,39	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,70	10,41	1,88	7,30	8,64	1,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,71	5,29	19,83	12,44	10,82	14,91
FeO	5,45	12,10	4,23	21,06	7,10	11,66
MnO	0,28	1,88	0,15	0,97	0,33	0,95
MgO	Не обн.	10,91	5,43	7,82	17,54	2,76
CaO	3,93	11,97	10,30	0,95	2,16	12,65
Na <sub>2</sub> O	10,16	2,33	6,93	0,28	0,37	—
K <sub>2</sub> O	0,67	1,47	0,57	8,20	8,78	0,19
H <sub>2</sub> O	Не обн.	0,71	0,17	3,55	3,26	0,44
F	То же	0,20	0,12	0,21	0,85	0,24
Сумма	99,83	100,52	100,25	99,91	0,53	99,00
Si	1,96	5,79	1,91	5,60	5,86	1,80

Таблица 52 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен	Амфибол	Пироксен	Слюда	Пироксен	
	1	2	3	4	5	6
Al <sup>IV</sup>	0,04	1,85	0,09	1,40	1,57	0,05
Fe <sup>IV</sup>	—	0,36	—	1,00	0,57	0,08
Ti	0,03	0,56	0,01	0,28	0,28	0,03
Al <sup>VI</sup>	0,13	—	—	—	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,69	0,23	0,57	0,50	0,70	0,38
Fe <sup>2+</sup>	0,18	1,52	0,10	2,80	0,93	0,38
Mn	0,01	0,24	—	0,13	0,04	0,03
Mg	—	2,45	0,31	1,90	4,06	0,16
Ca	0,16	1,93	0,42	0,16	0,36	0,54
Na	0,79	0,68	0,54	0,09	0,11	0,48
K	0,03	0,28	0,03	1,70	1,74	—
OH	—	0,56	—	3,80	3,55	—
F	—	0,60	—	0,11	0,45	—
	Акмит	Керсутит (M58)	Эгирин (57M75)	Аннит	Флого- пит	Эгирин (48M30)

1 — из нефелинового сиенита, Фадью-Куда; 2 — из пегматоидного щелочного сиенита в долерите, Фадью-Куда; 3 — из псевдолейцитового сиенита, Мурун; 4 — из нефелинового сиенита, Мурун; 5 — из слюдитовой жилы в сиените, Томтор; 6 — из нефелинового сиенита, Томтор.

## АЛДАНСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Массив Инагли

Представляет собой округлую концентрически-зональную интрузию, залегающую в гранито-гнейсовой толще, перекрытой пластовой интрузией сиенит-порфиров. Ядро, занимающее основную часть площади массива, сложено дунитами. В периферической зоне локализованы шонкиниты и щелочные сиениты. Щелочные сиениты четко пересекают дуниты и шонкиниты. Шонкиниты постепенно переходят в дуниты через зону перидотитов. В зоне их контакта наблюдается интенсивное ослюденение.

Дуниты пересекаются многочисленными жилами пегматитов, которые в центре массива имеют амфибол-ортоклазовый состав, а в периферической части дунитового ядра — амфибол-пироксен-микроклиновый (пегматиты 2-го типа). Пегматиты 2-го типа интенсивно альбитизированы и натролитизированы.

Вокруг пегматитов 1-го типа развиты оторочки пироксен-флогопитовых скарнов. Иногда наблюдаются сплошные участки ослюденения в зонах интенсивного развития штокверков пегматитов. Вокруг пегматитов 2-го типа отмечаются маломощные контактовые зонки амфибол-асбеста и (или) слюды.

Состав пироксенов массива (табл. 53) закономерно меняется от шонкинитов к щелочным пегматитам и поздним пироксен-кварцевым прожилкам. В этом направлении увеличивается их щелочность и железистость, уменьшается алюминированность. Незначительно увеличивается титанность.

Таблица 53

Химический состав ПТМ Инаглинского массива, данные автора, [1957]

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол		
	1	2	3	4	5	6	
SiO <sub>2</sub>	52,02	52,80	52,67	51,76	55,93	54,07	
TiO <sub>2</sub>	0,36	Не обн.	1,47	2,02	0,40	0,76	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,13	1,72	1,23	1,19	0,74	1,73	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,19	0,11	21,75	28,30	3,34	7,57	
FeO	3,50	1,51	1,08	1,25	2,84	3,90	
MnO	0,22	0,10	0,10	Не обн.	0,43	0,37	
MgO	15,00	17,90	5,29	3,21	20,69	17,16	
CaO	22,20	25,10	6,31	3,22	5,23	3,43	
Na <sub>2</sub> O	0,78	0,26	9,07	9,14	4,24	7,16	
K <sub>2</sub> O	0,34	0,04	0,67	2,11	3,41	1,86	
H <sub>2</sub> O	0,30	0,40	—	—	0,58	1,18	
F	—	—	—	—	—	0,26	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29	0,08	—	—	—	—	
Сумма	100,35	100,38	99,65	100,95	99,68	99,45	
Si	1,91	1,92	1,99	2,01	7,51	7,97	
Al <sup>IV</sup>	0,09	0,07	0,01	—	0,23	0,05	
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	0,26	—	
Ti	0,01	—	0,04	0,06	0,03	—	
Al <sup>VI</sup>	0,05	—	0,05	0,05	—	0,09	
Fe <sup>3+</sup>	0,06	—	0,62	0,82	0,21	0,35	
Fe <sup>2+</sup>	0,11	0,05	0,04	0,05	0,13	0,38	
Mn	—	—	—	—	0,01	—	
Mg	0,82	0,97	0,30	0,23	4,62	4,31	
Ca	0,82	0,98	0,25	0,13	0,88	0,79	
Na	0,05	0,02	0,66	0,59	1,25	1,14	
K	0,02	—	0,04	0,10	0,53	0,61	
OH	—	—	—	—	1,85	2,00	
F	—	—	—	—	—	—	
		Диопсид	Эгирин (70M90)	Эгирин (69M50)		Рихтерит	

1, 10 — из шонкинитов; 2, 5, 11 — из диопсид-флогопитовой породы; 3, 7, 12 — из пегматитов второго типа (2 и 3); 4, 9 — из пироксен-кварцевых прожилков в сие-

Характерной особенностью ПТМ щелочных пегматитов массива является закономерное изменение их состава в зависимости от пространственного положения в дунитовом ядре. От периферии к центру увеличивается магнезиальность ПТМ, уменьшается их щелочность, титанистость и алюминиевость.

Слюда шонкинитов является несколько более магнезиальной, чем пироксен из тех же пород, и содержит значительно большее количество титана. В околоскарных скарнах наиболее магнезиальным является пироксен, наименее магнезиальной — слюда, а амфибол занимает промежуточное положение.

	Амфибол			Слюда		
	7	8	9	10	11	12
	55,10	55,90	—	39,40	40,56	37,40
	0,34	0,30	0,72	4,80	0,92	1,58
	1,42	0,72	2,34	16,68	12,30	9,22
	3,33	4,13	1,18	—	1,69	8,39
	1,14	0,14	3,26	7,44	5,33	Не обн.
	0,07	0,31	—	0,13	0,06	0,18
	22,79	22,82	17,70	19,41	24,61	26,09
	6,00	0,84	2,17	0,20	0,82	0,37
	4,74	8,09	—	0,34	0,79	0,44
	3,02	2,70	—	9,14	9,73	0,44
	2,25	2,15	—	1,00	1,23	15,95
	0,10	0,18	—	1,35	0,74	Не обн.
	—	—	—	—	—	—
	100,24	99,83	—	99,49	99,57	99,62
	7,70	7,69	—	5,66	5,72	5,52
	0,23	0,12	—	2,34	2,09	1,60
	0,07	0,19	—	—	0,10	0,88
	0,09	0,03	—	0,52	0,01	0,18
	0,05	—	—	0,40	—	—
	0,85	0,24	—	—	—	0,06
	0,46	0,02	—	0,90	0,74	—
	0,05	0,03	—	—	0,01	0,03
	3,51	4,68	—	4,15	5,18	5,74
	0,44	0,12	—	0,04	0,02	0,05
	1,90	2,17	—	0,10	0,18	—
	0,46	0,48	—	1,69	1,82	0,11
	1,90	1,98	—	1,00	3,65	4,00
	—	0,08	—	0,61	0,35	—
		Магнезиоарфведсонит		Флогопит		Тетрафер- рифлогопит

нит-порфирах; 6 — из пегматитов первого типа; 7 — из диопсид-флогопитовой породы (асбест); 8 — из пегматитовых оторочек (асбест) (3).

В пегматитах 2-го типа наблюдается следующая последовательность возрастания магнезиальности этих трех минералов: пироксен < амфибол < слюда, которая сохраняется в разных пегматитовых телах. В этой же последовательности идет обогащение титаном и алюминием.

### Массив Кондер [5]

Прорывает гранито-гнейсовую толщу, имеет округлую форму и концентрически-зональное строение. Дунитовое ядро окружено маломощной зоной косьвитов, шонкинитов, диоритов, сиенито-диоритов и пересечено

Таблица 54

Химический состав ПТМ Кондерского массива [19], данные автора

Компоненты	Пироксен			Амфибол	
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	52,40	51,26	50,78	43,59	52,34
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,40	0,59	1,59	1,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,86	2,20	2,40	11,86	5,47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	1,40	2,99	1,86	3,47
FeO	4,31	5,78	3,96	9,69	6,00
MnO	0,17	0,28	0,16	0,19	0,21
MgO	17,31	14,37	14,69	14,18	16,56
CaO	23,88	23,40	23,74	12,07	4,27
Na <sub>2</sub> O	0,47	0,73	0,67	2,69	6,18
K <sub>2</sub> O	0,06	0,05	0,24	0,68	2,56
H <sub>2</sub> O	—	0,45	—	1,59	1,80
Сумма	99,76	100,32	100,22	99,99	98,37
Si	1,92	1,90	1,87	6,79	7,37
Al <sup>IV</sup>	0,04	0,10	0,11	1,21	0,63
Ti	0,01	0,01	0,02	0,19	0,10
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	0,97	0,55
Fe <sup>3+</sup>	—	0,04	0,07	0,21	0,13
Fe <sup>2+</sup>	0,13	0,18	0,12	1,26	0,70
Mn	—	0,01	—	0,03	0,02
Mg	0,91	0,79	0,81	3,29	3,61
Ca	0,95	0,92	0,93	2,04	0,71
Na	0,04	0,05	0,05	0,83	1,42
K	—	—	—	0,13	0,64
OH	—	—	—	1,65	1,80
F	—	—	—	—	0,40
		Диопсид		Эденит (M70)	Катафорит (M83)

1 — из оливин-пироксеновых пород; 2, 4 — из пироксен (амфибол)-плагиоклазовых прожилков в дунитах; 3 — из апатит-пироксеновых слюдитов; 5 — из амфибол-ортотлазовых пегматитов в дунитах.

многочисленными жилами пегматитов щелочно-сиенитового и нефелин-сиенитового состава, а также жилами габброидного состава. Отмечается развитие апатит-слюдяных зон в дунитах.

Проанализированные пироксены из различных пород массива (табл. 54) не обнаруживают существенных различий в составе. Амфиболы амфибол-плагиоклазовых жил и щелочных пегматитов резко отличаются по составу. Первый из них обогащен железом, титаном и алюминием, второй — является более щелочным и обогащен фтором.

### Мурунский массив [119]

Представляет собой вулканоплутон. Основная площадь выхода массива сложена нефелиновыми сиенитами: присутствуют псевдолейцитовые и щелочные сиениты. Все породы связаны постепенными переходами. Вулканогенные породы (псевдолейцитовые порфиры, трахиты, фоноли-

ты) представлены жерловой и субвулканической фациями и содержат ксенолиты нефелиновых сиенитов. Наиболее поздними образованиями массива являются дайки и мелкие штоки щелочных гранитов. Интенсивно развит процесс фенитизации вмещающих пород, а также калишпатизация, эгиринизация, карбонатизация, флюоритизация и окварцевание пород массива и его экзоконтактного ореола.

Главными ПТМ нефелиновых сиенитов являются пироксен и слюда, псевдолейцитовых сиенитов — пироксен.

Слюда поздних эгирин-биотитовых метасоматитов в сиенитах (табл. 52) отличается от слюды нефелиновых сиенитов резко повышенной магнизиальностью и более высоким содержанием фтора. Для обеих слюд характерно очень низкое содержание алюминия.

### Массив Арбарастах [133]

Располагается в гранито-гнейсовой толще и характеризуется кольцевым строением. Центральное ядро сложено пироксенитами, прорванными в периферической части системой дугообразных даек щелочных пород и карбонатитов. Вмещающие породы фенитизированы. В центральной части массива в пироксенитах наблюдается тело магнетит-хондродит-форстеритовых пород.

Ниже приводится состав двух амфиболов из массива Арбарастах (табл. 55).

Состав амфиболов закономерно меняется от измененных пироксенитов к карбонатитам, при этом увеличиваются их щелочность, магнизиальность, количество фтора. Уменьшается количество алюминия и титана.

Таблица 55

Химический состав амфиболов массивов Арбарастах и Озерный (данные автора и А.Г. Жабина [104])

Компоненты	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	40,14	53,79	52,98	54,29
TiO <sub>2</sub>	2,25	0,52	0,62	0,46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,47	1,74	1,94	2,24
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,75	1,69	9,40	14,63
FeO	4,68	1,69	2,57	9,58
MnO	0,20	0,16	0,12	0,08
MgO	12,99	22,36	16,85	7,77
CaO	11,13	8,38	3,33	0,73
Na <sub>2</sub> O	2,77	5,15	8,67	6,89
K <sub>2</sub> O	2,36	1,75	0,64	0,35
H <sub>2</sub> O	0,29	2,16	0,04	0,20
F	0,65	1,83	2,56	2,61
Сумма	100,44	100,43	100,50	100,45
Si	5,96	7,57	7,63	8,00
Al <sup>IV</sup>	2,00	0,29	0,33	—
Fe <sup>IV</sup>	0,04	0,14	0,03	—
Ti	0,25	0,05	0,07	0,05
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	0,40
Fe <sup>3+</sup>	1,27	0,04	1,00	1,63

Таблица 55 (окончание)

Компоненты	1	2	3	4
Fe <sup>2+</sup>	0,58	0,20	0,32	1,20
Mn	0,02	0,02	0,01	—
Mg	2,87	4,69	3,61	1,72
Ca	1,77	1,26	0,33	—
Na	0,80	1,40	2,42	1,98
K	0,45	0,31	0,12	0,07
ОН	0,28	2,03	1,75	1,66
F	0,31	0,90	0,01	0,09
	Натрогастин- гсит (M81)	Рихтерит	Магнезиоарф- ведсонит (M90)	Магнезиорибе- кит (M56)

1 — из измененных пироксенитов в контактной зоне магнетит-форстеритового тела, Арбарадах; 2 — из карбонатитов, Арбарадах; 3 — из карбонатитов III стадии, Озерный; 4 — из карбонатитов IV стадии, Озерный.

### Массив Озерный [104]

Представляет собой карбонатитовый шток с включенными в него останцами нефелиновых сиенитов, пироксенитов и ийолитов.

Выделяются четыре стадии карбонатитов, из которых три первые представляют ранние кальцитовые и кальцит-доломитовые карбонатиты, а четвертая — поздние анкеритовые.

Главными ПТМ ранних карбонатитов первых двух стадий являются оливин, пироксен, слюда и магнетит; третьей стадии — амфибол; четвертой — хлорит и амфибол.

Амфибол поздних анкеритовых карбонатитов (табл. 55) отличается от амфибола кальцит-доломитовых карбонатитов третьей стадии большей железистостью, несколько меньшим содержанием титана и большим количеством фтора. Наиболее существенным отличием этого амфибола является незаполненность позиции А щелочами.

### ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ

#### Кокшаровский массив [64]

Прорывает вулканогенную толщу (вулканы основного состава). Центральная часть массива сложена крупнозернистыми и пегматоидными перовскитовыми пироксенитами. Пироксениты рассечены и окружены многочисленными дайкообразными и штокообразными телами мельтейгитов, фойяитов, люавритов и слюдяных нефелиновых сиенитов. Широко развиты пегматиты всех разновидностей нефелиновых сиенитов, альбититы, развивающиеся по нефелиновым сиенитам и пегматитам.

В массиве описан шток карбонатитов, пересекающий пироксениты. Состав пироксенов (табл. 56) от пироксенитов к нефелиновым сиенитам и люавритам закономерно меняется. При этом резко уменьшается количество магния, уменьшается количество алюминия и титана, увеличивается щелочность.

Таблица 56

Химический состав ПТМ Кокшаровского массива [64]

Компо- ненты	Пироксен					Амфибол		
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	47,54	42,01	51,31	51,10	43,26	39,09	39,43	39,28
TiO <sub>2</sub>	2,14	2,79	0,83	1,45	1,00	5,63	2,52	3,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,64	9,55	2,76	3,23	1,63	10,71	11,21	12,19
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,96	5,68	12,49	21,45	23,51	5,45	6,59	6,49
FeO	4,22	8,71	5,38	3,25	8,04	8,94	18,08	11,96
MnO	0,08	0,28	1,10	0,85	0,70	0,32	0,77	0,23
MgO	14,31	6,85	5,92	1,77	4,64	12,42	4,73	9,58
CaO	22,85	21,77	13,99	5,18	12,62	12,46	10,85	11,13
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,88	5,99	11,03	4,66	2,20	3,44	2,24
K <sub>2</sub> O	0,11	0,10	0,15	0,22	0,01	1,62	1,71	1,66
H <sub>2</sub> O	—	0,97	0,40	0,20	—	1,33	1,42	1,90
F	—	0,54	—	—	—	—	—	—
Сумма	99,41	100,13	100,32	100,05	100,34	100,17	100,75	99,72
Si	1,78	1,64	1,94	1,94	1,72	5,90	6,23	6,00
Al <sup>IV</sup>	0,16	0,36	0,06	0,06	0,08	1,94	1,77	2,00
Fe <sup>IV</sup>	0,06	—	—	—	0,20	0,16	—	—
Ti	0,06	0,08	0,02	0,04	0,03	0,64	0,30	0,35
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,06	0,08	—	—	0,32	0,20
Fe <sup>3+</sup>	0,05	0,17	0,35	0,61	0,51	0,46	0,78	0,75
Fe <sup>2+</sup>	0,09	0,26	0,17	0,10	0,27	1,13	2,39	1,32
	0,64							
Mn	—	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,10	0,03
Mg	0,79	0,40	0,33	0,10	0,28	2,79	1,11	2,17
Ca	0,92	0,91	0,57	0,21	0,53	2,02	1,84	1,82
Na	0,04	0,07	0,44	0,82	0,36	0,64	1,05	0,66
K	—	—	0,01	—	—	0,31	0,34	0,31
OH	—	—	0,10	—	—	1,91	2,00	1,94
F	—	—	—	—	—	—	—	—
	Диоп- сид	Фасса- ит (M59)	Эгирид (46M61)	Акмит	Эгирин (36M30)	Керсу- тит (M70)	Гастинг- сит (M31)	Гастинг- сит (M61)

1, 6 — из пироксенитов (2 и 4); 2 — из якупирангитов (2); 3 — из твейтозитов; 4 — из луавритов; 5 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов; 7 — из нефелиновых сиенитов; 8 — из альбититов.

Состав амфиболов от пироксенитов к луавритам эволюционирует аналогично составу пироксенов. Увеличивается их щелочность и марганцевистость. Уменьшаются магнезиальность и количество титана. Амфибол альбититов содержит меньше щелочей, больше титана, алюминия и магния, чем амфибол нефелиновых сиенитов. Вероятно, он образовывался с замещением более основных, чем нефелиновые сиениты, пород.

В сосуществующей паре ПТМ пироксенитов амфибол является более щелочным, титанистым и менее магнезиальным, чем пироксен. В нефелиновых сиенитах и луавритах пироксен содержит больше щелочей, чем амфибол. Магнезиальность и титанистость амфибола выше, чем у пироксена.

Лесогорская группа интрузий (Сахалин) [221]

Большинство интрузий, залегающих в песчано-сланцевой толще, имеет зональное строение. Центральная их часть сложена монцонитами и сиенитами, а периферическая — долеритами. В долеритах наблюдаются прожилки сиенитов и диоритов. Контактные изменения вмещающих пород незначительны.

Главным ПТМ всех типов пород являются пироксены. В долеритах иногда наблюдаются закономерные сростания пироксена. Кристаллы пироксенов в этих породах часто содержат реликты оливина и окружены каемками слюды. В монцонитах пироксен представлен зональными кристаллами с бледно-зелеными ядрами и зеленой оторочкой; он обрастает амфиболом и слюдой. Иногда амфибол и слюда образуют самостоятельные выделения.

Таблица 57

Химический состав ПТМ Лесогорского щелочного комплекса [172, 221]

Компоненты	Пироксен				
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47,88	47,31	48,90	50,95	52,35
TiO <sub>2</sub>	2,89	2,09	1,46	0,34	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,78	3,02	3,14	0,55	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,80	5,06	25,59	27,37	27,13
FeO	8,24	10,31	7,75	—	—
MgO	12,16	11,43	1,43	0,94	0,27
MnO	0,10	0,28	0,29	0,34	0,16
CaO	21,03	18,90	5,29	7,82	2,47
Na <sub>2</sub> O	0,46	1,65	8,10	9,10	12,74
K <sub>2</sub> O	0,25	0,27	0,41	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,55	0,38	1,12	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Не опр.	Не опр.	Не опр.	—	—
Сумма	100,77	100,82	100,58	97,41	97,35
Si	1,79	1,78	1,95	1,90	1,99
Al <sup>IV</sup>	0,19	0,13	0,05	0,12	0,01
Fe <sup>IV</sup>	0,02	0,08	—	—	—
Ti	0,08	0,06	0,04	0,04	0,02
Al <sup>VI</sup>	0,03	—	0,08	—	0,12
Fe <sup>3+</sup>	0,03	0,06	0,71	0,66	0,81
Fe <sup>2+</sup>	0,15	0,13	0,10	0,21	0,04
Mn	—	0,01	0,01	—	—
Mg	0,71	0,65	0,04	0,06	—
Fe <sup>VIII</sup>	0,11	0,10	0,12	0,14	0,06
Ca	0,84	0,77	0,16	0,26	0,07
Na	0,04	0,12	0,70	0,59	0,85
K	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
ОН	—	—	—	—	—
	Авгит (M82)	Авгит (M73)	Эгирин (72M20)	Эгирин (60M12)	Акмит

1, 10 — из долеритов (2); 2, 6, 11 — из монцонитов (2); 3, 7 — из щелочных сиенитов; 4 — то же (ядро кристаллов); 5 — то же (периферическая оторочка); 8 — из сиенитов (ядра кристаллов); 9 — то же (периферическая зона).

Состав пироксенов (табл. 57) закономерно эволюционирует от долеритов через монцониты к щелочным сиенитам. В этом направлении пироксены становятся все более щелочными, менее магнезиальными; количество алюминия и титана в них уменьшается.

Слюды долеритов и монцонитов почти не отличаются по составу. Изменение состава амфиболов от монцонитов до сиенитов обнаруживает ту же направленность, что и изменение состава пироксенов. Они становятся более щелочными, менее магнезиальными; количество титана и алюминия в них уменьшается, а марганца увеличивается.

Магнезиальность пироксенов из долеритов выше магнезиальности слюды из тех же пород. В монцонитах магнезиальность всех ПТМ приблизительно одинакова. Амфибол этих пород является более щелочным, чем пироксен.

	Амфибол				Слюда	
	6	7	8	9	10	11
	40,73	48,51	48,80	49,12	33,60	36,12
	8,47	1,10	0,71	0,24	5,79	8,27
	10,62	1,08	2,13	1,59	14,47	12,18
	1,39	17,53	28,88	32,19	7,00	2,21
	11,91	14,21	—	—	11,20	15,40
	10,46	1,31	4,19	2,48	11,56	12,15
	0,25	0,66	0,54	0,55	0,30	Следы
	10,40	5,43	3,20	0,96	2,39	1,82
	2,92	7,87	6,69	8,30	0,41	1,15
	1,33	1,48	1,68	1,57	8,29	6,40
	0,23	0,17	—	—	2,00	0,96
	1,97	1,48	—	—	3,12	4,03
	100,68	100,93	96,82	97,0	100,13	100,63
	6,15	8,06	8,52	8,62	5,40	5,65
	1,83	—	0,44	0,34	2,60	2,26
	0,02	—	0,04	0,04	—	0,09
	0,96	0,14	0,09	0,03	0,70	0,98
	—	0,22	—	—	0,14	—
	0,14	2,19	3,74	4,23	0,85	0,17
	1,51	1,98	—	—	1,51	2,01
	0,04	0,09	1,09	0,65	0,04	—
	2,35	0,32	0,07	0,08	2,77	2,84
	—	0,0	—	—	—	—
	1,68	0,96	0,60	0,19	0,42	0,30
	0,85	2,53	2,27	2,90	0,12	0,36
	0,25	0,32	0,38	0,37	1,70	1,28
	2,00	1,83	—	—	4,00	4,00
	Керсутит (M60)	Арфведсонит (M13)	Арфведсонит (M1)	Арфведсонит (M1)	Биотит (M64)	Биотит (M59)

Содержание титана и алюминия возрастает в ряду пироксен < амфибол < слюда.

В щелочных сиенитах магнезиальность амфибола выше магнезиальности пироксена, щелочность пироксена несколько выше щелочности амфибола. Титанистость и марганцевистость амфибола выше соответствующих характеристик для пироксена.

Для одного кристалла пироксена из щелочных сиенитов определен состав его ядра и периферической части. Оказалось, что в процессе роста кристалла состав эволюционирует в том же направлении, что и состав пироксенов в ходе общей эволюции магматического очага. Уменьшаются его магнезиальность и титанистость.

## ЧУКОТСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Дежневский массив [107]

Залегают в известняках. Имеет зональное строение: ядро представлено гранитами; периферическая часть щелочными и нефелиновыми сиенитами. Пространственная зональность объяснялась Л.Л. Перчуком как результат магматического замещения гранитной магмой карбонатной толщи.

Обнаружение в пределах массива псевдолейцитовых шонкинитов [10] и описание Т.П. Миллером [191] калиево-базальтоидной провинции на Аляске, вплотную примыкающей к Дежневскому массиву, дает возможность рассмотреть и вероятность образования массива в результате многофазных внедрений более глубокой, чем гранитоидная, магмы.

Состав пироксенов нефелиновых сиенитов (табл. 58) отличается от состава пироксенов щелочных сиенитов большей щелочностью, большей степенью окисленности железа, меньшей магнезиальностью и несколько более низкой алюминиевостью.

Таблица 58

Химический состав ПТМ Дежневского массива [110]

Компоненты	Пироксен		Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47,18	48,89	35,97	43,33	34,66
TiO <sub>2</sub>	0,88	0,73	2,08	1,29	2,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,46	2,71	15,12	7,26	16,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,81	5,80	7,61	6,15	4,99
FeO	7,28	8,49	16,11	12,88	19,77
MnO	0,54	0,53	0,64	0,59	0,73
MgO	8,15	11,02	4,61	10,76	7,04
CaO	18,31	18,70	11,38	10,98	1,90
Na <sub>2</sub> O	3,10	0,67	2,00	1,71	0,56
K <sub>2</sub> O	0,97	0,57	2,67	1,67	7,61
H <sub>2</sub> O	0,21	1,84	1,43	2,23	2,63
F	0,20	—	0,60	1,15	0,82
Сумма	99,09	99,95	100,22	100,00	99,21
Si	1,84	1,89	5,71	6,65	5,58
Al <sup>IV</sup>	0,16	0,11	2,29	1,32	2,42

Таблица 58 (окончание)

Компоненты	Пироксен		Амфибол		Слюда
	1	2	3	4	5
Ti	0,02	0,04	0,25	0,15	0,25
Al <sup>VI</sup>	—	0,01	0,53	—	0,70
Fe <sup>3+</sup>	0,26	0,17	0,91	0,70	0,60
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,13	2,14	1,65	2,66
Mn	0,02	0,02	0,08	0,07	0,10
Mg	0,47	0,63	1,09	2,46	1,69
Fe <sup>VIII</sup>	—	0,14	—	—	—
Ca	0,76	0,78	1,94	1,80	0,33
Na	0,23	0,05	0,62	0,50	0,10
K	0,05	0,03	0,55	0,33	1,56
OH	—	—	1,19	1,95	1,41
F	—	—	0,30	0,05	0,42
	Эгирин (28M75)	Малоалю- миниевый авгит (M81)	Гастинг- сит (M33)	Эденит (M58)	Аннит

1, 3, 5 — из нефелиновых сиенитов (5, 11); 2, 4 — из щелочных сиенитов.

Амфибол нефелиновых сиенитов также отличается по составу от амфибола щелочных сиенитов. Направленность изменения состава амфиболов в основном подобна изменению состава пироксенов. В то же время состав амфиболов нефелиновых сиенитов, в первую очередь отличается резко пониженной магнезиальностью; щелочность увеличивается незначительно. Увеличивается степень окисленности железа. Аллюминиевость и титанистость амфибола нефелиновых сиенитов существенно выше аллюминиевости амфибола щелочных сиенитов, выше и его фтористость.

Из ПТМ нефелиновых сиенитов наибольшей магнезиальностью характеризуется пироксен, наименьшей — амфибол, слюда занимает промежуточное положение. Щелочность амфибола выше щелочности пироксена. Титанистость амфибола и слюды равны и значительно выше титанистости пироксенов. Аллюминиевость возрастает в ряду: пироксены < амфиболы < слюды. Содержание фтора в слюдах выше, чем в амфиболах.

В щелочных сиенитах щелочность амфиболов выше щелочности пироксенов. Магнезиальность пироксенов выше магнезиальности амфиболов.

## СКАНДИНАВСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Щелочной узел грабена Осло [145, 151]

Грабен выполнен осадочными, вулканогенными и интрузивными породами и ограничен гнейсами. Эффузивная серия представлена лавовыми покровами базальтов, трахибазальтов, трахиандезитов (ромбен-порфиоров), реже трахитов и липаритов.

Наиболее древними интрузивными породами являются эссекситы и оливиновые габбро, образующие неки; затем следуют монзонит-сиениты (ларвикиты), являющиеся глубинными аналогами ромбен-порфиоров и сла-

Таблица 59

Химический состав ПТМ щелочных пород грабена Осло [145, 151, 155]

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол	Слюда	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	42,28	47,85	46,46	48,27	41,78	35,61	35,02
TiO <sub>2</sub>	4,09	1,66	3,51	4,14	0,29	1,88	4,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,42	2,92	3,50	2,01	9,82	12,55	13,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,48	4,65	4,73	18,33	4,34	7,13	9,59
FeO	4,65	8,46	9,83	7,58	18,40	20,88	8,99
MnO	0,05	0,28	0,59	0,23	1,01	0,52	0,36
MgO	12,29	11,59	12,97	6,53	7,93	7,54	12,86
CaO	19,86	20,56	16,71	5,51	10,68	0,51	1,10
Na <sub>2</sub> O	0,73	0,79	0,98	6,43	3,18	0,91	0,60
K <sub>2</sub> O	0,18	0,08	0,53	0,32	0,66	7,88	9,44
H <sub>2</sub> O	0,39	0,69	He опр.	He опр.	2,38	3,92	3,06
F	—	—	—	—	—	1,69	0,93
Сумма	99,44	99,52	99,82	99,35	100,47	100,02	99,84
Si	1,60	1,84	1,77	1,88	6,38	5,38	5,52
Al <sup>IV</sup>	0,40	0,13	0,16	0,09	1,62	2,22	2,48
Fe <sup>IV</sup>	—	0,03	0,07	0,03	—	—	—
Ti	0,12	0,05	0,10	0,12	0,03	0,23	0,52
Al <sup>VI</sup>	0,11	—	—	—	0,15	0,18	0,10
Fe <sup>3+</sup>	0,07	0,10	0,06	0,51	0,50	0,87	1,14
Fe <sup>2+</sup>	0,61	0,27	0,06	0,25	2,35	2,83	1,18
Mn	0,02	0,01	0,02	0,01	0,13	0,07	0,05
Mg	0,69	0,66	0,74	0,38	1,82	1,82	3,02
Fe <sup>VIII</sup>	0,14	—	0,25	—	—	—	—
Ca	0,80	0,84	0,68	0,23	1,75	0,09	0,19
Na	0,05	0,06	0,07	0,48	0,94	0,29	0,19
K	0,01	—	—	0,01	0,13	1,63	1,89
ОН	—	0,18	—	—	2,42	4,00	2,20
	Титанав- гит (M90)	Салит (M70)	Авгит (M90)	Малоалю- миниевый титанавгит (M59)	Гастин- гит (M42)	Аннит	Титано- ксибио- тит (M71)

1 — из оливинового габбро; 2 — из ларвикита; 3 — из щелочного сиенита; 4 — из экерита; 5, 6 — из нефелиновых сиенитов (3 и 2); 7 — из нордмаркитов.

гающие крупные массивы, содержащие небольшие участки нефелинсодержащих разностей (лардалитов). Следующей фазой являются крупные интрузии щелочных сиенитов (нордмаркитов) и щелочных гранитов (экеритов). И, наконец, заключают магматический цикл массивы биотитовых гранитов.

Главным ПТМ эссекситов и ларвикитов является пироксен, образующий в эссекситах идиоморфные таблитчатые кристаллы. В подчиненных количествах встречаются слюда и оливин. В лардалитах наряду с пироксеном в качестве главного ПТМ выступает слюда. Главными ПТМ нордмаркитов и экеритов является щелочной амфибол и пироксен; в подчиненных количествах присутствует слюда. В обобщенном виде распространенность глав-

ных ПТМ в основных типах пород грабена Осло можно выразить следующим образом:

	Пироксен	Амфибол	Слюда
Эссекиты	+		
Ларвикиты	+		
Лардалиты	+	+	
Нордмаркиты	+	+	
Экериты	+	+	
Граниты			+

В магматическом комплексе грабена Осло эволюцию изменения состава ПТМ можно было бы проследить на примере пироксенов. Однако проанализированными оказались лишь четыре пироксена, представляющие лишь две основные фазы комплекса. Кроме того, имеется несколько разрозненных анализов амфиболов и слюд (табл. 59).

В эволюционном ряду пироксенов от габбро через щелочные сиениты к экеритам уменьшается алюминированность. Магнезиальность первых трех пироксенов близка и резко падает лишь в экеритах.

Сопоставление составов слюд нордмаркитов и нефелиновых сиенитов показывает, что магнезиальность слюд нордмаркитов существенно выше, как и алюминированность и титанистость. При этом следует учитывать, что для нефелиновых сиенитов проанализированы слюды из пегматоидных разновидностей.

Сравнение составов амфиболов и слюд из пегматитов нефелиновых сиенитов позволяет констатировать, что магнезиальность амфибола незначительно выше магнезиальности слюды. Алюминированность и марганцевистость амфибола выше, а титанистость ниже, чем соответствующие параметры у слюд.

### Массив Альне [155]

Залегают в архейских гнейсах, интенсивно фенитизированных вблизи массива. Ядро массива сложено грубозернистыми карбонатитами, которые окружены сиенитами и ийолит-мельтейгитами.

В табл. 60 приводятся анализы пироксенов из фенитов и карбонатитов Альне. Пересчет анализов показывает, что состав пироксенов меняется в сравнительно небольших пределах.

Таблица 60

Химический состав ПТМ некоторых щелочных массивов Скандинавии [155, 142, 163, 201]

Компоненты	Пироксен			Амфибол		
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	46,53	49,51	48,35	56,78	37,49	49,12
TiO <sub>2</sub>	0,93	0,50	1,55	0,37	0,86	2,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,52	2,75	3,27	5,83	10,81	4,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,65	15,49	6,26	8,75	7,52	7,68
FeO	4,43	4,90	9,39	2,00	25,14	16,70
MnO	0,29	1,62	0,80	0,43	0,95	0,51

Таблица 60 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен			Амфибол		
	1	2	3	4	5	6
MgO	10,39	4,64	7,53	8,70	1,34	5,63
CaO	21,69	15,80	20,16	0,33	9,77	2,84
Na <sub>2</sub> O	1,49	4,67	2,27	9,96	2,06	8,24
K <sub>2</sub> O	0,36	0,36	0,05	2,40	1,91	1,81
H <sub>2</sub> O	0,07	0,03	0,12	0,45	2,01	1,10
F	—	—	—	2,64	—	—
Li <sub>2</sub> O	—	—	—	1,15	—	—
ZnO	—	—	—	0,63	—	—
Сумма	99,35	100,37	99,75	100,42	99,86	100,26
Si	1,74	1,97	1,89	8,02	6,14	7,52
Al <sup>IV</sup>	0,26	0,03	0,11	—	1,88	0,48
Ti	0,02	0,01	0,05	0,04	0,10	0,24
Al <sup>VI</sup>	0,03	0,10	0,04	1,02	0,14	0,34
Fe <sup>3+</sup>	0,19	0,46	0,18	0,85	0,91	0,89
Fe <sup>2+</sup>	0,14	0,09	0,26	0,26	3,41	2,14
Mn	0,09	0,05	0,03	0,04	0,13	0,07
Mg	0,58	0,27	0,44	1,26	0,32	1,79
Fe <sup>VIII</sup>	0,04	0,07	0,05	—	—	—
Ca	0,87	0,67	0,84	0,05	1,70	0,47
Na	0,07	0,24	0,11	2,66	0,65	2,45
K	0,02	0,02	—	0,43	0,40	0,35
OH	—	—	—	0,47	2,17	1,12
F	—	—	—	1,19	—	—
	Салит (9M75)	Эгирин (26M66)	Салит (11M63)	Эккерма- нит (M53)	Гастинг- сит (M10)	Арфвед- сонит (M51)

1 — из карбонатитов, Альне; 2—3 — из фенитов, Альне; 4 — из катаплетовых нефелиновых сиенитов (2), Норра Керр; 5 — из канадитов, Альмунге; 6 — из нефелиновых гнейсов, Кихтелесваара.

Характерной особенностью состава пироксенов карбонатитов является их высокая алюминиевость. Пироксены фенитов по сравнению с пироксенами карбонатитов являются менее алюминиевыми, более щелочными и более железистыми.

## ЩЕЛОЧНЫЕ МАССИВЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ

### Массив Кайзерштуль [185, 181]

Представляет собой вулcano-плутон, залегающий в терригенно-карбонатной толще. Эффузивные породы (туфы, базальты, лейцитовые тефриты) прорываются субвулканическими фонолитами, а также фельдшпатоидными сиенитами, шонкинитами и монцонитами. В центральной части локализован шток карбонатитов, являющихся наиболее поздними породами массива.

Таблица 61

Химический состав ПТМ щелочного комплекса Кайзерштуль [185, 181]

Компо- ненты	Пироксен								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	44,78	48,05	44,33	41,97	40,25	49,75	50,66	49,68	52,09
TiO <sub>2</sub>	3,27	2,34	3,60	5,05	6,54	1,45	0,12	0,74	0,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,76	6,17	8,81	10,45	10,77	0,53	2,00	0,53	1,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,64	—	—	—	—	12,23	—	30,38	1,59
FeO	3,89	6,85	7,53	7,72	9,26	9,66	13,38	—	1,57
MnO	—	—	—	—	—	1,09	0,94	1,38	Следы
MgO	12,52	13,21	12,01	10,87	9,94	4,55	9,13	0,34	18,10
CaO	21,86	22,69	22,97	23,10	22,30	16,72	22,27	8,13	23,56
Na <sub>2</sub> O	—	0,45	0,55	0,63	0,75	2,26	1,29	8,63	0,96
Сумма	99,63	—	—	—	—	98,24	—	—	100,00
Si	1,74	1,78	1,65	1,57	1,37	2,02	1,93	1,96	1,88
Al <sup>IV</sup>	0,26	0,22	0,35	0,43	0,51	—	0,07	0,02	0,10
Ti	0,10	0,06	0,10	0,14	0,19	0,05	0,002	0,02	0,03
Al <sup>VI</sup>	0,08	0,05	0,04	0,03	—	0,02	0,02	—	—
Fe <sup>3+</sup>	0,14	—	—	—	—	0,37	—	0,90	0,04
Fe <sup>2+</sup>	0,06	0,21	0,23	0,24	0,31	0,24	0,43	—	0,05
Mn	—	—	—	—	—	0,04	0,03	0,05	—
Mg	0,71	0,73	0,67	0,61	0,59	0,28	0,52	0,02	0,97
Ca	0,90	0,90	0,92	0,93	0,95	0,73	0,91	0,34	—
Na	—	0,04	0,04	0,04	0,06	0,18	0,10	0,66	0,90
Фасса- ит (M91)						Салит (18M28)			Диоп- сид

1 — из щелочных базальтов (лимбургитов) (3); 2 — то же, ядро вкрапленника; 3 — то же, промежуточная зона вкрапленника; 4 — то же, периферическая зона вкрапленника; 5 — то же, из основной массы; 6 — из волластонитовых фонолитов; 7 — то же центральная часть кристаллов; 8 — то же периферическая часть кристаллов; 9 — из карбонатов. 2–5, 7, 8 — определение на микроанализаторе.

Состав пироксенов (табл. 61) изменяется от базальтов к фонолитам. В этом направлении уменьшаются их магнезиальность, алюминиевость и количество титана и увеличивается щелочность. В пироксенах карбонатов по сравнению с фонолитами щелочность уменьшается; магнезиальность достигает максимальной для пироксенов массива, но алюминиевость и титанистость остаются на низком уровне.

### Массив Дитро [179]

Состоит из штока нефелиновых сиенитов; к нему, с одной стороны, прилегают сиениты и щелочные граниты, а с другой — эссекситы с включениями ультрабазитов (горнблендитов). Все породы массива прорывают толщу переслаивания сланцев с мраморами и перекрываются третичными лавами.

Состав амфиболов нефелиновых сиенитов отличается от состава амфиболов ультрабазитов большей щелочностью, алюминиевостью, титанистостью и марганцевистостью. Магнезиальность этих амфиболов существенно ниже магнезиальности амфиболов ультрабазитов (табл. 62).

Таблица 62

Химический состав ПТМ некоторых щелочных массивов Европы [179, 175]

Компоненты	Амфибол					Пироксен
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	37,94	36,18	37,69	49,53	49,55	51,35
TiO <sub>2</sub>	3,68	4,29	5,67	4,10	0,34	0,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,31	11,07	13,41	2,28	0,97	2,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,11	10,52	6,33	16,89	16,52	25,43
FeO	10,21	12,98	10,43	3,94	20,38	3,70
MnO	0,31	0,78	0,43	0,48	1,30	0,18
MgO	10,42	7,15	8,61	5,60	0,16	0,58
CaO	14,61	21,74	10,97	1,99	0,90	3,29
Na <sub>2</sub> O	2,22	4,15	3,66	8,20	6,53	11,65
K <sub>2</sub> O	1,06	1,65	2,33	1,04	0,85	0,14
H <sub>2</sub> O	1,09	0,49	—	4,63	1,85	0,33
Сумма	99,92	100,99	99,53	98,68	99,35	100,20
Si	5,85	5,98	5,92	8,03	8,00	1,96
Al <sup>IV</sup>	1,85	2,00	2,08	—	—	0,04
Ti	0,43	0,49	0,67	0,50	0,04	0,02
Al <sup>VI</sup>	—	0,03	0,41	0,45	0,19	0,09
Fe <sup>3+</sup>	0,95	0,88	0,77	2,06	2,00	0,73
Fe <sup>2+</sup>	1,32	1,59	1,37	0,54	2,80	0,12
Mn	0,03	0,10	0,06	0,07	0,16	0,01
Mg	2,39	1,66	2,01	1,35	0,04	0,03
Ca	2,41	1,94	1,85	0,35	0,16	0,13
Na	0,65	1,22	1,09	2,57	2,10	0,86
K	0,21	0,32	0,45	0,34	0,19	0,01
ОН	1,12	0,49	—	—	1,00	—
	Гастингсит (M63)	Гастингсит (M50)	Керсутит (M59)	Титан-арф- ведсонит (M67)	Рибекит (M0)	Акмит

1 — из ультрабазита (горнблендита); 2 — из массивных нефелиновых сиенитов; 3, 6 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов; 4 — из кварцевых щелочных сиенитов Свидия (Болгария); 5 — из гнейсовидных нефелиновых сиенитов Севадеш (Португалия). 1, 2, 3 — Дитро (Румыния), 6 — Киок на Срене (Шотландия).

## ЩЕЛОЧНЫЕ МАССИВЫ ЗАПАДНОЙ АФРИКИ

### Массив архипелага Лос (Гвинея) [186, 95]

Отдельные фрагменты массива обнажаются на островах архипелага. Геологические данные изученной островной части массива, дополненные геофизическими исследованиями, дают возможность предположить округлую форму массива с концентрически-зональным строением.

Массив залегает в песчано-сланцевой толще и сложен породами трех основных фаз. Наиболее древними являются нозеановые монцониты; затем следуют нозеановые сиениты. Наиболее молодыми являются породы фойяитового комплекса.

Для интрузии характерны четкие секущие контакты между слагающими

Таблица 63

Химический состав ПТМ нефелиновых гнейсов Ганы и массива Лос [176, 186]

Компоненты	Пироксен		Амфибол			
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	48,26	37,02	35,52	37,58	38,24	49,94
TiO <sub>2</sub>	1,05	1,61	1,79	1,66	2,20	1,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,92	17,29	19,57	15,11	10,20	2,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,51	7,79	6,51	20,75	8,45	5,72
FeO	5,46	14,94	18,45	9,25	11,09	16,94
MnO	0,34	0,53	0,51	1,06	2,30	0,80
MgO	5,70	5,19	2,72	1,06	9,07	7,49
CaO	15,32	9,46	9,27	5,53	11,53	1,92
Na <sub>2</sub> O	3,94	3,38	2,84	5,10	2,68	7,85
K <sub>2</sub> O	0,08	2,40	2,58	2,80	1,91	0,74
H <sub>2</sub> O	0,00	0,31	0,72	0,58	0,63	4,54
Сумма	99,58	99,95	100,48	100,48	99,79	100,05
Si	1,84	5,67	5,45	5,92	5,93	7,71
Al <sup>IV</sup>	0,16	2,33	2,55	2,08	1,88	0,29
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	0,13	—
Ti	0,03	0,18	0,21	0,20	0,26	0,22
Al <sup>VI</sup>	0,24	0,78	0,98	0,72	—	0,12
Fe <sup>3+</sup>	0,30	0,90	0,76	2,46	0,87	0,65
Fe <sup>2+</sup>	0,10	1,90	2,37	1,22	1,45	2,18
Mn	0,01	0,06	—	0,14	0,30	0,10
Mg	0,32	1,18	0,82	0,26	2,12	1,72
Fe <sup>VIII</sup>	0,08	—	—	—	—	—
Ca	0,63	1,55	1,53	0,93	1,93	0,31
Na	0,29	1,01	0,83	1,55	0,83	2,35
K	—	0,46	0,52	0,57	0,38	0,14
OH	—	0,31	0,72	0,62	0,64	4,02
F	—	—	—	—	0,90	—
	Эгирин (29M76)	Натроалю- могастинг- сит (M38)	Нантроалю- могастинг- сит (M26)	Тарамит (M27)	Гастинг- сит (M54)	Арфвед- сонит (M43)

1, 2 — из меланократовых нефелиновых сиенитов; 3 — из мезократовых нефелиновых сиенитов; 4 — из лейкократовых нефелиновых сиенитов; 5 — из нозеановых монзонитов; 6 — из фойяит-пегматитов; 1, 2, 3, 4 — Гана; 5, 6 — Лос.

ее породами; взаимные переходы пород практически отсутствуют. Не наблюдается последовательной смены пород ранних фаз породами более поздних фаз в направлении от центра к периферии или от периферии к центру. По профилю от периферии к центру наблюдается сложное чередование пород различных фаз.

Состав амфиболов (табл. 63) закономерно меняется от ранних нозеановых монзонитов к поздним фойяитам и их пегматитам. В этом направлении увеличивается щелочность амфиболов, уменьшаются их магнизиальность, алюминиевость и титанистость.

## Нефелиновые гнейсы Ганы [176]

На юго-востоке Ганы в докембрийских гнейсах наблюдается согласная с их сланцеватостью полоса нефелиновых гнейсовидных сиенитов мощностью 10—20 м и протяженностью 60 км. В пределах полосы наблюдаются прослойки нефелиновых пород различной меланократовости. Основным ПТМ является амфибол; в подчиненных количествах встречается пироксен.

От меланократовых разностей к лейкократовым увеличивается щелочность амфиболов (см. табл. 63) и их марганцевистость, уменьшается магнезиальность. Алюминиевость меняется незакономерно, но постоянно остается высокой.

Магнезиальность пироксена меланократовых нефелиновых сиенитов выше магнезиальности амфибола, щелочность пироксена ниже щелочности амфибола.

## Массив Оконджедж [206]

Представляет собой два разнофокусных интрузивных центра, прорывающих метаморфическую толщу. Наиболее крупный центр состоит из габбро, окруженного феррогаббро. В периферической части наблюдаются крупные кольцевые дайки сиенитов. Вокруг центра отмечается довольно широкая кайма так называемых кислых гибридных пород.

Второй центр внедряется со срезанием части концентрической структуры первого и состоит из эссекситов, окруженных пуласкитами.

Таблица 64

Химический состав ПТМ массивов Оконджедж (Намибия), Луэш (Заир) и Даркенил (Сомали) [206, 152, 180]

Компоненты	Пироксен				Амфибол			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	48,64	48,61	46,61	50,09	38,45	43,75	37,08	54,86
TiO <sub>2</sub>	1,22	1,63	1,18	1,15	3,62	1,95	0,30	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,70	3,77	3,47	5,34	12,42	9,32	12,50	0,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,95	1,54	0,90	4,23	5,38	3,15	11,15	10,70
FeO	6,65	11,48	20,18	6,13	14,67	17,36	21,55	6,07
MnO	0,17	0,42	1,11	0,15	0,54	0,61	0,60	0,22
MgO	13,73	10,79	7,27	10,49	7,78	8,39	0,84	15,03
CaO	21,44	20,73	17,24	19,17	11,61	10,96	7,54	4,74
Na <sub>2</sub> O	0,66	0,97	1,04	2,78	3,07	1,72	3,84	5,09
K <sub>2</sub> O	0,13	0,14	0,46	0,16	1,17	1,75	1,57	1,74
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	0,90	0,80	—	—
Сумма	100,34	100,33	99,73	99,73	100,89	100,27	99,78	100,05
Si	1,82	1,85	1,86	1,88	5,90	6,62	5,99	7,87
Al <sup>IV</sup>	0,18	0,15	0,14	0,12	2,10	1,38	2,01	0,13
Ti	0,03	0,05	0,04	0,03	0,42	0,22	0,04	0,04
Al <sup>VI</sup>	0,02	0,02	0,02	0,11	0,14	0,20	0,38	—
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,04	0,03	0,12	0,62	0,36	1,36	1,15
Fe <sup>2+</sup>	0,11	0,30	0,60	0,16	1,88	2,19	2,92	0,73
Mn	0,01	0,01	0,04	0,01	0,07	0,08	0,08	0,03
Mg	0,76	0,61	0,43	0,59	1,78	1,89	0,19	3,21

Таблица 64 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен				Амфибол			
	1	2	3	4	5	6	7	8
Fe <sup>VIII</sup>	0,09	0,07	0,07	0,03	—	—	—	—
Ca	0,86	0,85	0,74	0,77	1,91	1,78	1,30	0,73
Na	0,05	0,07	0,08	0,20	0,91	0,50	1,18	1,41
K	—	0,01	0,01	—	0,33	0,16	0,58	0,10
ОН	—	—	—	—	1,19	1,67	1,73	1,66
F	—	—	—	—	0,44	0,38	—	—
	Диоксид	Салит (M66)	Салит (M40)	Диоп- сид (20M78)	Керсу- тит (M48)	Роговая эбман- ка	Тарамит (M6)	Магне- зиори- бекит (M81)

1 — из габбро (2); 2 — из андезитового эссексита; 3 — из сиенита; 4 — из трубки взрыва; 5 — из олигоклазового эссексита; 6 — из кислых пород (периферической зоны); 7 — из нефелиновых сиенитов; 8 — из карбонатитов Луш. 1, 2, 3, 4 — Оконджедж, 5, 6, 7 — Даркейил.

Нефелиновые сиениты-фойяиты слагают мелкие тела в габбро. Наиболее поздними образованиями считаются заполнения мелких трубок взрыва, пересекающих все породы массива.

Состав пироксенов (табл. 64) закономерно меняется от габбро к сиенитам кольцевой дайки и далее к поздним трубкам взрыва. В этом направлении уменьшаются количества тетраэдрического алюминия и ферросилитового компонента и увеличивается щелочность. Магнезиальность уменьшается от габбро к сиенитам и затем увеличивается в пироксенах из трубок взрывов.

## ПРОВИНЦИЯ ВОСТОЧНО-АФРИКАНСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

### Щелочные эффузивы Восточной Африки [16]

Щелочные эффузивы можно грубо разделить по составу на две ветви: калиевую — западного рифта и натриевую — восточного рифта.

Лавы калиевой ветви представлены угандитами, лейцититами и др., натриевой — меланефелинитами, нефелинитами, фонолитами и др. Кроме того, выделяются породы умеренной щелочности: пикро-базальты, андезит-базальты, трахиты.

В табл. 65 приведены составы пироксенов эффузивов рифтовых зон Восточной Африки. Анализы выполнены с помощью электронного микроанализатора, чем объясняется суммарное определение окисного и закисного железа и неудовлетворительные суммы. Тем не менее казалось целесообразным пересчитать анализы на кристаллохимические формулы для удобства сопоставления составов. Такое сопоставление показало, что от вкрапленников к основной массе уменьшаются магнезиальность пироксенов и количество ферросилитового компонента и увеличивается количество натрия. Количество алюминия и титана увеличивается от вкрапленников к ос-

Таблица 65

Химический состав пироксенов из щелочных эффузивов рифтовых зон Восточной Африки [16]

Компоненты	1	1a	2	3	4	4a	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	53,8	45,1	49,7	47,1	52,5	46,4	45,62	50,8	52,6
TiO <sub>2</sub>	0,7	3,6	2,2	2,8	2,3	4,2	4,2	0,9	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,9	10,1	5,4	7,0	4,9	7,0	5,82	4,0	2,3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	0,62	—	—
FeO	4,8	9,5	11,2	8,9	5,4	7,5	7,13	5,6	18,6
MnO	—	—	—	—	—	—	0,14	0,1	—
MgO	13,5	10,9	11,8	11,9	15,7	12,4	12,70	14,8	6,9
CaO	23,5	22,4	21,9	22,5	15,8	23,8	22,98	22,4	21,6
Na <sub>2</sub> O	0,7	1,0	0,9	0,5	0,5	0,8	0,87	1,0	1,3
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	0,23	0,15	—
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—	—	0,10	—
Сумма	99,9	102,6	101,3	100,7	97,4	102,1	100,31	99,7	103,5
Si	2,16	1,75	1,80	1,75	1,99	1,70	1,70	1,87	1,98
Al <sup>IV</sup>	—	0,25	0,20	0,25	—	0,30	0,26	0,13	0,02
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	0,04	—	—
Ti	0,02	0,11	0,06	0,08	0,07	0,12	0,12	0,02	0,62
Al <sup>VI</sup>	0,14	0,21	0,03	0,06	0,22	—	—	0,04	0,08
Fe <sup>3+</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe <sup>2+</sup>	0,16	0,31	0,34	0,28	—	0,23	0,18	0,17	0,52
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	0,45	0,36	0,64	0,66	0,88	0,67	0,70	0,81	0,39
Fe <sup>x</sup>	—	—	—	—	0,17	—	—	—	0,07
Ca	1,00	0,93	0,85	0,89	0,64	0,93	0,92	0,88	0,87
Na	0,05	0,07	0,07	0,04	0,04	0,06	0,07	0,07	0,06
K	—	—	—	—	—	—	—	0,01	—
ОН	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Салит (М74)	Фасса-ит (М54)	Салит (М65)	Фасса-ит (М68)	Авгит (М84)	Титано-вый фасса-ит (М74)	Титано-вый фасса-ит (М80)	Диоп-сид (М81)	Салит (М43)

1 — из пикробазальтов (Нгоронгоро, Танзания), центральная часть вкрапленников; 1a — то же, периферическая часть вкрапленников; 2 — из оливинового базальта (Лемагарут, Танзания); 3 — из трахибазальта (2) (Рухенгери, Кисоро, Уганда); 4 — из угандита (Високе, Руанда), обломки зеленых кристаллов; 4a — то же, фиолетовый пироксен вкрапленников и основной массы; 5 — из лейцитита (Високе, Руанда); 6 — из меланефелинита (Квараха, Танзания) (3); 7 — из нефелинита (Содиман, Танзания)

новой массе для меланократовых членов серий и уменьшается для лейкократовых (фонолиты, трахиты).

В гипотетическом эволюционном ряду пород (пикро-базальты — меланефелиниты — нефелиниты — фонолиты) уменьшаются магнезиальность пироксенов, количество в них алюминия и титана, увеличиваются количества натрия и ферросилитового компонента.

Сравнение составов пироксенов калиевых пород и их натриевых аналогов показывает, что пироксены калиевых пород (более щелочных) явля-

	7a	8	8a	9	9a	10	10a	11	11a
	49,1	49,8	50,2	49,49	51,82	51,3	51,1	51,6	49,8
	0,6	1,5	1,0	0,76	1,82	0,8	0,7	0,8	1,1
	6,3	5,6	4,8	1,88	0,50	1,7	1,8	1,5	0,5
	—	—	—	10,00	23,38	—	—	—	—
	18,2	11,00	16,8	13,16	5,72	15,8	13,4	13,7	21,9
	—	—	—	0,83	0,57	0,9	0,8	—	0,7
	4,7	11,00	7,5	4,03	0,64	9,4	9,8	11,0	6,5
	19,3	20,6	22,4	16,07	4,49	19,7	19,9	20,3	18,5
	3,3	1,3	1,4	4,11	10,29	0,7	0,8	0,7	1,1
	—	—	—	0,09	0,28	—	—	—	—
	—	—	—	0,05	0,22	—	—	—	—
	101,5	100,8	104,1	100,47	99,72	100,3	99,3	100,3	100,0
	1,89	1,86	1,87	1,98	2,17	1,98	1,97	1,97	1,97
	0,11	0,14	0,13	0,02	—	0,02	0,03	0,03	0,02
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,01	0,04	0,03	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03
	0,19	0,11	0,08	0,07	0,03	0,06	0,05	0,04	—
	—	—	—	0,30	0,74	—	—	—	—
	0,53	0,22	0,48	0,37	—	0,38	0,35	0,30	0,58
	—	—	—	0,03	0,02	0,03	0,03	—	0,02
	0,27	0,61	0,42	0,24	0,04	0,54	0,56	0,63	0,38
	0,05	0,12	0,04	0,07	0,20	0,13	0,12	0,14	0,14
	0,79	0,82	0,89	0,69	0,20	0,81	0,82	0,83	0,78
	0,16	0,06	0,07	0,21	0,55	0,03	0,03	0,03	0,06
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Салит (16М31)	Авгит (М62)	Салит (М44)	Мало-алюми-ниевый авгит (21М34)	Эгирин (55М15)	Мало-алюми-ниевый авгит (М50)	Мало-алюми-ниевый авгит (М53)	Мало-алюми-ниевый авгит (М61)	Мало-алюми-ниевый авгит (М34)

(центр вкрапленников); 7a — то же (периферия вкрапленников); 8 — из фонолита (Меру, Танзания) (центр вкрапленников); 8a — то же (периферия вкрапленников); 9 — из фонолита (Торор, Уганда) (вкрапленник); 9a — то же (из основной массы); 10 — из фонолита (Сусва, Кения) (из вкрапленников); 10a — то же (из основной массы); 11 — из трахита, там же (вкрапленники); 11a — то же (основная масса).

ются более магнезиальными, содержат больше алюминия и титана. В то же время они не содержат натрия и ферросилитового компонента. Аналогичная закономерность наблюдается при сравнении пироксенов из пород различной щелочности — трахитов и фонолитов. Пироксены фонолитов содержат больше алюминия и магния и меньше натрия и ферросилитового компонента.

## Щелочные интрузии Уганды [183]

Щелочной магматизм Уганды приурочен к двум рифтовым зонам. Щелочные породы западной зоны представлены преимущественно эффузивной серией калиевого ряда. Здесь обнаружен лишь один небольшой карбонатитоносный массив (Катве).

В восточной зоне локализовано около десятка карбонатитоносных массивов, часть из которых является крупными и имеет экономическое значение как источник фосфатов, железа и ниобия. Основную площадь массивов составляют карбонатиты, окруженные более или менее мощной каймой щелочных пород (ийолитов, мельтейгитов, нефелиновых сиенитов).

Значительное количество анализов ПТМ, преимущественно пироксенов, являющихся главными первичными ПТМ большинства пород массивов

Таблица 66

Состав ПТМ карбонатитоносных массивов Восточной Уганды [177, 212, 213, 183]

Компоненты	Пироксен				
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	49,17	49,94	49,91	50,83	50,30
TiO <sub>2</sub>	0,73	0,87	1,11	0,67	1,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,22	0,10	1,20	1,36	4,51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,05	10,36	14,59	8,86	2,63
FeO	10,62	11,50	10,01	9,09	5,53
MnO	0,41	0,41	0,48	0,48	0,15
MgO	7,00	4,86	3,15	5,85	11,57
CaO	19,43	16,44	13,42	18,50	21,83
Na <sub>2</sub> O	2,54	4,12	6,20	3,52	1,45
K <sub>2</sub> O	0,84	0,65	0,31	1,42	0,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,12	0,03	—	0,03
H <sub>2</sub> O	—	—	0,02	—	—
Сумма	100,12	99,47	100,43	100,58	99,89
Si	1,91	1,96	1,93	1,94	1,87
Al <sup>IV</sup>	0,01	0,01	0,06	0,06	0,13
Fe <sup>IV</sup>	0,05	—	—	—	—
Ti	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04
Al <sup>VI</sup>	—	—	—	—	0,07
Fe <sup>3+</sup>	0,21	0,31	0,42	0,26	0,08
Fe <sup>2+</sup>	0,34	0,38	0,32	0,29	0,17
Mn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,005
Mg	0,41	0,29	0,18	0,33	0,64
Ca	0,81	0,69	0,56	0,76	0,87
Na	0,19	0,31	0,47	0,26	0,10
K	0,04	0,03	0,01	0,07	0,03
ОН	—	—	—	—	—
	Салит (M54)	Эгирин (34M35)	Эгирин (48M35)	Эгирин (33M55)	Салит (M79)

1, 6, 12 — из мельтейгитов (3); 2, 7, 13 — из ийолитов (3); 3, 9 — из нефелиновых сиенитов (2) и (6); 4 — из фенитов; 5, 11 — из пироксенов (2); 8 — из уртитов (2); 10 — из турьитов; 14 — из поздних даек мельтейгитов; 15 — из измененных ийולי-

(табл. 66), позволяет проследить основные черты эволюции их состава в процессе становления интрузий.

Состав пироксенов в массиве Будеда изменяется от ранних мельтейгитов к более поздним нефелиновым сиенитам. При этом увеличивается их щелочность и уменьшается магнезиальность. Параллельно щелочности увеличивается количество окисного железа, а количество закисного железа остается постоянным. Пироксен фенитов массива несколько менее щелочной и более магнезиальный по сравнению с пироксеном нефелиновых сиенитов.

Состав пироксенов массива Напак меняется от ранних пироксенов к поздним нефелиновым сиенитам аналогично составу пироксенов массива Будеда. Дополнительно можно лишь отметить уменьшение в этом ряду количества алюминия и непостоянство содержания закисного железа.

В массиве Букусу состав пироксенов, судя по данным неполных хими-

Пироксен						
6	7	8	9	10	11	12
50,29	50,46	50,40	50,14	51,80	—	—
0,86	0,87	1,20	1,50	1,68	1,0	0,6
4,03	1,61	1,54	1,87	1,91	—	—
2,90	6,24	8,05	22,93	1,92	2,1	2,4
6,07	7,96	12,02	5,12	4,28	2,9	3,8
0,13	0,26	0,66	0,37	0,18	—	—
11,91	9,08	3,10	1,57	13,84	14,3	13,5
21,67	20,35	19,42	6,36	23,46	22,3	21,9
1,84	2,49	3,57	8,76	0,96	0,7	1,0
0,35	0,65	0,34	1,10	0,07	—	—
—	0,09	—	0,10	0,06	—	—
—	0,002	—	0,004	—	—	—
100,05	100,06	100,3	99,81	100,16	43,3	—
1,87	1,91	1,95	1,94	1,91	—	—
0,13	0,07	0,05	0,06	0,08	—	—
—	—	—	—	—	—	—
0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	—	—
0,04	—	0,02	0,03	—	—	—
0,08	0,17	0,24	0,68	0,05	—	—
0,13	0,26	0,39	0,16	0,13	—	—
—	0,01	0,02	0,01	0,01	—	—
0,66	0,51	0,18	0,09	0,82	—	—
0,86	0,83	0,81	0,26	0,93	—	—
0,13	0,18	0,27	0,68	0,07	—	—
0,02	0,03	0,01	0,06	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—
Салит (M83)	Салит (M67)	Эгирин (28M33)	Эгирин (74M30)	Диопсид	—	—

тов; 16 — из карбонатно-силикатных пород; 17, 24 — из карбонатитов (4); 18, 23 — из фенитов; 1—4 — Будеда; 5—10 — Напак; 11—16 — Букусу; 17—21 — Тороро; 22, 23 — Торор; 24 — Катве.

Таблица 66 (окончание)

Компоненты	Пироксен		Слюда		Пироксен	
	13	14	15	16	17	18
SiO <sub>2</sub>	—	—	36,50	37,45	50,14	51,43
TiO <sub>2</sub>	0,5	0,4	1,41	1,52	1,00	0,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	16,21	16,20	0,70	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,6	4,3	1,20	0,81	22,84	20,78
FeO	4,0	5,2	12,07	8,64	5,72	6,55
MnO	—	—	0,31	0,17	0,30	0,94
MgO	13,3	11,2	17,84	19,22	2,74	2,63
CaO	21,6	20,5	1,06	1,15	8,42	10,43
Na <sub>2</sub> O	1,1	1,8	0,83	1,40	7,63	6,40
K <sub>2</sub> O	—	—	9,61	9,15	0,76	0,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	3,00	4,20	—	—
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	—
Сумма	—	—	100,04	99,91	100,26	100,39
Si	—	—	5,41	5,56	1,97	2,01
Al <sup>IV</sup>	—	—	2,59	2,44	0,03	—
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—
Ti	—	—	0,16	0,17	0,03	0,01
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,84	0,40	—	0,01
Fe <sup>3+</sup>	—	—	0,14	0,09	0,69	0,61
Fe <sup>2+</sup>	—	—	1,50	1,07	0,17	0,21
Mn	—	—	0,04	0,03	0,01	0,03
Mg	—	—	3,93	4,25	0,13	0,15
Ca	—	—	0,18	0,19	0,33	0,44
Na	—	—	0,23	0,41	0,60	0,48
K	—	—	1,82	1,75	0,03	0,03
ОН	—	—	0,38	0,54	—	—
			Алюмобито- тит (M72)	Флогопит	Эгирин (63M47)	Эгирин (51M40)

ческих анализов, меняется от ранних пироксенитов к ийолитам и поздним дайковым мельтейгитам аналогично изменению состава пироксенов массива Будеда. Дополнительно происходит закономерное уменьшение количества титана.

Сравнение составов слюд из измененных ийолитов и силикатно-карбонатных пород массива Букусу показывает, что, как и для других карбонатитовых комплексов, магнезиальность слюды из карбонатизированной породы выше, чем ее магнезиальность в ийолитах.

#### Массив Марангудзи (Зимбабве) [174]

Основную площадь массива слагают габбро, которые пересекаются кольцевыми дайками кварцевых сиенитов, конических дайками различных по составу нефелиновых сиенитов и свитами даек тингуаитов.

Последовательность даек нефелиновых сиенитов — 1) нефелиновые мон-

Пироксен	Амфибол	Слюда	Пироксен	Амфибол	Слюда
19	20	21	22	23	24
—	50,58	40,09	—	—	34,64
1,55	0,98	0,38	2,36	0,00	4,90
1,33	1,89	9,48	0,22	0,52	14,00
27,46	12,31	5,58	30,51	16,05	6,48
2,79	7,20	8,92	1,20	3,61	16,03
1,18	0,58	0,09	0,65	0,00	0,31
3,91	9,41	22,32	1,41	10,08	11,08
4,16	4,34	1,32	2,53	4,97	Следы
9,56	8,24	1,25	11,19	8,39	0,34
0,72	2,29	5,68	0,33	2,19	9,47
—	—	4,86	—	—	2,29
—	—	—	—	—	0,36
—	97,82	99,97	—	—	99,95
—	7,89	5,82	—	7,64	5,40
—	0,11	1,62	—	0,35	2,57
—	—	0,56	—	—	0,03
—	0,12	0,03	—	0,09	0,57
—	0,25	—	—	—	—
—	1,14	0,05	—	0,95	0,72
—	0,94	1,08	—	1,02	2,09
—	0,07	0,01	—	0,05	0,04
—	2,18	4,82	—	2,37	2,56
—	0,72	0,20	—	0,69	сл.
—	2,47	0,33	—	2,26	0,09
—	0,45	1,06	—	0,50	1,89
—	—	0,61	—	2,00	0,30
	Магнезио- арфведсо- нит (M67)	Тетрафер- рифлого- пит		Магнезио- арфведсо- нит (M68)	Алюмобито- тит (M54)

Таблица 67

Химический состав амфиболов массива Марангудзи [174]

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	36,59	37,37	36,91	36,72	36,44	37,08	40,15
TiO <sub>2</sub>	2,81	2,54	1,30	1,15	2,04	0,89	1,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,51	12,10	12,35	11,66	13,58	11,77	8,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,05	5,69	7,12	7,92	5,03	5,82	5,13
FeO	16,99	18,87	19,11	21,04	17,32	22,02	23,53
MnO	0,38	0,68	0,99	1,21	0,34	1,33	0,71
MgO	6,35	5,52	4,31	3,11	6,89	3,46	4,62
CaO	11,75	11,13	11,00	10,47	11,90	10,94	10,03
Na <sub>2</sub> O	2,09	2,34	2,61	2,79	1,76	2,54	2,10
K <sub>2</sub> O	2,25	2,15	2,11	1,96	2,46	2,07	1,41
H <sub>2</sub> O	0,40	0,84	0,93	1,00	0,45	0,87	0,75

Таблица 67 (окончание)

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7
F	1,60	1,91	2,06	2,08	1,80	1,94	2,34
Cl	—	0,05	0,03	0,03	—	0,14	—
Сумма	100,08	100,35	100,05	100,25	99,21	100,87	99,85
Si	5,75	5,89	5,87	5,89	5,79	5,97	6,41
Al <sup>IV</sup>	2,25	2,11	2,13	2,11	2,21	2,03	1,58
Ti	0,33	0,30	0,15	0,14	0,24	0,11	0,22
Al <sup>VI</sup>	0,44	0,14	0,18	0,10	0,33	0,20	0,02
Fe <sup>3+</sup>	0,60	0,68	0,85	0,95	0,60	0,70	0,61
Fe <sup>2+</sup>	2,23	2,48	2,56	2,83	2,30	2,96	3,14
Mn	0,05	0,09	0,13	0,16	0,05	0,18	0,10
Mg	1,49	1,30	1,02	0,73	1,63	0,83	1,09
Ca	1,98	1,88	1,87	1,80	2,03	1,89	1,71
Na	0,64	0,71	0,81	0,87	0,54	0,79	0,65
K	0,45	0,43	0,43	0,40	0,50	0,43	0,29
OH	0,41	0,88	0,98	1,07	0,48	0,93	0,80
F	0,80	0,95	1,03	1,06	0,90	0,99	1,18

Гастингсит

1 — из нефелинового монцонита; 2 — из пуласкита (3); 3 — из фойяита; 4 — из микрофойяита (2); 5 — из ювита; 7 — из кварцевого сиенита (5).

пониты, 2) пуласкиты, 3) фойяиты, 4) микрофойяиты — доказываются геологически и подтверждается закономерностями распределения редких элементов и типоморфизмом минерального состава.

Состав амфиболов в серии нефелиновых даек меняется так же закономерно — от ранних даек к поздним в амфиболах падают содержания алюминия, кальция и титана и растут количества кремния, марганца и натрия. Количество калия не меняется (табл. 67).

Ювиты, по геологическим данным являющиеся наиболее поздними образованиями, по составу амфиболов соответствуют ранним дифференциатам и, вероятно, интродуцируют из другого структурного этажа.

## ГРЕНЛАНДСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Массив Илимаусак [208, 130]

Залегают в песчаниках, базальтах и древних гранитах. Основную площадь выхода массива слагают нефелиновые сиениты, образующие расслоенную толщу. В контактной зоне массива локализовано дугообразное прерывистое тело щелочных авгитовых сиенитов. Нефелиновые сиениты прорваны небольшими штокообразными телами щелочных гранитов; на контакте этих пород наблюдается зона пуласкитов и кварцевых сиенитов.

Нефелиновые сиениты представлены эвдиалитовыми разностями (какортокиты), лувритами, фойяитами и пойкилитовыми пегматоидными содалитовыми сиенитами (науяитами).

Таблица 68

Химический состав ПТМ массива Илимаусак [130, 208]

Компоненты	Пироксен					Амфиболы			
	1	2	3	4	4а	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	50,74	46,57	51,08	44,16	46,36	44,67	48,41	49,11	46,45
TiO <sub>2</sub>	0,93	0,57	0,49	1,37	0,43	0,85	1,32	0,78	0,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,99	5,15	2,42	3,75	2,87	5,91	1,81	1,16	3,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,74	7,28	28,99	10,20	12,28	5,22	11,25	9,23	16,70
FeO	13,27	26,13	1,21	22,75	24,30	29,26	23,81	25,50	19,59
MgO	8,98	1,07	0,31	1,63	0,30	0,25	0,06	0,18	Следы
MnO	0,36	0,76	1,19	1,46	0,51	0,78	0,75	1,13	0,63
CaO	21,33	4,46	0,69	4,32	2,80	5,59	1,18	0,77	1,63
Na <sub>2</sub> O	He опр.	5,99	11,57	5,90	8,26	5,14	7,38	7,01	5,94
K <sub>2</sub> O	He опр.	1,61	1,44	2,10	1,63	1,69	1,52	2,89	3,74
H <sub>2</sub> O	0,11	0,29	0,48	1,66	1,09	0,48	1,07	1,12	0,95
F	—	0,33	0,12	0,80	—	He опр.	2,95	0,29	1,24
Сумма	99,45	99,93	99,99	99,89	100,83	99,84	100,26	100,05	100,44
Si	1,98	1,80	1,96	7,10	7,50	7,30	7,90	7,80	7,40
Al <sup>IV</sup>	0,02	0,20	0,04	0,86	0,50	0,70	0,03	0,20	0,60
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	0,04	—	—	0,07	—	—
Ti	0,03	0,02	0,01	0,16	0,05	0,10	0,09	0,06	0,06
Al <sup>VI</sup>	0,07	0,04	0,07	—	0,04	0,40	—	0,55	0,04
Fe <sup>3+</sup>	0,05	0,02	0,83	1,00	1,50	0,65	1,03	1,60	2,00
Fe <sup>2+</sup>	0,43	0,87	0,04	3,10	3,28	4,00	3,50	2,00	2,60
Mn	0,01	0,04	0,01	0,22	0,07	0,09	0,10	0,03	—
Mg	0,52	0,04	0,07	0,35	0,07	0,19	0,11	0,30	0,15
Ca	0,89	0,19	0,07	0,74	0,49	0,98	0,13	0,13	0,28
Na	He опр.	0,48	0,86	1,80	2,60	1,60	2,20	2,10	1,80
K	То же	0,08	0,07	0,42	0,33	0,35	0,55	0,57	0,76
OH	—	—	—	1,80	1,18	0,53	1,20	1,50	1,00
F	—	—	—	0,40	—	—	0,15	0,19	0,60
	Авгит (M53)	Эгирин- авгит (56M4)	Акмит	Като- форит (M9)	Арфвед- сонит (M2)	Като- форит (M5)	Арфвед- сонит (M3)	Арф- ведсо- нит (M11)	Алюмо- арфвед- сонит (M5)

1 — из зоны закалки авгитовых сиенитов; 2, 4 — из пегматоидных какортоцитов; 3 — из пегматоидных фойяитов; 5 — из пегматоидных пуласцитов; 6 — из пегматоидных науякитов; 7 — из пегматоидных куанитов; 8 — из щелочных гранитов.

Вмещающие граниты и песчаники фенитизированы на расстояние до 40 м.

Последовательность формирования пород массива до сих пор дискутируется. Большинство исследователей считают эссекситы и авгитовые сиениты ранней фазой, нефелиновые сиениты — промежуточной и щелочные граниты поздней фазой.

Состав пироксенов (табл. 68) закономерно эволюционирует от щелочных сиенитов к пегматоидным какортоцитам и далее к пегматоидным фойяитам. При этом падает их магнезиальность и растет щелочность.

Состав амфиболов не обнаруживает достаточно четкой направленности

изменения, что, возможно, объясняется тем, что все проанализированные амфиболы были отобраны из пегматитов. В то же время можно отметить, что амфиболы из пегматитов ранних фаз (пуласситов, какортоцитов) являются более алюминиевыми и менее щелочными.

### Массив Игалико [160]

Наиболее крупный щелочной массив провинции. Предполагается, что он представляет собой несколько сближенных интрузий центрального типа. Если массив рассматривать как единое тело, то он имеет округлую форму и состоит из фойяитового ядра и периферической зоны щелочных сиенитов.

Стефенсоном [209] рассмотрена эволюция составов пироксенов одной из интрузий массива. Эта концентрически-зональная интрузия состоит из шести дугообразных тел преимущественно фойяитового состава. Лишь одно тело, занимающее промежуточное положение между другими дугами, имеет состав щелочного сиенита типа ларвикита. Одно из тел фойяитов пересечено дайкой эссекситов.

Таблица 69

Химический состав пироксенов массива Игалико [209]

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	50,05	50,30	49,63	51,68	48,45	48,51	50,65
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,24	0,30	0,37	0,39	0,32	0,63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,33	0,92	0,94	0,62	1,07	0,90	1,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,17	16,39	10,80	19,18	3,90	9,69	4,00
FeO	14,86	10,28	13,68	7,95	15,98	15,19	14,39
MnO	0,87	1,18	1,12	0,66	0,99	0,92	0,91
MgO	7,55	1,01	2,83	2,01	5,96	3,34	6,32
CaO	21,22	11,70	15,62	10,09	20,36	17,46	20,85
Na <sub>2</sub> O	1,23	6,36	4,49	7,44	1,51	3,76	1,55
Сумма	100,69	98,68	99,11	100,00	98,61	100,09	100,36
Si	1,94	2,00	1,97	2,00	1,96	1,97	1,93
Al <sup>IV</sup>	0,06	—	0,04	—	0,05	0,04	0,07
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—	—	—	—
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04
Al <sup>VI</sup>	—	0,01	—	0,03	—	—	0,03
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,49	0,32	0,56	0,12	0,31	0,08
Fe <sup>2+</sup>	0,48	0,34	0,46	0,26	0,47	0,41	0,27
Mn	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,02
Mg	0,44	0,06	0,17	0,12	0,37	0,20	0,61
Ca	0,88	0,40	0,67	0,42	0,87	0,70	0,86
Na	0,09	0,49	0,32	0,60	0,12	0,31	0,08
	Салит (M46)	Эгирин (49M13)	Эгирин (32M25)	Эгирин (60M30)	Салит (M43)	Эгирин (31M31)	Салит (M68)

1 — из фойяитов I фазы (центр кристаллов; Ц); 2 — из фойяитов I фазы (периферия кристаллов; П); 3 — из фойяитов II фазы (Ц); 4 — из фойяитов II фазы (П); 5 — из фойяитов III фазы (Ц); 6 — из фойяитов III фазы (П); 7 — из сиенитов IV фазы (Ц); 8 — из сиенитов IV фазы (П); 9 — из авгитовых сиенитов V фазы (Ц); 10 — из

Рассмотрение средних составов пироксенов (табл. 69) из последовательно внедрившихся фаз комплекса позволяет констатировать отсутствие закономерностей в смене состава. Это, вероятно, свидетельствует о поступлении магматического материала с разных глубин, а не в процессе дифференциации одного очага.

Использование микроанализатора для анализа пироксенов позволило исследовать изменение состава кристаллов от ядер до периферии. Оказалось, что изменчивость состава наиболее характерна для пироксенов наиболее щелочных пород (фойяиты) и является незначительной для сиенитов. Эссекситы характеризуются постоянством состава пироксенов.

Данные Стефенсона показали, что изменчивость состава ПТМ в пределах одного кристалла может являться информативной константой, используемой для генетической интерпретации магматических объектов.

От центра кристаллов к периферии увеличивается щелочность пироксенов, уменьшается их магнезиальность. Менее отчетливо уменьшаются их алюминиевость и титанистость.

	8	9	10	11	12	13	14	15
	50,88	51,39	49,62	49,70	49,98	50,21	51,78	51,26
	0,50	1,28	0,50	1,90	0,34	0,37	0,77	0,37
	0,85	2,31	1,89	4,50	1,11	1,16	1,80	0,92
	10,72	2,74	2,68	2,22	3,53	9,02	2,70	14,25
	12,54	8,46	14,85	7,75	14,48	11,62	10,26	8,61
	1,20	0,52	0,82	0,29	0,87	0,85	0,76	1,62
	3,52	10,96	7,71	10,96	6,38	5,38	11,27	3,84
	16,77	21,46	21,14	22,67	21,13	16,71	21,12	13,40
	4,16	1,06	1,04	0,86	1,37	3,50	1,04	5,53
	100,14	100,18	100,25	100,85	99,19	98,82	101,50	99,80
	1,93	1,93	1,99	1,85	2,00	1,82	1,96	1,93
	0,07	0,08	—	0,15	—	—	0,04	0,05
	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,02	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01
	0,02	—	0,04	0,05	0,05	0,05	0,01	—
	0,08	0,08	0,42	0,06	0,11	0,24	0,19	0,19
	0,48	0,32	0,28	0,24	0,49	0,35	0,43	0,52
	0,03	0,02	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03	0,03
	0,45	0,63	0,22	0,61	0,32	0,61	0,34	0,28
	0,88	0,85	0,56	0,91	0,72	0,81	0,80	0,80
	0,08	0,08	0,42	0,06	0,27	0,07	0,19	0,20
	Салит (M46)	Салит (M64)	Эгирин (42M40)	Салит (M71)	Эгирин (27M47)	Салит (M62)	Салит (19M45)	Салит (20M33)

авгитовых сиенитов V фазы (П); 11 — из дайки эссекситов; 12 — из метасоматически измененных фойяитов III фазы (Ц); 13 — из метасоматически измененных фойяитов (П); 14 — из метасоматически измененных авгитовых сиенитов V фазы (Ц); 15 — из метасоматически измененных авгитовых сиенитов V фазы (П).

## Массив Гренедаль-Ика [159]

Представляет собой шток ийолитов, фойяитов и пуласкитов, залегающий в гнейсах. Переходы между всеми типами пород постепенные. Нефелиновые породы прорваны мелкими телами карбонатов.

### Массив Тугтуток (дайка Хвидаал)

Гигантская дайка протяженностью 20 км имеет мощность 500 м. Ее периферические зоны имеют габброидный и габбро-сиенитовый состав, центральная часть в юго-западном окончании сложена щелочными сиенитами, которые по простиранию на северо-восток постепенно сменяются нефелиновыми сиенитами.

Таблица 70

Химический состав ПТМ массивов Тугтуток и Гренедаль-Ика [159]

Компо- ненты	Пироксен						Слюда
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	48,81	51,04	50,98	48,43	48,77	52,67	31,36
TiO <sub>2</sub>	2,33	1,44	1,33	0,92	0,42	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,06	0,96	1,05	2,17	2,08	5,47	17,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,04	2,54	2,41	1,91	22,27	15,82	5,92
FeO	6,97	9,41	11,44	18,04	5,62	7,21	27,78
MnO	—	—	—	0,46	0,50	0,23	1,43
MgO	11,78	12,23	10,51	5,69	0,58	1,16	0,90
CaO	20,28	29,73	20,69	20,28	7,77	7,44	1,25
Na <sub>2</sub> O	Не опр.	0,61	0,72	0,99	9,88	9,30	1,60
K <sub>2</sub> O	То же	0,08	0,14	0,29	0,17	0,35	8,60
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—	—	0,35	3,94
Сумма	97,27	99,04	99,27	99,18	98,06	100,00	
Si	1,90	1,95	1,96	1,91	1,91	2,00	5,37
Al <sup>IV</sup>	0,10	0,05	0,05	0,10	0,10	—	2,63
Ti	0,02	0,04	0,04	0,03	0,01	—	—
Al <sup>VI</sup>	0,09	—	—	—	—	0,25	0,84
Fe <sup>3+</sup>	0,09	0,07	0,07	0,06	0,65	0,45	0,76
Fe <sup>2+</sup>	0,05	0,30	0,37	0,60	0,18	0,23	3,97
Mn	—	—	—	0,02	0,02	0,01	0,21
Mg	0,68	0,69	0,60	0,33	0,03	0,07	0,23
Fe <sup>VIII</sup>	0,17	—	—	—	—	—	—
Ca	0,83	0,85	0,86	0,86	0,33	0,30	0,24
Na	—	0,05	0,05	0,08	0,75	0,68	0,53
K	—	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	1,87
ОН	—	—	—	—	—	0,10	4,00
	Мало- алюми- ниевый авгит	Салит (M63)	Салит (M60)	Салит (M35)	Акмит	Алюмо- эгирин (70M20)	Сиде- рофил- лит

1 — из краевой фации оливнивого габбро; 2 — из габбро-сиенитов (ядра кристаллов); 3 — из тех же пород (периферическая часть кристаллов); 4 — из сиенитов; 5 — из нефелиновых сиенитов; 6, 7 — из фойяитов. 1-6 — Тугтуток; 7 — Гренедаль-Ика.

Состав пироксенов закономерно меняется от габброидов до нефелиновых сиенитов (табл. 70). Увеличивается их щелочность, уменьшаются магниевость, титанистость и алюминиевость. Магниевость пироксенов меняется равномерно. Щелочность остается приблизительно одинаковой от пироксенов габброидов до пироксенов щелочных сиенитов и лишь в нефелиновых сиенитах резко возрастает.

Состав ядер кристаллов пироксенов и их периферических частей из габбро-сиенитов в основном одинаков, за исключением магниевости, которая незначительно уменьшается в периферических частях кристаллов. Эти данные соответствуют данным Стефенсона [209] по пироксенам массива Игалико, где состав пироксенов основных пород также меняется незначительно в процессе роста кристаллов.

## ЮЖНО-КАНАДСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

### Массив Халибертон-Бенкрофт [141]

Представляет собой серию вытянутых тел гнейсовидных нефелиновых сиенитов, залегающих в карбонатно-гнейсовой толще. Нефелиновые сиениты контактируют также с массивом габброидов. На контакте нефелиновых сиенитов с габброидами развиты тералиты и канадиты.

Вокруг нефелиновых сиенитов в гнейсах наблюдаются зоны сиенитов, рассматривающихся рядом исследователей как фениты.

Главным ПТМ нефелиновых сиенитов является пироксен; амфибол встречается в резко подчиненных количествах и пространственно тяготеет к выделениям пироксена. Пироксен обрастает каемками оливина. Главным ПТМ канадитов является амфибол.

Таблица 71

Химический состав ПТМ комплекса Халибертон-Бенкрофт и массива Кипава [169, 141], данные автора и Е.И. Семенова

Компоненты	Пироксен		Амфибол	Слюда		Амфибол
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	46,83	41,11	38,40	32,11	33,21	54,61
TiO <sub>2</sub>	0,52	1,36	0,80	2,34	2,21	1,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,65	8,50	15,78	18,23	17,49	Не обн.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,88	7,16	4,94	2,20	3,17	14,24
FeO	21,02	19,70	16,26	27,65	23,10	0,95
MnO	0,84	0,64	0,22	0,43	0,51	4,66
MgO	1,57	4,24	7,82	4,04	7,45	10,45
CaO	18,87	14,27	11,52	0,04	0,06	Не обн.
Na <sub>2</sub> O	1,86	1,85	1,98	0,59	0,54	8,12
K <sub>2</sub> O	0,05	0,50	0,07	8,61	8,96	4,01
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	—	0,50	1,64	3,76	3,67	0,30
Сумма	100,09	99,83	99,43	100,02	100,37	100,16
Si	1,90	1,67	5,76	5,17	5,19	8,20
Al <sup>IV</sup>	0,10	0,34	2,24	2,83	2,81	—
Ti	0,01	0,04	0,09	0,28	0,26	0,16

Таблица 71 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен		Амфибол	Слюда		Амфибол
	1	2	3	4	5	6
Al <sup>VI</sup>	0,02	0,66	0,55	0,61	0,40	—
Fe <sup>3+</sup>	0,18	0,22	0,54	0,27	0,37	1,61
Fe <sup>2+</sup>	0,68	0,46	2,05	3,72	3,02	0,12
Mn	0,03	0,02	0,03	0,06	—	0,59
Mg	0,09	0,26	1,75	1,05	1,74	2,34
Fe <sup>VIII</sup>	0,03	0,21	—	—	—	—
Ca	0,82	0,63	1,85	—	0,01	—
Na	0,15	0,15	0,58	0,19	0,16	2,36
K	—	0,02	0,02	1,76	1,79	0,77
ОН	—	—	1,6	4,08	3,83	0,30
	Геденбер- гит (15M10)	Авгит (17M27)	Гастинг- сит (M46)	Сидерофиллит		Мангано- арфвед- сонит

1, 4 — из нефелиновых сиенитов; 2 — из тетралитов; 3 — из гранатовых нефелиновых сиенитов; 5 — из меланократового шпидра; 6 — из пегматоидных эвдиалитовых нефелиновых сиенитов.

Пироксены тералитовых канадитов (табл. 71) отличаются от пироксенов нефелиновых сиенитов более высокой магнезиальностью, алюминиевостью и титанистостью. В нефелиновых гнейсах амфибол является более магнезиальным, чем слюда. Слюда характеризуется большей алюминиевостью и титанистостью.

### Массив Ока [170]

Сложная концентрически-зональная интрузия, состоящая из многократного чередования кольцевых даек карбонатитов и щелочных пород, преимущественно ийолит-мельтейгитовой серии.

### ЩЕЛОЧНЫЕ ИНТРУЗИИ США

#### Лейцитовые холмы [153]

Наиболее распространенными породами массива являются экзотические лейцитовые интрузивные и эффузивные породы — вайомингиты и орендиты. Вайомингиты состоят из лейцита, пироксена (авгита) и слюды; орендиты — из лейцита, слюды и стекловатой массы. Состав слюды из вайомингита приводится в табл. 72.

#### Массив Айрон-Хилл [196]

Расположен в гранито-гнейсовой толще и представляет концентрически-зональное тело. Центральный карбонатитовый шток окружен нефелиновыми и щелочными сиенитами, ийолит-уртитам и пироксенитами (основная фаза). Вокруг массива наблюдается интенсивная фенигизация (табл. 73).

Таблица 72

Химический состав ПТМ массивов Ока, Роки-бой, Лейцитовые холмы [170, 153]

Компоненты	Пироксены			Слюда
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	47,16	51,18	51,72	41,33
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,36	1,32	1,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,49	1,02	1,56	12,91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,33	3,22	26,14	2,27
FeO	6,61	3,31	2,38	1,33
MnO	1,36	1,58	0,21	—
MgO	10,92	14,06	1,41	23,94
CaO	23,70	23,73	2,56	Следы
Na <sub>2</sub> O	1,11	0,83	11,28	0,47
K <sub>2</sub> O	1,14	0,08	0,34	9,64
H <sub>2</sub> O	0,59	0,23	0,50	2,86
F	—	—	—	1,17
Сумма	99,65	99,60	99,66	99,95
Si	1,80	1,91	2,00	6,00
Al <sup>IV</sup>	0,07	0,04	—	2,00
Fe <sup>IV</sup>	0,13	0,04	—	—
Ti	0,01	0,01	0,04	0,16
Al <sup>VI</sup>	—	—	0,07	0,21
Fe <sup>3+</sup>	0,02	0,04	0,76	0,24
Fe <sup>2+</sup>	0,21	0,10	0,08	0,16
Mn	0,04	0,05	0,01	—
Mg	0,62	0,78	0,08	5,22
Ca	0,97	0,95	0,11	—
Na	0,08	0,06	0,84	0,14
K	0,05	0,01	0,02	1,79
	Салит (M71)	Диопсид	Акмит	Флогопит

1 — из окайта (мелилит-гайюиновой породы), Ока; 2 — из карбонатита (2); то же; 3 — из пегматита нефелинового сиенита, Роки-бой; 4 — из вайомингита (пироксен-лейцитовая порода со слюдой), Лейцитовые холмы.

### Массив Магнет-Ков [161]

Залегает в терригенной толще, имеет округлую форму и сложное концентрически-зональное строение. Периферическая зона сложена в основном псевдолейцитовыми сиенитами с гранатом, промежуточная — трахитами и фонолитами, центральная — ийолитами. В центральной зоне локализовано несколько тел карбонатитов, в периферической — якупирангитов. Последовательность внедрения пород (1 — трахит-фонолиты, 2 — якупирангиты, 3 — псевдолейцитовые и нефелиновые сиениты, 4 — ийолиты, 5 — карбонатиты) не соответствует последовательности их пространственного распределения.

Главными ПТМ всех типов пород являются пироксены. В якупирангитах и ийолитах в подчиненном количестве встречается слюда, иногда разви-

Таблица 73

Химический состав ПТМ массива Айрон-Хилл [196]

Компоненты	Пироксен			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	50,6	49,7	47,6	49,3
TiO <sub>2</sub>	1,5	1,1	0,5	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0	3,6	3,0	2,9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,8	3,5	15,2	7,2
FeO	3,8	6,9	9,9	8,3
MnO	0,2	0,4	1,2	0,6
MgO	14,8	11,0	2,3	8,6
CaO	23,7	22,5	14,6	19,6
Na <sub>2</sub> O	0,7	1,4	5,9	2,8
K <sub>2</sub> O	—	—	—	—
F	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O	—	—	—	—
Сумма	100,1	100,1	100,2	100,00
Si	1,87	1,87	1,87	1,89
Al <sup>IV</sup>	0,13	0,13	0,11	0,13
Fe <sup>IV</sup>	—	—	—	—
Ti	0,04	0,03	0,01	0,02
Al <sup>VI</sup>	—	0,03	0,03	—
Fe <sup>3+</sup>	—	—	—	—
Fe <sup>2+</sup>	0,17	0,32	0,77	0,47
Mn	0,01	0,02	0,04	0,02
Mg	0,82	0,62	0,14	0,49
Ca	0,94	0,90	0,61	0,80
Na	0,04	0,10	0,45	0,21
K	—	—	—	—
Ba	—	—	—	—
OH	—	—	—	—
F	—	—	—	—
	Диопсид	Салит	Эгирин (45M15)	Салит (21M50)

1 — из пироксенитов; 2, 5 — из ийолитов (2); 3 — из нефелиновых сиенитов (2); 4, 6, 9 — из кальцитовых карбонатитов; 7 — из анкеритовых карбонатитов (ядра кристаллов) (2); 8 — из анкеритовых карбонатитов (периферическая часть кристал-

вающаяся с замещением пироксена; в нефелиновых сиенитах присутствует амфибол, замещающий пироксен.

Характерной особенностью пироксенов и слюд массива является зональное строение. В якупирангитах светло-зеленые ядра пироксенов окружены светло-фиолетовыми оторочками; в ийолитах центральная часть кристаллов пироксенов имеет светло-зеленую, а периферическая темно-зеленую окраску. В нефелиновых сиенитах светло-фиолетовые ядра пироксенов окружены зелеными каймами. В ийолитах в светло-зеленых пластинках слюды наблюдаются реликтовые бурые участки.

Сопоставление составов пироксенов, в также слюд из различных пород

	Слюда				Амфибол	
	5	6	7	8	9	10
	36,6	35,7	38,5	42,3	53,62	56,74
	2,7	2,4	3,6	0,3	0,68	0,28
	14,9	13,2	13,6	2,5	2,66	0,71
	13,3	22,2	6,9	18,3	8,62	4,71
	13,3	22,2	6,9	18,3	3,61	0,87
	0,4	0,6	0,4	0,1	0,33	0,07
	17,1	11,5	22,5	21,2	16,36	21,95
	0,2	0,2	0,1	0,3	3,64	6,15
	0,3	0,3	0,2	0,5	7,40	5,15
	9,7	9,2	10,1	9,8	1,39	1,80
	0,4	0,3	1,4	2,5	1,46	1,30
	—	—	—	—	0,92	0,87
	109,8	118,5	105,0	116,15	100,00	100,06
	4,95	4,71	5,29	5,57	7,63	7,77
	2,37	2,05	2,19	0,40	0,37	0,12
	0,68	1,24	0,52	1,82	—	0,11
	0,28	0,24	0,37	0,03	0,07	0,03
	—	—	—	—	0,07	—
	0,07	0,97	0,19	—	0,92	0,37
	1,50	2,45	0,79	2,02	0,43	0,11
	0,05	0,06	0,05	0,01	0,04	0,01
	3,45	2,26	4,60	4,16	3,47	4,49
	0,03	0,03	0,02	0,04	0,55	0,91
	0,08	0,08	0,05	0,13	2,04	1,38
	1,67	1,56	1,76	1,65	0,23	0,31
	0,05	0,04	0,04	0,01	—	—
	3,83	3,87	3,39	2,96	0,87	0,56
	0,17	0,13	0,61	1,04	0,64	0,82
	Тетраферри-биотит (M69)	Тетраферри-биотит (M48)	Тетраферрифлогопит		Рихтерит	

лов) (2); 10 — из карбонатитов (массив Либби); 1—8 — анализ на микрозонде; 9—10 — химические анализы.

Таблица 74

Химический состав ПТМ массива Магнет-Ков [161]

Комп-ненты	Пироксен					Слюда		
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	44,80	53,33	44,53	46,65	51,20	35,06	36,38	38,67
TiO <sub>2</sub>	3,02	0,17	0,97	1,12	0,82	4,06	3,79	1,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,12	0,93	5,55	4,51	1,05	15,70	16,26	14,11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,16	1,65	14,97	15,36	25,11	2,46	1,70	2,08
FeO	4,25	2,88	5,83	7,04	4,97	14,47	6,95	6,08

Таблица 74 (окончание)

Компо- ненты	Пироксен					Слюда		
	1	2	3	4	5	6	7	8
MnO	0,24	0,61	1,29	1,26	0,71	0,36	0,12	0,45
MgO	10,84	15,08	4,03	2,81	0,43	12,96	19,13	21,81
CaO	23,00	23,44	15,16	12,13	4,93	1,28	0,22	0,33
Na <sub>2</sub> O	0,72	0,47	4,31	6,21	10,36	0,40	0,36	0,46
K <sub>2</sub> O	0,20	0,04	1,49	0,98	0,02	9,05	9,88	9,76
H <sub>2</sub> O	0,03	0,03	0,05	0,68	0,04	2,68	3,60	4,08
F	—	—	—	0,06	—	0,26	0,95	0,85
Сумма	99,35	99,76	98,18	99,15	99,64	98,63	98,94	99,46
Si	1,70	1,96	1,76	1,83	2,00	5,42	5,38	5,62
Al <sup>IV</sup>	0,30	0,04	0,24	0,17	—	2,58	2,62	2,38
Ti	0,09	0,01	0,03	0,03	0,02	0,48	0,42	0,12
Al <sup>VI</sup>	0,02	—	0,02	0,04	0,05	0,28	0,22	0,04
Fe <sup>3+</sup>	0,14	0,05	0,44	0,45	0,74	0,28	0,20	0,22
Fe <sup>2+</sup>	0,13	0,09	0,19	0,23	0,16	1,88	0,86	0,74
Mn	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02	0,06
Mg	0,62	0,84	0,23	0,16	0,93	2,98	4,22	4,72
Ca	0,94	0,96	0,64	0,51	0,21	0,22	0,04	0,04
Na	0,05	0,94	0,33	0,47	0,78	0,12	0,10	0,14
K	0,01	—	0,08	0,05	—	1,78	1,86	1,82
ОН	—	—	—	—	—	2,76	3,04	3,96
F	—	—	—	—	—	0,12	0,44	0,40
	Фассаит (M81)	Диопсид	Алюмо- эгирин (41M52)	Эгирин (52M40)	Акмит	Биотит (M61)	Истонит	Флогопит

1, 6 — из якупирангитов; 2, 8 — из ийолитов; 3 — из нефелиновых сиенитов (ядра кристаллов); 4 — то же (периферия кристаллов); 5 — из пегматоидных нефелиновых сиенитов; 7 — из мельтейгитов.

массива (табл. 74) показывает, что единого ряда направленного изменения состава не существует. Магнезиальность пироксенов ранних якупирангитов ниже магнезиальности более поздних ийолитов. Аналогичная картина наблюдается и для слюд. Алюминиевость и титанистость пироксенов уменьшаются от якупирангитов через нефелиновые сиениты к ийолитам, а алюминиевость и титанистость слюд — от якупирангитов через мельтейгиты к ийолитам, т.е. алюминиевость и титанистость ПТМ уменьшаются по мере последовательности внедрения фаз.

Сравнение состава центральных частей кристаллов пироксенов из нефелиновых сиенитов и состава периферических частей кристаллов позволяет констатировать увеличение щелочности, уменьшение магнезиальности и алюминиевости в процессе роста кристаллов. Наиболее щелочные пироксены характерны для пегматитов нефелиновых сиенитов.

БРАЗИЛЬСКАЯ ПРОВИНЦИЯ

Массив Итапирапуа [171]

Изучен слабо из-за очень плохой обнаженности. Имеет форму штока и залегает в гнейсовой толще, которая под воздействием интрузии фенитизирована. Преобладающей фазой массива являются пироксеновые фойиты с содалитом и канкринитом, местами альбитизированные. В центральной части массива расположено тело карбонатитов.

Состав пироксенов массива (табл. 75) закономерно меняется от ксенотитов мельтейгитов, через нефелиновые сиениты главной фазы интрузии до канкринитовых альбититов. При этом увеличивается их щелочность, уменьшаются магнизиальность и алюминиевость.

Таблица 75

Химический состав пироксенов массива Итапирапуа [171]

Компоненты	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	48,15	49,87	51,35
TiO <sub>2</sub>	1,35	0,69	1,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,07	2,46	2,15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,66	16,56	28,66
FeO	5,40	6,80	2,44
MnO	0,24	0,71	сл.
MgO	11,61	3,50	0,10
CaO	20,02	12,49	1,25
Na <sub>2</sub> O	2,30	6,77	12,66
K <sub>2</sub> O	0,34	0,33	0,15
H <sub>2</sub> O	0,67	0,29	0,29
Сумма	99,81	100,47	99,95
Si	1,83	1,93	1,98
Al <sup>IV</sup>	0,17	0,07	0,02
Fe	—	—	—
Ti	0,04	0,02	0,03
Al <sup>VI</sup>	0,01	0,04	0,07
Fe <sup>3+</sup>	0,16	0,48	0,83
Fe <sup>2+</sup>	0,17	0,22	0,07
Mn	0,01	0,02	—
Mg	0,66	0,21	0,01
Fe <sup>VIII</sup>	—	—	—
Ca	0,81	0,52	0,02
Na	0,17	0,51	0,94
K	0,02	0,01	0,01
OH	—	—	—
	Салит (M79)	Эгирин (52M50)	Акмит

1 — из мельтейгитов; 2 — из нефелиновых сиенитов (3); 3 — из канкринитовых альбититов.

ПРОВИНЦИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ИНДИИ

Щелочные породы вытягиваются в виде узкого прерывистого пояса вдоль юго-восточного побережья индийского субконтинента. В поясе с севера на юг выделяются три комплекса: Кунаварамский, Эльгуру и Сивамалаи.

Кунаварамский массив [190]

Щелочные породы комплекса слагают узкую (5 км) вытянутую (27 км) полосу, которая на западе контактирует с амфиболитами, а на востоке — с гранито-гнейсами. Преобладающими породами комплекса являются гнейсовидные нефелиновые сиениты. Щелочные сиениты окружают ксено-

Таблица 76

Химический состав ПТМ массива Кунаварам [190<sup>a</sup>]

Компоненты	Пироксен		Амфибол	Слюда	
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	52,25	48,18	38,58	33,11	33,32
TiO <sub>2</sub>	0,92	0,28	1,52	2,19	3,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,86	3,52	12,64	18,52	12,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,69	7,40	6,21	6,12	8,89
FeO	7,82	18,58	18,76	23,56	21,91
MnO	0,52	0,14	0,62	0,94	0,74
MgO	4,55	0,50	4,73	2,29	6,79
CaO	14,20	17,47	18,19	0,07	—
Na <sub>2</sub> O	3,76	2,81	2,71	0,43	1,10
K <sub>2</sub> O	0,37	0,18	1,54	9,12	7,91
H <sub>2</sub> O	0,09	0,18	1,54	9,12	7,91
Сумма	100,03	99,66	99,51	99,92	100,25
Si	2,04	1,94	6,55	5,26	5,26
Al <sup>IV</sup>	—	0,06	1,41	2,74	2,28
Fe	—	—	—	—	0,03
Ti	0,03	0,01	0,18	0,26	0,38
Al <sup>VI</sup>	0,13	0,10	0,45	0,72	—
Fe <sup>3+</sup>	0,37	0,22	0,74	0,73	1,05
Fe <sup>2+</sup>	0,25	0,62	2,48	3,14	2,90
Mn	0,02	—	0,08	0,12	0,10
Mg	0,27	0,03	1,12	0,54	1,60
Fe <sup>VIII</sup>	—	—	—	—	—
Ca	0,60	0,75	1,90	0,01	—
Na	0,25	0,22	0,83	0,13	0,32
K	0,02	0,01	0,31	1,86	1,60
OH	—	—	1,34	3,75	4,34
	Эгирин (27M50)	Геденбергит (23M5)	Гастингсит (M31)	Сидерофил- лит	Лепидомелан

1 — из нефелинового сиенито-диорита; 2 — из щелочного сиенита; 3, 4 — из нефелинового сиенита (3); 5 — из мельтейгитов.

литы гнейсов и кварцитов и, возможно, представляют собой фениты. Они пересекаются нефелиновыми сиенитами. Среди нефелиновых сиенитов преобладают амфиболовые и слюдяные разновидности; присутствуют и пироксеновые нефелиновые сиениты. Главным ПТМ щелочных сиенитов являются пироксены и амфиболы.

Состав пироксенов (табл. 76) щелочных сиенитов отличается от их состава в нефелиновых сиенитах несколько меньшей щелочностью, меньшей магнезиальностью и титанистостью и более высокой алюминиевостью. Слюда нефелиновых сиенитов более железистые, чем слюды мельтейгитов, они характеризуются значительно большей алюминиевостью и меньшей титанистостью.

В нефелиновых сиенитах наиболее магнезиальным является пироксен, наименее — слюда, амфибол имеет промежуточную магнезиальность. Щелочность амфибола и пироксена приблизительно одинакова. Наибольшую титанистость имеет слюда; наименьшую — пироксен; у амфибола промежуточное значение титанистости. Аналогично распределяется алюминий.

### Массив Сивамалаи [ 210 ]

Представляет собой несколько небольших вытянутых в цепочку северо-восточного простирания массивов щелочных сиенитов, залегающих в чарнокитах. В центральных частях некоторых массивов расположены тела нефелиновых сиенитов. К одному из массивов непосредственно примыкает изометричное тело карбонатитов (Карати). Массив (Пиккили) сложен преимущественно нефелиновыми сиенитами и имеет лишь периферическую

Таблица 77

Химический состав пироксенов и амфиболов комплексов Сивамалаи и Кишангар

Компоненты	Пироксен	Амфибол			
	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	47,90	92,95	52,12	55,78	52,21
TiO <sub>2</sub>	1,27	1,34	0,30	0,20	2,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,64	8,03	2,20	0,40	2,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,68	9,91	14,77	15,85	2,71
FeO	6,03	6,54	10,83	5,69	17,19
MnO	1,00	0,50	0,62	0,25	0,59
MgO	11,85	9,20	10,03	12,08	11,24
CaO	22,13	15,15	2,91	1,14	10,89
Na <sub>2</sub> O	1,28	3,62	4,73	5,05	1,04
K <sub>2</sub> O	0,14	1,00	0,50	2,07	0,37
H <sub>2</sub> O	1,63	1,51	1,17	0,98	0,78
F	—	—	—	0,11	0,35
Сумма	99,65	99,84	100,18	99,56	100,19
Si	1,85	6,94	7,48	7,93	7,63
Al <sup>IV</sup>	0,03	1,06	0,38	0,07	0,37
Fe <sup>IV</sup>	0,12	—	0,14	—	—
Ti	0,03	0,17	0,03	0,03	—
Al <sup>VI</sup>	—	0,45	—	—	0,09

Таблица 77 (окончание)

Компоненты	Пироксен		Амфибол		
	1	2	3	4	5
Fe <sup>3+</sup>	0,05	1,20	1,46	1,71	0,30
Fe <sup>2+</sup>	0,19	0,88	1,29	0,67	2,10
Mn	0,03	0,07	0,07	0,33	0,07
Mg	0,68	2,21	2,14	2,55	2,44
Fe	—	—	—	—	—
Ca	0,91	2,62	0,45	0,15	1,70
Na	0,09	1,13	1,31	1,38	0,28
K	0,01	0,21	0,10	0,38	0,07
ОН	—	—	1,16	0,94	0,77
F	—	—	—	0,04	—
	Диопсид (M76)	Эденит	Кальциори- бекит	Магнезиори- бекит	Актинолит (M53)

1 — из сиенитов (Карати); 2 — из нефелиновых сиенитов (Пиккили); 3 — из нефелиновых сиенитов; 4 — из карбонатных прожилков в сиените (Карати); 5 — из нефелиновых гнейсов. 1—4 — Сивамалаи, 5 — Кишангар.

сиенитовую оторочку. В центре этого массива наблюдается линзовидное тело ийолитов.

Сиениты и нефелиновые сиениты пересекаются пегматитовыми жилами, а сиениты массива Карати карбонатитовыми прожилками.

Среди нефелиновых сиенитов выделяются пироксеновые, амфиболовые и слюдяные разности.

## Глава третья

### РЕДКИЕ, РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ФТОР В ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ТЕМНОЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛАХ

#### ЛИТИЙ

Наиболее высоким кларком лития характеризуются осадочные породы (60 г/т)<sup>1</sup>. В магматических породах литий концентрируется преимущественно в гранитоидах (40 г/т), т.е. в наиболее поверхностных породах, образующихся преимущественно за счет осадочно-метаморфического субстрата. Следовательно, можно предположить, что концентрация лития связана в основном с процессом осадкообразования. В магматическую стадию происходит только перераспределение лития — иногда с образованием локальных обогащенных участков. Кларк лития в щелочных породах равен его кларку в гранитоидах.

<sup>1</sup> Кларки всех элементов даны по А.П. Виноградову [29]; кларки щелочных пород — по данным Л.С. Бородина и Е.Д. Осокина [44].

Распределение лития по формациям щелочных пород отражает общую тенденцию для пород нормального ряда: наиболее обогащены литием породы щелочно-гранитоидной близповерхностной формации (59 г/т), наименее — породы щелочно-ультраосновной карбонатитовой формации (8 г/т), промежуточные значения имеют кларки пород щелочно-габброидной (25 г/т) и калиевой щелочно-базальтоидной формаций (37 г/т). Щелочные граниты, по данным Г.Н. Мухитдинова, характеризуются самым высоким кларком лития (73 г/т). Изменение содержаний лития в ПТМ соответствует изменению кларков в породах.

Содержание лития в амфиболах и слюдах значительно выше, чем в материнских породах (коэффициенты концентрации  $K_k$  — 25—80). Выдерживается следующий ряд концентрации лития в ПТМ: пироксен  $\ll$  амфибол  $\approx$  слюда.

В табл. 78 сведены все имеющиеся в распоряжении автора данные о содержании лития в ПТМ щелочных пород. На основании этих данных представляется возможным не только рассмотреть распределение лития в ПТМ в ходе становления щелочных массивов, но и выявить роль ПТМ в общем балансе лития. Распределение лития в слюдах щелочных пород наиболее четко связано с характером изменения его кларков в материнских породах. От щелочных ультраосновных комплексов к щелочно-гранитоидным и затем к щелочным гранитам степень концентрации лития в слюдах увеличивается от 0,14 до 8. Для амфиболов и пироксенов наблюдается та же тенденция, что и для слюд, но выражена она менее четко.

Если слюда в породе отсутствует (как, например, в фойяитах Ловозерского массива или в щелочных гранитах), то литий концентрируется преимущественно в амфиболах.

В серии последовательно формирующихся пород Северо-Восточной Тувы [75] содержание лития последовательно возрастает от 11 г/т в сиенитах до 50 г/т в нефелиновых сиенитах; в полном соответствии с этим увеличивается и содержание лития в слюдах от 400 г/т в биотитах из сиенитов до 500 г/т в биотитах из нефелиновых сиенитов (табл. 79).

Аналогичная картина наблюдается и для пород массива Сандык [66], где ранние щелочноземельные сиениты содержат 20 г/т окиси лития, нефелиновые сиениты II фазы — 31 г/т, а поздние сиениты — 40 г/т. В полном соответствии с тенденцией кларков содержание окиси лития в слюдах также увеличивается со 160 г/т в слюдах щелочноземельных сиенитов через 200 г/т в слюдах нефелиновых сиенитов до 500 г/т в слюдах щелочных сиенитов.

В последовательной интрузивной серии пород Бердяушского массива содержание лития в амфиболах закономерно увеличивается от гранитов рапакиви (3 г/т) через щелочные сиениты (17 г/т) к нефелиновым сиенитам (28 г/т). В Джугджурском массиве [38] содержание лития в амфиболах также увеличивается от сиенитов I фазы (13 г/т) к щелочным гранитам (500 г/т).

Сопоставляя данные по распределению лития в магматических сериях пород, можно предположить, что литий накапливается в последних порциях дифференцированных щелочных расплавов вне зависимости от их щелочности (нефелиновые сиениты в первом и третьем случаях, щелочные сиениты во втором случае) (табл. 80, 81).

Таблица 78

Содержание редких элементов в ПТМ щелочных пород (в г/т)

Регион, массив, порода, минерал	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	Zr	
1	2	3	4	5	6	7	
<i>Сахариокский массив</i>							
Нефелиновые сиениты		1400	130	—	—	—	
пироксен		100	—	—	—	—	
амфибол		70	—	—	—	1700	
слюда		3300	243	—	200	250	
Сиениты							
слюда		2000	200	—	1500	—	
амфибол	—	—	—	—	—	—	
<i>Ельгозерский массив</i>							
<i>Габброиды</i>							
пироксен	—	—	—	300	—	—	
амфибол	—	—	—	200	—	—	
слюда	—	—	—	400	10800	—	
Нефелиновые сиениты	—	—	—	600	1600	—	
пироксен	—	—	—	—	—	1460	
амфибол	—	—	—	—	—	1330	
слюда	—	—	—	Следы	500	40	
<i>Кургинский массив</i>							
<i>Габброиды</i>							
амфибол	—	—	—	2000	600	750	
<i>Ковдорский массив</i>							
<i>Пироксениты</i>							
пироксен	—	—	—	—	—	—	
<i>Рудные пироксениты</i>							
пироксен	—	—	—	—	—	—	
слюда	—	—	—	—	—	—	
<i>Ийолиты</i>							
пироксен	—	—	—	—	—	—	
слюда	—	—	—	—	—	—	
<i>Флогопит-апатит-фор</i>							
<i>стеритовые породы</i>							
слюда	—	—	—	—	—	—	
<i>Фениты</i>							
пироксен	—	—	—	—	—	—	
<i>Массив Сейбль-Явр</i>							
<i>Карбонатиты</i>							
амфибол	—	—	—	500	—	—	
слюда	—	—	—	—	—	—	
<i>Массив Африканда</i>							
<i>Карбонатиты (ранние)</i>							
амфибол	—	—	—	560	—	—	
<i>Массив Вуориярви</i>							
<i>Карбонатиты (ранние)</i>							
амфибол	40	230	—	—	—	—	
<i>Карбонатитоносные</i>							
<i>массивы Кольского</i>							
<i>полуострова</i>							

TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Be	Ga	F	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Источник
8	9	10	11	12	13	14	15	16
								[13, 14]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
200	—	—	—	30	—	1,15	—	
—	—	—	—	—	—	0,47	—	
—	—	—	—	—	—	0,26	—	
								[94]
—	—	100	—	—	—	—	—	
220	41	29	14	—	—	—	—	
—	—	20	—	—	—	—	—	
—	—	50	30	—	—	0,36	—	
—	—	270	—	—	—	—	—	
170	51	80	20	—	—	—	—	
30	26	70	—	—	—	0,78	—	
50	—	390	30	—	—	0,60	—	
								[72]
500	50	—	—	—	—	0,12	—	
								Данные А.В. Лапина, Л.С. Бородинна, автора, [93]
—	—	20	10	—	—	—	—	
—	—	25	—	—	—	—	—	
—	—	60	—	—	—	—	—	
—	—	20	10	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,04	—	
—	—	500	—	—	—	—	—	
—	—	350	—	—	—	0,94	—	
								[93]
—	—	42	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,28	—	
—	—	—	—	—	—	0,86	—	
								[93, 77], данные А.В. Лапина, Л.С. Бородинна и автора
—	—	—	—	—	—	—	—	То же
—	—	—	—	—	—	1,63	—	„

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Пироксениты						
пироксен	—	—	—	—	—	—
амфибол	—	—	—	—	—	—
Нефелиновые пироксениты	—	—	—	—	—	—
пироксен	—	—	—	—	—	—
амфибол	—	—	—	—	—	—
Карбонатиты (ранние)						
пироксен	—	—	—	—	—	830
амфибол	—	—	—	—	—	600
слюда	—	—	—	—	—	30
Карбонатиты поздние						
амфибол	—	—	—	—	—	—
слюда	—	—	—	—	—	—
<i>Хибинский массив</i>						
Нефелиновые сиениты	20	220	4	1100	1200	—
пироксен	360	62	—	1000	400	800
амфибол	340	—	—	—	—	—
слюда	500	600	—	—	—	—
Ийолиты	—	—	—	—	8700	—
пироксен	—	—	—	—	—	—
слюда	—	—	—	—	11500	—
<i>Ловозерский массив</i>						
Нефелиновые сиениты	110	250	2	600	700	—
пироксен	115	30	1	2300	700	6800
амфибол	500	49	—	700	1100	1700
слюда	420	—	—	—	—	—
Малиньиты						
пироксен	—	—	—	—	—	—
Ийолит-уртиты						
пироксен	—	—	—	—	—	7800
амфибол	—	—	—	—	—	1100
Луявриты						
пироксен	—	—	—	—	—	5700
амфибол	—	—	—	—	—	2300
Фояяиты						
пироксен	—	—	—	—	—	7600
амфибол	—	—	—	—	—	—
Эвдиалитовые луювриты						
пироксен	—	—	—	—	—	5200
амфибол	—	—	—	—	—	—
Фениты						
амфибол	500	—	—	—	—	—
<i>Октябрьский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	30	100	—	—	—	—
амфибол	500	—	—	—	—	2700
слюда	260	2120	—	—	—	2200

8	9	10	11	12	13	14	15	16
30	—	—	—	—	—	—	—	
3100	—	—	—	—	—	—	—	
140	—	—	—	—	—	—	—	
180	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	50	20	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
1000	—	140	20	—	—	—	—	
—	—	250	23	—	—	0,30	—	
—	—	70	Сл.	—	—	—	—	
—	—	110	27	—	—	0,77	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[37, 69, 76, 89, 115, 134]
360	10	160	—	—	17	—	—	
—	—	—	—	—	—	1,78	—	
400	—	—	—	8	—	1,34	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	200	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	2,56	—	
2000	—	—	—	—	—	—	—	[20, 26, 27, 30, 31, 40, 42, 129], данные автора
980	—	550	120	9	30	—	—	
—	—	560	50	7	30	—	—	
—	—	210	20	15	—	—	—	
—	—	400	100	—	—	—	—	
—	—	290	70	—	—	—	—	
—	—	50	10	—	—	2,57	—	
—	—	800	600	—	—	—	—	
—	—	600	—	—	—	1,75	—	
—	—	60	50	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	2,40	—	
—	—	700	500	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	2,05	—	
—	—	—	—	—	—	2,11	—	
—	—	—	—	—	25	—	—	
—	—	—	—	—	27	0,15	—	
—	—	—	—	—	180	—	—	

Данные Е.Д. Осокина и Р.П. Тихоненковой

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Альбитит						
амфибол	—	—	—	—	—	—
слюда	260	1300	Не обн.	—	—	—
<i>Черниговская зона</i>						
Пегматоидные граниты						
слюда	450	680	80	—	—	—
Фенитизированные пегматоидные граниты						
пироксен	130	Не обн.	Не обн.	190	1800	—
Карбонатизированные фениты						
амфибол	110	То же	30	Не обн.	Следы	—
слюда	20	320	Не обн.	То же	1600	—
Прикарбонатитовые оторочки						
амфибол	Не обн.	Не обн.	То же	1200	1000	—
слюда	80	350	"	Не обн.	Не обн.	—
Карбонатиты						
амфибол	—	—	—	—	—	—
слюда	30	310	Не обн.	11800	2000	—
<i>Мегринский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
слюда	245	105	180	—	—	—
<i>Вишневогорско-Ильменогорский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	20	—	—	100	—	1600
амфибол	500	—	—	330	760	20
слюда	—	—	—	80	6200	500
Пегматиты нефелиновых сиенитов						
слюда	—	—	—	—	—	—
Сандьиты						
слюда	—	—	—	—	8500	—
Щелочные сиениты						
амфибол	20	Следы	Следы	—	—	—
Альбитизированные нефелиновые сиениты						
слюда	43	670	30	—	—	—
Карбонатиты (ранние)						
слюда	16	214	22	—	2600	—
Карбонатиты (поздние)						
слюда	205	1000	37	—	—	—
Фениты						
пироксен	—	—	—	—	—	1200
слюда	—	—	—	—	3700	—
<i>Щелочные метасоматиты Западного Урала</i>						
Эруптивные брекчии						
амфибол (ранней стадии)	20	260	Не обн.	—	—	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	0,19	—	
—	—	—	—	—	—	0,10	—	Данные автора
—	—	—	—	—	—	—	—	
530	—	3	Не обн.	—	—	—	—	
111	—	35	Не обн.	—	—	1,71	—	
—	—	3660	130	—	—	1,15	—	
—	—	2360	12	—	—	0,60	—	
—	—	690	73	—	—	0,44	—	
700	—	—	—	—	—	1,25	—	
200	—	1500	—	—	—	2,57	—	[108]
—	—	—	—	—	—	—	—	[96, 51, 52, 55, 70, 121], данные автора
540	—	—	—	13	—	—	—	
—	10	—	—	—	—	0,63	—	
—	—	320	—	4	70	0,82	—	
—	—	1050	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
500	96	—	—	31	—	0,90	—	
—	—	400	—	—	—	—	—	
—	—	1560	—	—	—	0,48	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	50	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	1,60	—	Данные автора и Е.М. Еськовой
—	—	—	—	—	—	—	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
слюда (стадии альбитизации)	500	—	—	—	—	—
амфибол (стадии альбитизации)	—	—	—	—	—	—
слюда (поздние прожилки)	500	900	100	—	—	—
<i>Бердяушский массив</i>						
Нефелиновые сиениты амфибол	28	40	Не обн.	—	—	2600
Щелочные сиениты амфибол	17	60	—	—	—	—
Граниты рапакиви амфибол	3	40	—	—	—	590
<i>Массив Борсук-Сай</i>						
Нефелиновые сиениты слюда	500	—	—	—	—	—
<i>Массив Турпи</i>						
Нефелиновые сиениты амфибол	40	200	20	180	—	—
слюда (2)	500	1070	47	—	2200	—
Пегматоидные нефелиновые сиениты слюда	—	—	—	—	—	—
Щелочные сиениты (эндоконтактные) слюда	—	1450	67	—	—	—
Альбитизированные нефелиновые сиениты слюда	—	1450	150	—	—	—
Либенеритизированные нефелиновые сиениты слюда	—	820	30	—	—	—
Гранодиориты (ранние) слюда	—	310	7	—	—	—
Граниты I фазы слюда	—	1500	44	—	—	—
Вмещающие гнейсы слюда	248	345	13	—	—	—
<i>Массив Дара-Пиоз</i>						
Щелочные сиениты пироксен	220	20	5	—	850	—
Нефелиновые сиениты амфибол	150	50	Следы	—	—	—
слюда	500	2600	110	—	200	—
Альбитизированные нефелиновые сиениты слюда	370	615	20	—	—	—
Пегматиты щелочных гранитов	—	—	—	—	—	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,79	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	20	20	0,40	—	Данные автора и А.А. Ганзеева
—	—	—	—	20	—	—	—	—
—	—	—	—	10	10	0,68	—	Данные автора и А.А. Ганзеева, [39]
—	—	—	—	—	—	—	—	[32]
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	5	—	—	—	—	0,15	—	Данные автора В.Д. Дусматова и А.А. Ганзеева, [39]
—	Не обн.	—	—	Не обн.	—	0,12	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,09	—	—
—	—	—	—	—	—	0,10	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	0,13	—	—
—	—	—	—	—	—	0,13	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
180	36	—	—	7	—	—	300	Данные автора, В.Д. Дусматова и А.А. Ганзеева, [39]
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	4	—	—	—	—	0,26	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
амфибол		100	200	290	890	—
слюда		—	—	250	200	—
Лейкократовые граниты						
слюда		2080	520	—	—	—
Турмалиновые граниты						
слюда	500	1020	360	—	—	—
<i>Массив Тутек-Деонасу</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	—	—	—	360	—	—
амфибол	—	—	—	—	—	—
слюда	260	710	11	490	300	—
Пегматоидные нефелиновые сиениты						
амфибол	30	60	Следы	—	—	800
слюда	175	795	21	—	—	40
Канкринитовые сиениты						
слюда	500	1080	7	—	—	—
Граниты (вмещающие)						
слюда	240	50	5	—	—	—
Поздние лейкократовые граниты						
слюда	60	1200	100	—	—	—
<i>Массив Хаджаачкан-Джилису</i>						
Пегматоидные нефелиновые сиениты						
пироксен	—	—	—	—	—	1500
слюда	500	—	—	—	—	—
Альбитизированные сиениты						
пироксен	180	65	20	—	—	—
Карбонатные прожилки						
слюда	500	600	—	—	—	—
<i>Кульпский массив</i>						
Сиениты						
амфибол	380	30	14	—	—	—
слюда	500	730	66	—	—	—
Нефелиновые сиениты						
амфибол	68	42	2	—	—	—
Пегматоидные нефелиновые сиениты						
амфибол	170	124	12	—	—	—
слюда	500	—	—	—	—	—
<i>Матчинский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	414	2	10	—	—	—
слюда	500	—	—	—	—	—
Канкринитовые сиениты						
амфибол	230	1100	50	—	—	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	56	—	1,47	110	
500	37	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,74	—	
—	34	—	—	—	—	—	—	Данные автора, В.Д. Дусматова, А.А. Ганзеева
—	Не обн.	—	—	12	—	—	—	
—	”	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,12	—	
—	—	—	—	—	—	0,16	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[71]
—	—	—	—	10	—	—	—	
—	—	—	—	—	0,30	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[71]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[71]
—	—	—	—	—	—	0,50	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Массив Шахи-Сафед</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	6	Следы	40	750	—	1600
слюда	500	—	—	—	—	—
Граниты						
слюда		210	15	—	—	—
<i>Массив Джергиталь</i>						
Щелочные сиениты						
амфибол	—	—	—	300	—	—
<i>Массив Рохшиф-Собах</i>						
Щелочные сиениты						
амфибол	300	40	Не обн.	—	2000	180
слюда	500	394	55	—	—	50
Нефелиновые сиениты	—	—	—	670	—	—
слюда	—	1290	48	830	3500	—
Канкринитовые и сода-литовые сиениты						
слюда		837	25	—	—	—
Турмалиновые граниты						
слюда	500	1070	42	—	—	—
Фениты						
слюда	200	770	85	—	—	—
<i>Массив Ак-Сай</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	12	190	—	3800	Следы	—
<i>Массив Ахба-Сай</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	Не обн.	—	—	—	”	—
<i>Зардалекский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
слюда	105	560	70	—	—	—
<i>Тозбулакский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	150	530	25	—	—	300
<i>Ортокойский массив</i>						
Лейцитовые сиениты						
слюда	160	1610	240	—	—	56
<i>Сандыкский массив</i>						
Щелочные сиениты						
пироксен	90	70	4	—	—	—
амфибол	400	300	13	—	—	—
слюда	500	3400	—	—	—	—
Нефелиновые сиениты						
пироксен	90	70	4	—	—	—
слюда	200	900	62	Следы	5800	68
<i>Массив Чон-Ашу</i>						
Нефелиновые габбро						
амфибол	30	Следы	Следы	1150	1200	165

8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	Данные В.Д. Дусматова
—	—	—	—	—	—	0,38	—	
—	—	—	—	—	—	0,60	—	Данные автора
—	—	—	—	60	—	—	—	
—	64	—	—	20	—	0,90	—	Данные автора и В.Д. Дусматова
—	6	—	—	17	—	0,42	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,15	—	
—	—	—	—	—	—	0,13	—	
—	—	—	—	—	—	0,80	—	
—	—	—	—	—	—	1,79	—	Данные автора
540	—	—	—	—	—	0,58	—	Данные автора
32	—	—	—	—	—	0,12	—	[71]
—	—	—	—	—	—	—	—	[74]
—	—	—	—	123	—	—	—	
—	6	550	27	2	—	2,50	—	Данные автора
—	62	—	—	—	13	—	—	[21, 65, 66]
—	14	—	—	—	55	—	—	
—	Не обн.	—	—	—	71	—	—	
—	—	30	1	—	23	—	—	
—	—	616	26	Не обн.	65	1,47	—	Данные автора
—	43	25	4	—	—	0,06	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Суртекинский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	—	—	—	—	—	5000
амфибол	140	90	20	540	3600	1400
слюда	300	2000	510	1830	—	Не обн.
Фенит						
слюда	500	3450	350	—	600	—
<i>Массив Ири-Сур</i>						
Нефелиновые сиениты (жилы)						
амфибол	4	5	5	83	4000	—
<i>Ишимский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	360	75	30	140	—	—
слюда	420	1290	—	—	—	—
<i>Массив Киш-Орда</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	500	—	—	—	—	2500
<i>Заангарский массив</i>						
Ийолиты						
пироксен	—	—	—	3000	10	—
Нефелиновые сиениты						
пироксен	240	300	400	200	10	1500
амфибол	500	100	90	—	100	—
слюда	—	7000	530	100	300	—
<i>Енисейский кряж</i>						
пироксен	—	—	—	700	—	8000
амфибол	—	—	—	200	—	5000
<i>Массив Кия-Шалтырь</i>						
Уртриты						
пироксен	—	—	—	—	—	600
амфибол	—	—	—	—	—	1200
слюда	—	—	—	—	—	300
Нефелиновые сиениты						
амфибол	30	Следы	40	190	—	—
<i>Горячегогорский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	40	"	20	280	—	—
<i>Массив Горы Дедовой</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	100	2	70	Следы	—	—
<i>Саянский массив</i>						
Карбонатиты						
пироксен I стадии	15	17	—	160	—	—
слюда I стадии	9	470	—	750	500	—
пироксен II стадии	17	Не обн.	—	—	—	—
слюда II стадии	8	470	—	—	—	—
амфибол III–IV стадий	500	Не обн.	—	500	250	—
слюда III–IV стадий	10	500	—	—	—	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
—	—	—	—	—	—	—	—	Данные автора и Е.Д. Осокина
—	Не обн.	—	—	—	—	0,08	100	
—	То же	—	—	—	300	0,11	80	
—	—	—	—	—	—	2,21	—	Данные автора, [1]
—	—	—	—	—	—	0,02	—	
—	—	160	10	—	—	0,20	—	[105], данные автора
600	—	85	95	—	—	1,13	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	Данные автора и А.А. Ганзеева
1400	—	—	—	—	—	1,01	—	[127, 128]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	5	—	—	—	
100	—	—	—	5	—	—	—	
100	—	—	—	—	—	0,28	—	[125]
—	—	—	—	20	—	—	—	
—	—	—	—	8	—	—	—	[7], данные автора
200	—	—	—	—	—	—	—	
800	—	—	—	—	—	—	—	
50	—	—	—	—	—	—	—	
500	—	—	—	—	—	0,50	—	Данные автора
400	—	—	—	—	—	—	—	Данные автора
1500	—	—	—	40	—	—	—	[32, 33, 113]
200	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	190	16	—	—	0,20	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	337	—	—	—	0,68	—	
—	—	300	50	—	—	2,70	—	
—	—	—	—	—	—	1,57	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Амфибол	500	—	—	500	—	250
<i>Северо-Восточная Тува</i> (Катунский и др. массивы)						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	80	50	—	—	—	—
амфибол	—	—	—	—	—	—
слюда	500	500	—	—	—	—
<i>Массив Коргеретаба</i>						
Нефелиновые сиениты	—	—	—	—	—	—
амфибол	50	10	—	n · 100	n · 100	—
<i>Баянкольский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
слюда	500	290	7	—	3300	—
<i>Бурпалинский массив</i>						
Трахитоидные сиениты	20	180	16	—	—	—
Щелочные пегматиты						
пироксен	120	80	Не обн.	670	220	3500
амфибол	500	250	160	2000	390	3000
слюда	—	—	—	—	—	500
Альбитизированные фениты						
амфибол		50	10	—	—	—
слюда	—	8000	390	—	—	—
Флюорит-апатит-биотитовые метасоматиты						
слюда		1500	100	—	1900	—
Щелочной гранит						
амфибол		34	Не обн.	—	—	—
<i>Сынырский массив</i>						
Псевдолейцитовые сиениты						
слюда	220	400	—	—	—	—
Нефелиновые сиениты						
пироксен	—	—	—	3400	—	—
слюда	470	770	—	—	18000	—
Нефелиновые сиениты (эндоконтактные)						
слюда	150	510	—	—	—	—
Пегматиты нефелиновых сиенитов						
слюда	500	2700	—	—	—	—
Фениты						
слюда	100	50	—	—	—	—
<i>Тучинский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	140	150	Следы	130	—	40
<i>Массив Даокша</i>						
Нефелиновые сиениты						
слюда	500	1050	2	—	—	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
200	—	—	—	—	—	—	—	[75, 116]
—	—	—	—	—	—	0,34	—	
—	—	—	—	—	—	0,18	—	[140]
100	—	—	—	—	—	0,34	—	
100	—	—	—	—	—	—	—	[82]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	Данные автора и А.А. Ганзеева
300	44	—	—	15	—	—	—	
200	5	500	200	23	—	2,15	150	
3	Не обн.	330	2	1	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	300	—	—	
—	—	—	—	—	—	4,41	—	
—	—	—	—	—	—	2,80	—	[125, 4]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	0,69	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	Данные автора и А.А. Ганзеева
500	Не обн.	120	4	150	—	0,83	—	[5]
—	—	—	—	—	—	—	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Массив Якша</i>						
Нефелиновые сиениты слюда	217	510	-	-	-	-
<i>Гулинский массив</i>						
Карбонатиты слюда	500	-	-	-	-	-
<i>Массив Арбарастах</i>						
Изменение пироксениты амфибол	-	-	-	-	-	2000
Карбонатиты амфибол	-	-	-	-	-	-
<i>Таймырский массив</i>						
Нефелиновые сиениты амфибол	-	-	-	-	-	150
<i>Инаглинский массив</i>						
Щелочные сиениты (пегматоидные)						
пироксен	20	40	Следы	4300	400	270
амфибол	120	80	То же	1800	390	29
слюда	160	300	-	280	1800	Не обн.
Диопсид-флогопито- вая порода						
амфибол	-	-	-	-	-	-
слюда	-	-	-	-	-	-
<i>Кондерский массив</i>						
Щелочные сиениты амфибол	-	-	-	Следы	320	-
100	300	-	1000	740	-	-
<i>Мурунский массив</i>						
Нефелиновые сиениты слюда	220	670	100	30	5300	-
<i>Кокшаровский массив</i>						
Габброиды						
пироксен	-	-	-	200	80	-
амфибол	-	-	-	-	4000	-
Нефелиновые сиениты						
пироксен	-	-	-	1000	200	2000
амфибол	-	-	-	500	500	300
слюда	500	300	100	-	-	-
<i>Дежневский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	-	-	-	-	-	-
слюда	500	1380	400	-	-	-
Щелочные сиениты						
амфибол	-	-	-	-	-	-
<i>Грабен Осло</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	-	-	-	-	-	2600
амфибол	-	-	-	-	-	2150
слюда	-	-	-	-	-	1500

8	9	10	11	12	13	14	15	16
								[5]
-	-	-	-	-	-	-	-	[47]
-	-	-	-	-	-	0,19	-	Данные автора и А.Г. Жабина
-	10	-	-	-	-	0,65	-	
-	100	300	-	-	-	1,83	-	Данные автора и А.А. Ганзеева
-	-	132	10	-	-	0,20	-	Данные автора
-	-	10	1	5	-	-	-	
-	-	50	2	5	-	0,26	-	
-	-	-	-	Не обн.	-	Следы	-	
-	-	-	-	-	-	0,10	-	
-	-	-	-	-	-	0,74	-	Данные автора
-	-	6	-	-	-	-	-	
-	-	28	13	-	-	0,21	-	Данные автора и А.А. Ганзеева
-	-	-	-	-	-	-	-	[64]
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	50	-	-	-	-	-	-	
-	50	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	[107]
-	-	-	-	-	-	0,60	-	
-	-	-	-	-	-	0,82	-	
-	-	-	-	-	-	1,15	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	[145]
-	-	-	-	-	-	-	-	
-	92	-	-	-	-	1,69	-	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Массив Норра-Керр</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	11 500	—	—	—	—	—
<i>Массив Альне</i>						
Малиниты						
пироксен	—	—	—	90	180	—
Альениты						
амфибол	—	—	—	90	360	—
слюда	—	—	—	42	4750	—
Карбонатиты						
пироксен	—	—	—	42	400	—
слюда	—	—	—	42	4540	—
Фениты						
пироксен	—	—	—	42	90	—
<i>Массив островов Лос</i>						
Нозеановые монцониты						
амфибол	170	330	Не обн.	Не обн.	2100	—
<i>Массив Оконджедж</i>						
Габбро						
пироксен	17	—	—	10	—	225
Эссекситы						
пироксен	15	—	—	50	30	550
амфибол	45	20	—	70	150	800
Сиениты						
пироксен	50	—	—	—	25	125
Кварцевые сиениты						
амфибол	80	40	—	12	25	200
Трубки взрыва						
пироксен	—	—	—	300	30	—
<i>Щелочные эффузивы</i>						
<i>Восточно-Африканских</i>						
<i>рифтов</i>						
пироксен	—	—	—	345	42	—
амфибол	—	—	—	420	160	—
слюда	—	—	—	7	1400	—
<i>Илимаусакский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	310	470	—	—	—	—
амфибол	20	9	—	—	—	4200
амфибол	979	64	—	—	—	3000
<i>Массив Магнет-Ков</i>						
Габбро						
пироксен	—	—	—	3000	95	—
Мельтейгиты						
пироксен	—	—	—	9000	—	—
слюда	—	—	—	—	—	—
Ийолиты						
пироксен	—	—	—	5000	1000	—
слюда	—	—	—	4000	30	30
слюда	—	—	—	2000	4000	20
Нефелиновые сиениты						
—	—	—	—	500	3000	—

8	9	10	11	12	13	14	15	16
								[142]
—	—	—	—	—	—	2,65	—	[157]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	
800	—	—	—	—	—	1,83	—	Данные автора и В.Г. Лазаренкова [206]
43	95	—	—	—	—	15	—	
100	20	—	—	—	—	20	—	
100	—	—	—	—	—	15	0,44	
80	140	—	—	—	—	5	—	
350	30	—	—	—	—	20	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[16]
—	88	—	—	—	—	—	—	
—	28	—	—	—	—	—	—	
—	20	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	[130], данные ав- тора и Е.И. Семен- нова
—	—	525	32	3	87	—	—	
—	—	610	61	35	55	1,88	—	[161]
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	200	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	0,95	
—	—	—	—	—	—	—	—	
—	30	—	—	4	10	—	—	
—	2	—	—	—	30	0,85	20	
—	—	100	—	—	—	—	—	

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	
пироксен слюда	-	-	-	4000	1900	600	
Силикатно-карбонат- ные породы							
пироксен слюда	-	-	-	800	65	2000	
<i>Массив Итапирапуа</i>						80	
Мельтейгиты							[171]
пироксен	-	-	-	960	96	760	
Нефелиновые сиениты							
пироксен	-	-	-	685	78	1707	
Мариуполиты							
пироксен	-	-	-	230	120	2400	
<i>Монголия</i>							
Фойяиты	-	-	-	-	-	-	[106]
ПТМ	-	-	-	-	-	-	
Миаскиты	-	-	-	-	-	-	
ПТМ	-	-	-	-	-	-	
<i>Массив Сивамалаи (Ин- дия)</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен	60	-	-	-	-	-	
амфибол	130	-	-	-	-	-	
слюда	200	1400	100	-	-	-	0,11
<i>Кимберлиты Якутии</i>							
пироксен	-	10	-	-	-	-	[24]
слюда	-	10	190	-	-	-	
<i>Австралия</i>							
Щелочные базальты							[182]
пироксен	-	-	-	-	-	-	
амфибол	-	-	-	-	-	-	
Фонолитовые туфы	-	-	7	772	428	101	
пироксен	-	-	-	-	-	123	
Трахиты	-	-	-	-	-	-	
амфибол	-	-	-	-	-	-	
слюда	-	-	-	-	-	-	0,03
Щелочные граниты							
<i>Кейвский массив</i>							
Биотит-гастингситовые граниты							[14]
амфибол	450	70	-	-	-	-	
слюда	500	950	50	-	-	-	0,39
Щелочные граниты							
пироксен		100	-	-	-	1000	
амфибол		-	-	-	-	1500	
слюда		1680	147	-	650	130	0,96
<i>Массив Керегетас</i>							
Щелочной гранит							
амфибол		350	850	-	-	-	0,36

	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	-	72	200	70	10	-	-	-	
	-	10	-	-	-	-	-	-	
	-	-	300	-	40	-	-	-	
	-	40	-	-	-	-	-	-	
	30	26	30	-	-	16	-	-	
	81	23	73	-	-	30	-	-	
	-	-	114	-	-	38	-	-	
	183	-	-	-	-	-	-	-	
	193	-	-	-	-	-	-	-	
	101	-	-	-	-	-	-	-	
	247	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	Данные автора и Е.И. Семенова
	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	0,11	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	[24]
	-	52	-	-	-	-	-	-	
	-	59	-	-	-	-	-	-	[182]
	-	-	68	-	-	-	-	-	
	-	-	15	-	-	-	-	-	
	-	50	50	-	-	16	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	90	-	-	-	-	-	
	-	-	21	-	-	-	0,03	-	
	-	-	310	-	-	-	-	-	
									[14]
	-	-	-	-	-	-	-	0,39	
	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1600	-	-	-	-	-	-	-	
	170	-	-	-	-	-	-	0,96	
	70	-	-	-	-	-	-	0,36	
	-	-	-	-	-	-	-	-	[64]

Таблица 78 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
Биотитовый гранит слюда		740	470	-	-	-
<i>Кентский массив</i>						
Пегматоидный щелочной гранит						
амфибол		-	-	1000	100	400
<i>Горный Алтай</i>						
Щелочной гранит						
пироксен	-	-	-	-	-	-
амфибол	-	-	-	800	-	-
амфибол (поздний)	-	-	-	-	-	-
<i>Дугдинский массив</i>						
Щелочной гранит						
амфибол		90	Следы	-	-	-
<i>Северо-Восточная Тува</i>						
Сиениты						
амфибол	130	90	Не обн.	-	-	-
Граносиениты						
амфибол	-	-	-	-	-	-
Щелочные граниты						
пироксен	-	-	-	-	-	375
амфибол	500	-	-	-	-	1536
слюда		2100	Следы	-	-	-
<i>Восточное Забайкалье</i>						
Щелочные граниты						
пироксен	60	Не обн.	Не обн.	-	-	-
амфибол	-	-	-	-	-	-
Вмещающие гнейсы						
амфибол	-	-	-	-	-	-
<i>Джугджурский массив</i>						
Сиенит						
амфибол	13	120	-	-	-	-
Щелочной гранит						
пироксен	-	-	-	-	-	-
амфибол	40	81	96	-	-	2000
слюда	500	2000	-	-	-	-
Пегматоидный щелочной гранит						
амфибол		303	-	-	-	-
<i>Массив Виго (Испания)</i>						
пироксен	-	-	-	-	-	5750
амфибол	1000	-	-	-	-	-
<i>Массив Плато Джос (Нигерия)</i>						
Гастингсит-биотитовый гранит						
слюда	7700	1890	23	-	-	-
Щелочной гранит						
амфибол	6700	1000	400	300	-	3200

8	9	10	11	12	13	14	15	16
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
730	-	-	-	-	-	-	-	-
1500	-	-	-	-	-	0,32	-	-
4900	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	1,24	-	-
4700	-	-	-	14	-	0,54	-	-
1140	-	-	-	13	-	0,15	-	-
-	-	-	-	15	-	-	-	-
-	-	-	-	14	-	-	-	-
320	-	-	-	40	-	0,42	-	-
-	-	-	-	-	-	1,33	-	-
540	-	-	-	-	-	-	-	-
550	-	-	-	-	-	1,57	-	-
1300	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	0,34	-	-
2400	-	-	-	-	-	-	-	-
1170	-	240	4	20	-	0,85	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-

Данные автора и  
И.А. НечаевойДанные автора и  
Ю.Л. Капустина

[75, 116]

Данные автора и  
Г.Н. Мухитдинова[38], данные ав-  
тора

[148]

Таблица 78 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Грабен Осло (Норвегия)</i>						
амфибол	—	—	—	35	25	—
слюда	—	—	—	12	1000	—
<i>Массив Варсак (Пакистан)</i>						
пироксен	—	—	—	80	500	—
амфибол	—	—	—	180	60	—

Для Сахариокского массива, где нефелиновые сиениты считаются либо фациальной разновидностью щелочных сиенитов, либо более поздней по отношению к ним фазой, содержание лития в слюдах нефелиновых сиенитов почти в два раза повышает его содержание в слюдах сиенитов. Если считать рассмотренную закономерность действительной, то наиболее вероятно, что нефелиновые сиениты являются более поздней фазой массива, чем щелочные сиениты.

Анализ слюд из карбонатитов четырех стадий Саянского массива [32] показал, что содержание лития в слюдах в ходе становления карбонатитов остается постоянным и очень низким. Необычным является характер распределения лития между минералами карбонатитов. Амфиболы содержат в 50–100 раз больше лития, чем слюды, и даже пироксены богаче литием, чем слюды.

Таблица 79

Содержание окиси лития (в г/т) в породах и слюдах Северо-Восточной Тувы

Порода	Содержание Li <sub>2</sub> O	
	в породе	в слюде
Сиенит	11	400
Граносиенит	15	460
Нефелиновый сиенит	50	500

Для большей части щелочных интрузий отмечается резкое обогащение литием ПТМ пегматитов и поздних гидротермальных парагенезисов. Слюды пегматитов Сыннырского массива в 4–10 раз богаче литием, чем слюды нефелиновых сиенитов, слюда из флюорит-апатит-слюдяного метасоматита массива Бурпале в три раза богаче литием, чем слюда из фенитов. Слюды альбититов Октябрьского массива в 20 раз богаче литием, чем слюды нефелиновых сиенитов. Содержание лития в слюдах поздних карбонатитов Вишневогорского массива в 1,5 раза выше его содержания в слюдах из не-

8	9	10	11	12	13	14	15	16
[145]								
1540	70	—	—	—	—	—	—	—
1100	Следы	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	—

фелиновых сиенитов. Слюды и амфиболы пегматоидных нефелиновых сиенитов массивов Турпи и Кульп в 3–4 раза богаче литием, чем соответствующие минералы нефелиновых сиенитов.

В нефелиновых сиенитах Северо-Восточной Тувы количество лития, заключенного в слюдах, составляет около 60% всего лития, содержащегося в породе. В амфиболах и пироксенах содержится 20–40% лития, а если слюда в породе отсутствует, в амфиболах может быть заключено до 80% лития. Коэффициент концентрации лития в биотитах этих нефелиновых сиенитов равен 13, в амфиболах — 4, в эгиринах — 1,5.

Интересно проследить характер изменения содержания лития в слюдах от щелочных пород массивов до вмещающих метаморфических пород. В слюдах карбонатитов и околокарбонатитовых слюдитов Черниговской зоны содержание окиси лития в среднем на порядок ниже, чем в пегматитах вмещающей гранито-гнейсовой толщи.

Слюды фенитов Вишневогорского массива существенно обогащены литием по сравнению со слюдами нефелиновых сиенитов. Та же самая закономерность отмечается для ряда массивов Туркестан-Алтайской щелочной провинции (Турпи, Рохшиф-Собах, Зардалек, Тутек-Деонасу). В то же время амфиболы фенитов Ловозерского массива, напротив, обеднены литием по сравнению с амфиболами нефелиновых сиенитов основной фазы, то же самое наблюдается и для слюд Сыннырского массива.

По ионному радиусу Li (0,68) близок к Fe<sup>3+</sup> (0,67) или Mg (0,74). По химическим свойствам он ближе всего к натрию, но разница в ионных радиусах Na (0,98) вряд ли позволяет предполагать между ними изоморфные соотношения. Доказательством того могут служить незначительное количество лития в акмитах и жадеитах и столь же незначительная примесь натрия в сподуменах.

Закономерный ряд обогащения ПТМ литием: пироксен ≪ амфибол ≈ слюда трудно объяснить изоморфизмом лития как с окисным железом, так и с натрием (Fe<sup>3+</sup> и Na максимально накапливаются в акмите). Более или менее удовлетворительно этот ряд может быть объяснен корреляцией лития с фтором.

Таблица 80

Средние содержания редких и рассеянных элементов в ПТМ некоторых типов горных пород (в г/т)

Порода, минерал	Li <sub>2</sub> O	Rb <sub>2</sub> O	Cs <sub>2</sub> O	SrO	BaO	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Габброиды	30	50	—	440	300	100	117	24	20
пироксен	15	215	—	198	94	130	140	121	3
амфибол	5	90	—	310	27	47	70	80	30
слюда	80	1100	—	Следы	1600	35	30	15	78
Гранитоиды	80	220	5	300	830	200	295	3	20
пироксен	38	15	—	—	—	—	—	40	31
амфибол	15	18	5	197	51	120	500	132	40
слюда	1100	1250	140	250	1880	120	40	14	148
Щелочные	80	210	7	1130	1600	384	370	—	100
пироксен	180	81	20	170	—	2870	300	11	310
амфибол	1340	101	29	960	570	800	200	23	340
слюда	1110	1200	103	600	3700	60	200	22	300
Метаморфические	120	—	—	450	800	200	120	10	—
пироксен	23	—	—	60	10	84	40	86	—
слюда	—	—	—	44	150	140	50	77	—
	—	—	—	45	1600	180	50	32	—

Таблица 80 (окончание)

Порода, минерал	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Zn	Pb	Be	B	V	Cr	Ni	Co	Cu
Габброиды	0,5	—	—	0,4	5	200	200	160	45	100
пироксен	0,4	—	6	3	116	250	420	140	70	110
амфибол	2	—	—	2	74	—	20	70	40	40
слюда	13	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Гранитоиды	3,5	60	18	—	15	40	25	8	50	20
пироксен	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
амфибол	6	500	9	—	48	190	56	23	30	30
слюда	12	640	19	—	14	300	80	22	35	—
Щелочные	8	85	20	4,5	17	70	38	19	5,5	42
пироксен	40	150	7	11	20	700	810	29	18	22
амфибол	50	2700	7	24	30	1200	70	80	30	20
слюда	40	3300	2	8	10	130	200	60	60	—
Метаморфические	—	—	—	—	100	130	100	100	20	57
пироксен	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
слюда	—	—	—	—	40	2600	53	70	38	23
	—	—	—	—	39	2000	230	150	35	50

Таблица 81

Средние содержания редких и рассеянных элементов в ПТМ щелочных пород различных формационных типов (в г/т)

Формация, минерал	Li <sub>2</sub> O	Rb <sub>2</sub> O	Cs <sub>2</sub> O	SrO	BaO	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Щелочно-ультраосновная	64	84	—	1600	1900	—	—	—	—
пироксен	14	17	—	3850	627	1315	—	46	123
амфибол	513	230	—	430	360	425	200	18	140
слюда	9	396	—	292	4645	55	180	15	230
Калиево-базальтоидная	304	390	15	1450	2725	—	—	—	—
пироксен	127	56	3	2002	299	4177	630	51	162
амфибол	222	138	5	690	1270	1607	300	16	102
слюда	418	1100	172	229	5800	208	3	3	324
Щелочно-габброидная	206	160	2	1300	2040	—	—	—	—
пироксен	—	9	—	600	120	1931	120	35	65
амфибол	55	65	—	200	500	1262	355	42	112
слюда	472	430	85	200	3157	170	50	—	140
Щелочно-гранитоидная	—	290	12	490	880	—	—	—	—
пироксен	—	92	9	365	10	4370	540	34	127
амфибол	—	171	28	861	1012	1479	234	33	260
слюда	—	1371	112	300	1542	220	150	4	521
Щелочные граниты	730	230	—	—	—	—	—	—	—
пироксен	600	375	—	80	—	688	600	36	142
амфибол	5611	253	386	502	382	1659	933	70	303
слюда	4876	1809	198	12	825	130	70	—	403

Таблица 81 (окончание)

Формация, минерал	Zn	Pb	Sn	Ga	V	Cr	Ni	Co	Cu	Be
Щелочно-ультраосновная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
пироксен	—	—	—	—	850	100	20	15	20	10
амфибол	—	—	—	—	800	4400	1500	—	—	—
слюда	—	—	—	—	150	—	60	50	20	—
Калиево-базальтоидная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
пироксен	127	17	22	25	—	—	—	—	—	—
амфибол	420	5	—	42	788	587	122	71	21	9
слюда	576	9	8	65	838	80	10	14	12	12
Щелочно-габброидная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
пироксен	300	35	35	53	—	—	—	—	—	—
амфибол	467	1265	60	62	225	5	27	15	30	3
слюда	400	250	40	—	255	—	21	13	17	23
Щелочно-гранитоидная	—	—	—	—	73	100	6	—	—	—
пироксен	500	500	60	17	—	—	—	—	—	13
амфибол	1023	346	55	20	310	20	—	—	—	16
слюда	2233	500	20	150	27	32	33	52	10	13
Щелочные граниты	—	—	—	—	70	—	—	—	100	—
пироксен	500	—	300	—	—	—	—	—	—	—
амфибол	2750	350	600	—	—	—	—	—	—	10
слюда	2300	100	80	—	—	—	—	—	—	35
					40	Следы	5	8	30	6

## РУБИДИЙ

Характер распределения рубидия в основных типах пород земной коры аналогичен характеру распределения лития. В магматических породах он накапливается преимущественно в гранитоидах. Содержание рубидия в осадочных породах приблизительно равно его содержанию в гранитоидах.

Таблица 82

Литий-рубидиевое отношение в слюдах щелочных пород и отношения кларков этих элементов

Формация	Отношение Li/Rb	
	в слюдах	в породах
Щелочно-ультраосновная	0,02	0,11
Калиево-базальтоидная	0,38	0,17
Щелочно-габброидная	1,10	0,17
Щелочно-гранитоидная	1,43	0,30
Щелочные граниты	2,70	0,35

В ряду щелочных пород содержание рубидия также возрастает от пород щелочно-ультраосновной формации к породам щелочно-гранитоидной формации, имея аномально высокое значение в породах калиевой щелочно-базальтоидной формации.

Слюды всех типов пород концентрируют рубидий ( $K_k = 3-8$ ); амфиболы имеют близкое к кларку содержание этого элемента, а пироксены — ниже кларка. Таким образом, намечается следующий ряд обогащения ПТМ

рубидием: пироксены < амфиболы < слюды. Эта закономерность вполне понятна, если считать рубидий изморфной примесью в калиевых минералах.

Среди щелочных пород различных формационных типов наиболее обогащенными рубидием слюдами характеризуются щелочные граниты и нефелиновые сиениты щелочно-гранитоидной формации, что соответствует общей тенденции изменения кларков. В соответствии с этой тенденцией аномально высокие содержания рубидия характерны для слюд пород калиевой щелочно-базальтоидной формации.

Интересные результаты были получены

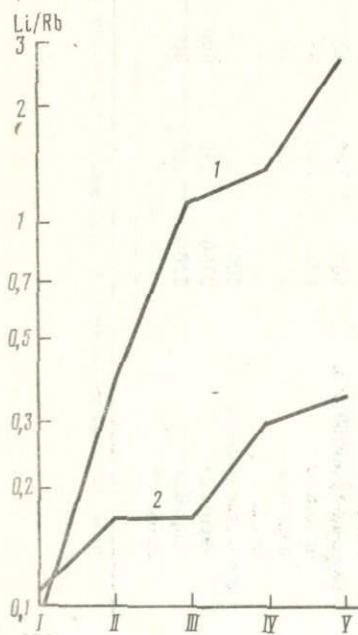


Рис. 4. Отношение Li/Rb в основных формационных типах пород (2) и слюдах из этих пород (1)

I — щелочно-ультраосновная, II — калиевая щелочно-базальтоидная, III — щелочно-габброидная, IV — щелочно-гранитоидная, V — щелочные граниты

по литий-рубидиевому отношению в слюдах (табл. 82, рис. 4). Оказалось, что на основании этого отношения можно достаточно достоверно производить формационное деление щелочных пород. Наиболее низким отношением характеризуются слюды карбонатитовых комплексов щелочно-ультраосновной формации, наиболее высоким — слюды щелочно-гранитоидной формации и щелочных гранитов. Эта же закономерность наблюдается и для отношения кларков этих элементов в щелочных породах, но в том случае она проявлена не столь резко и поэтому ранее не отмечалась.

Содержание рубидия в слюдах последовательно внедрявшихся пород одного щелочного массива меняется незакономерно, что подтверждается на примере уже рассмотренных для лития магматических серий Северо-Восточной Тувы, Сандыкского массива, массива Турпи и Бердяшского массива. Отмечается лишь обогащение рубидием слюд пегматитов.

Расчитанный В.И. Коваленко и Э.И. Пополитовым [75] баланс распределения рубидия в нефелиновых сиенитах Северо-Восточной Тувы свидетельствует, что со слюдами связано 30% рубидия. Основная же масса этого элемента находится в нефелине (до 65%) и калиевом полевом шпате (до 50%).

### ЦЕЗИЙ

Кларковая тенденция для цезия полностью аналогична тенденции лития. Наибольшие содержания этого элемента характерны для осадочных пород, а из магматических — для гранитоидов.

Щелочные породы в среднем содержат несколько больше цезия, чем гранитоиды, хотя и меньше, чем осадочные породы. Распределение цезия среди щелочных пород различных формаций такое же, как и для рубидия, т.е. отмечается увеличение содержания от нефелиновых сиенитов глубинной ультраосновной щелочной формации к близповерхностной щелочно-гранитоидной формации, с аномально высоким содержанием в щелочных породах калиевой щелочно-базальтоидной формации.

Слюды и амфиболы концентрируют цезий, в то время как пироксены обычно имеют кларковые или ниже кларковых уровни содержания этого элемента. Коэффициент концентрации цезия в слюдах обычно равен 10, хотя в некоторых случаях может быть значительно выше;  $K_K$  в амфиболах в среднем равен 3.

В полном соответствии с общей тенденцией кларков содержание цезия в слюдах (см. табл. 81) увеличивается от щелочных пород щелочно-габброидной формации к щелочным породам щелочно-гранитоидной формации и к щелочным гранитам с аномально высокими содержаниями в слюдах калиевой базальтоидной формации.

Для Сандыкского массива отмечается увеличение содержания цезия от слюд щелочноземельных сиенитов I фазы к слюдам нефелиновых сиенитов II фазы в соответствии с изменением кларка цезия в этих породах. Однако этого единичного факта, конечно, недостаточно для суждения об общем характере изменений содержания цезия в слюдах магматических серий. Можно выделить следующие массивы щелочных пород, слюды которых особенно обогащены цезием: Кейвское поле (Кольский п-ов); массивы Дара-Пиоз, Турпи и Суртеке (Средняя Азия); массивы Керегетас и Восточно-Казахстанский; массив Бурпала (Северное Прибайкалье); массивы Учур и Дежневский (Дальний Восток).

## СТРОНЦИЙ

Если судить по таблице кларков, то в распределении стронция в земной коре не существует четких закономерностей. Главные типы пород (основные и кислые магматические породы и осадочные породы) характеризуются близкими содержаниями этого элемента (300–500 г/т). Только ультраосновные породы обеднены стронцием (10 г/т). Некоторое обогащение этим элементом пород среднего состава (800 г/т), возможно, объясняется включением в выборку щелочных пород.

В отличие от пород нормального ряда для пород щелочного ряда, характеризующихся резко повышенным кларком стронция (1130 г/т), намечается четкая закономерность обогащения Sr пород глубинных формаций.

Предварительная оценка автором средних содержаний стронция в ПТМ главных типов пород [60] также не позволила выявить ясной тенденции распределения этого элемента. Было лишь установлено, что во всех типах пород содержание стронция в ПТМ ниже его кларка для соответствующих типов пород и что ПТМ щелочных пород наиболее обогащены этим элементом.

При более детальном рассмотрении распределения стронция в ПТМ щелочных пород (табл. 78, 80) оказалось возможным выявить более четкие закономерности. Оказалось, что в наибольшей степени обогащены стронцием пироксены; слюды содержат наименьшее количество этого элемента, а амфиболы характеризуются промежуточными значениями.

Такой характер распределения объясняется тесными изоморфными отношениями стронция с кальцием, накоплением стронция в минералах, наиболее обогащенных кальцием. В пироксенах кальций может максимально составлять 25% от общей суммы катионов, в амфиболах — 13%, в слюдах около 0%. Содержание стронция в пироксенах из нефелиновых и щелочных сиенитов различных формационных типов уменьшается закономерно по мере уменьшения глубинности их формирования, от нефелиновых сиенитов ультраосновной щелочной карбонатитоносной формации к нефелиновым сиенитам щелочно-гранитоидной формации и достигает минимума в пироксенах щелочных гранитов, что соответствует соотношению кларков стронция для этих пород. В распределении стронция в амфиболах не было обнаружено

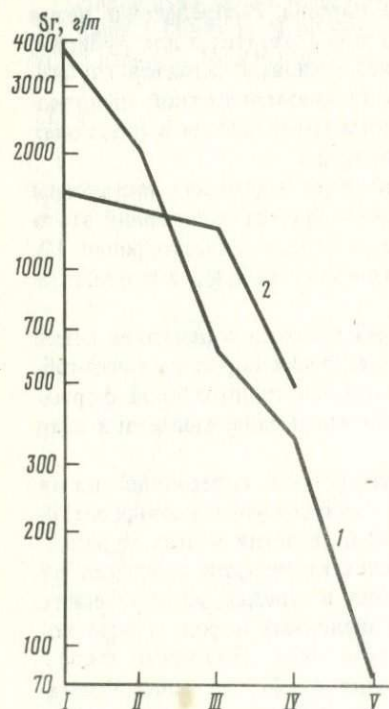


Рис. 5. Распределение стронция в основных формационных типах щелочных пород (2) и пироксенах из этих пород (1)  
I–V — те же что на рис. 4

каких-либо закономерностей. Содержание стронция в слюдах низкое и приблизительно постоянное (200–300 г/т).

Уровень содержания стронция в ПТМ зависит от их парагенезиса с другими кальциевыми минералами. Так, например, при высоком (0,1%) кларке стронция в кимберлитах пироксены этих пород содержат небольшое количество стронция (20 г/т), что, по-видимому, объясняется преимущественным вхождением этого элемента в кальциты. В породах щелочно-гранитоидной формации и в щелочных гранитах пироксены представлены преимущественно малокальциевыми щелочными разностями (эгиринами и акмитами), чем, по-видимому, объясняется преимущественное вхождение стронция в амфиболы, которые в этих породах являются наиболее обогащенными кальцием минералами.

Из всех ПТМ только пироксены ультраосновной щелочной и щелочно-базальтоидной формации концентрируют стронций по сравнению с кларками материнских пород ( $K_k = 2$ ).

Содержание стронция в пироксенах нефелиновых сиенитов различных формационных типов изменяется значительно контрастнее, чем его содержание в породах (рис. 5), что позволяет рекомендовать использовать содержание стронция в пироксенах как индикатор глубинности формирования щелочных пород.

В ходе эволюции магматического очага массива Магнет-Ков габброиды сменялись ийолитами, а затем нефелиновыми сиенитами. Содержание стронция в пироксенах из этих последовательно формирующихся пород возрастает от 3000 до 4100 г/т.

Пироксены метасоматитов (например, альбититов), формирующихся в результате преобразования щелочных пород постмагматическими растворами, обычно представленные низкотемпературными бескальциевыми акмитами или малокальциевыми эгиринами, как правило, содержат меньше стронция, чем первичные пироксены. Например, пироксены нефелиновых сиенитов массива Итапирипуа содержат 685 г/т окиси стронция, а пироксены развивающихся по ним мариуполитов — только 230 г/т.

## БАРИЙ

Судя по кларкам бария, для этого элемента наблюдается тенденция накопления в близповерхностных интрузивных породах и осадочных образованиях. Средние содержания бария в ПТМ основных типов пород не очень отчетливо, но все же отражают эту закономерность. Содержание бария в амфиболах и слюдах габброидов ниже, чем в соответствующих минералах гранитоидов. Достаточно ясно проявлена закономерность обогащения барием слюд по сравнению с амфиболами и особенно с пироксеном, что объясняется тесными изоморфными соотношениями бария с калием. Из ПТМ только слюды концентрируют барий  $K_k = 2-5$ . Породообразующие темноцветные минералы щелочных пород существенно обогащены барием по сравнению с ПТМ остальных пород земной коры.

При более детальном рассмотрении распределения бария в ПТМ щелочных пород различных формационных типов удалось наметить некоторые дополнительные закономерности. В полном соответствии с харак-

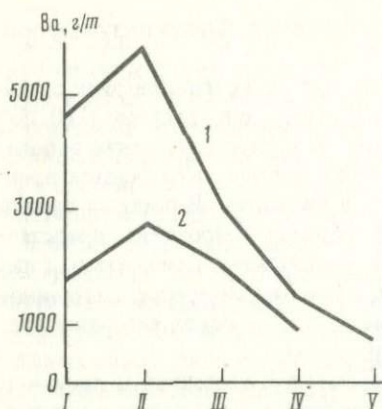


Рис. 6. Распределение бария в основных формационных типах щелочных пород (2) и в слюдах из этих пород (1)

I-V — те же что на рис. 4

тером изменения кларков для щелочных пород различной формационной принадлежности [44] содержание бария в слюдах резко убывает от пород щелочно-базальтоидной к породам щелочно-гранитоидной формации и достигает минимума в щелочных гранитах. Для амфиболов эта закономерность не проявлена.

Таким образом, для щелочных пород и их ПТМ в отличие от пород нормального ряда обогащены барием не приповерхностные, а глубинные формации. Содержание бария в слюдах (как и содержание стронция в пироксенах) является хорошим индикатором глубинности формирования щелочных пород, значительно более контрастным, чем содержание этого элемента в материнских породах (рис. 6).

#### РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Содержание суммы редкоземельных элементов (РЗЭ) увеличивается в породах нормального ряда от основных к кислым. Для щелочных пород характерно наиболее высокое содержание этих элементов. Тем не менее распределение суммы РЗЭ в породах щелочного ряда никакой закономерности в зависимости от формационной принадлежности не обнаруживает.

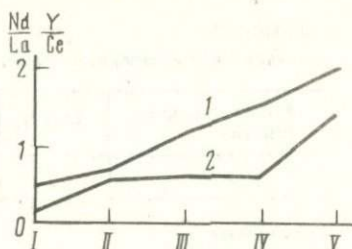
ПТМ обычно концентрируют РЗЭ в незначительной степени ( $K_K = 1,5$ ). Так, из 28 проб гранитов и нефелиновых сиенитов Северо-Восточной Тувы только в 9 ПТМ концентрируют РЗЭ, причем никакой зависимости степени концентрации от типа пород [75] не отмечается. В то же время именно потому что в светлых породообразующих минералах (полевых шпатах и кварце) содержания редкоземельных элементов всегда ниже, чем в породах, ПТМ часто являются основными носителями РЗЭ: например, в габброидах и щелочных габброидах Квиранской интрузии 70–98% РЗЭ рассеяны в породообразующих минералах, в основном в ПТМ [112].

В отличие от кларков щелочных пород различных формационных типов, не обнаруживающих никакой тенденции распределения, содержание РЗЭ в ПТМ отчетливо увеличивается от щелочных пород ультраосновной щелочной формации к породам щелочно-гранитоидной формации и далее к щелочным гранитам.

Наиболее обогащены РЗЭ пироксены и амфиболы, слюды, как правило, содержат незначительные количества этих элементов. В большинстве случаев пироксены преимущественно концентрируют РЗЭ по сравнению с амфиболами, только изредка (особенно для щелочных гранитов) отмечается преимущественное накопление РЗЭ в амфиболах.

Основой распределения РЗЭ в ПТМ является, по-видимому, их изоморфизм с кальцием. Особенно наглядно это было показано В.И. Коваленко

Рис. 7. Отношения  $Nd/La$  (1) и  $Y/Ce$  (2) в основных формационных типах щелочных пород I-V — те же что на рис. 4



и др. [75] для щелочно-гранитоидных комплексов Северо-Восточной Тувы, где ранние кальцийсодержащие амфиболы содержат РЗЭ значительно больше, чем поздние щелочные, бескальциевые.

Так как пироксены нефелиновых сиенитов содержат обычно больше кальция, чем парагенные с ними амфиболы, то становится ясным преимущество вхождение РЗЭ в пироксены. В щелочных гранитах, напротив, эгирины обычно лишены кальция, в то время как в парагенных с ними рибекит-арфедсонитах содержится небольшое количество кальция и РЗЭ входят преимущественно в амфиболы.

По сравнению с материнской породой ПТМ обогащены обычно тяжелыми, а полевые шпаты легкими лантаноидами. Ю.А. Балашов [11] предположил, что преимущественное по сравнению с полевыми штатами вхождение РЗЭ в ПТМ объясняется большим количеством в ПТМ независимых кристаллохимических позиций, что позволяет легко балансировать валентность при замещении кальция редкоземельными элементами. Такая компенсация затруднена в жестких каркасных структурах типа полевых шпатов.

На наш взгляд, преимущественно вхождение РЗЭ в ПТМ, так же как и их обогащенность тяжелыми лантаноидами, может быть объяснено их изоморфизмом в этих минералах не только с кальцием, но и с элементами группы железа.

Для ПТМ щелочных пород различных формационных типов в направлении от глубинной щелочно-ультрасосновой формации к приповерхностной щелочно-гранитоидной отмечается не только увеличение содержания РЗЭ, но и роли тяжелых лантаноидов в общей сумме РЗЭ (табл. 86, рис. 7).

Количества расшифровок состава РЗЭ в ПТМ явно недостаточно для обоснованного суждения о характере распределения индивидуальных РЗЭ между сосуществующими ПТМ. Имеющиеся в табл. 83 данные как будто свидетельствуют, что наиболее цериевые составы характерны для слюды, наиболее иттриевые — для пироксенов, а амфиболы занимают промежуточное положение. Однако в некоторых случаях амфиболы более обогащены тяжелыми лантаноидами, чем сосуществующие с ними пироксены.

Сравнение намеченных предварительных закономерностей с данными по распределению РЗЭ в минералах сложного габбро-сиенитового Витошского плутона показывает, что эти закономерности характерны и для этого массива. Сумма РЗЭ в амфиболах растет от ранних габброидов, через монцониты к поздним сиенитам. Состав РЗЭ в амфиболах в этом направлении меняется в сторону увеличения роли тяжелых лантаноидов (для габбро  $Nd/La = 3$ ,  $Y/Ce = 1,3$ ; для монцонитов  $Nd/La = 3,3$ ,  $Y/Ce = 4,3$ ; для сиенитов  $Nd/La = 5$ ,  $Y/Ce = 4$ ; для пегматитов  $Nd/La = 24$ ,  $Y/Ce = 4,4$ ). Из трех ПТМ монцонитов тяжелыми лантаноидами наиболее обогащен пироксен (лантан и церий отсутствуют), амфибол характеризуется промежуточным

Таблица 83

Состав редкоземельных элементов в ПТМ щелочных пород (в %)

Массив, порода, минерал	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	
Эклогиты							
пироксен	12,0	18,9	0,8	16,5	8,7	18,8	
<i>Кольского полуострова</i>							
Нефелиновые пироксениты							
пироксен	21	56	1,9	14	1,6	0,7	
амфибол	35	50	3,6	11	0,2	0,4	
Пироксениты, оливиниты							
пироксен	20,2	2,45	3,8	19,8	4,3	3,2	
Нефелиновые пироксениты							
пироксен	17,3	35,8	4,8	20,4	3,5	4,0	
Камафориты							
пироксен	22,1	50,0	6,0	18	2,0	1,3	
Ийолиты							
пироксен	20,0	43,2	7,5	16	4,4	2,9	
Карбонатиты							
пироксен	13,9	31,0	4,4	15,9	5,3	3,2	
<i>Черниговская зона</i>							
Карбонатиты							
амфибол	21,5	40,1	5,9	18,7	4,0	2,8	
слюда	20	50	—	21	—	4	
Фениты							
пироксен	22,2	33,2	7,9	20	4,2	3,0	
амфибол	29	36	3,3	8,6	6,7	8,4	
<i>Саянский массив</i>							
Карбонатиты							
слюда	19,3	38,5	4,8	17,9	4,0	6,0	
<i>Ловозерский массив</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен	26,3	50,0	5,0	15,0	1,0	0,9	
<i>Ишимский массив</i>							
Нефелиновые сиениты							
амфибол	26,1	31,2	3,8	17,2	3,8	1,0	
<i>Памбакский массив</i>							
Щелочные сиениты							
слюда	63	21	5,2	9,2	1,3	0,6	

Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Источник
8	9	10	11	12	13	14	15
—	—	—	—	—	—	21,8	[93], Данные Л.С. Бородина и А.В. Лапина
0,4	—	—	—	—	—	4,8	
—	0,4	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	3,6	
3,1	0,4	0,8	0,1	0,1	15,0	15,0	
—	—	—	—	—	—	2,4	
0,5	—	0,2	—	—	—	5,4	
2,0	1,3	3,3	1,1	8,0	0,4	10,1	Данные автора и Э.Т. Катаевой
1,2	—	—	—	—	—	5,9	
—	—	—	—	—	—	3,0	
4,0	—	—	—	—	—	5,4	
—	—	—	—	—	—	7,4	
—	—	1,5	—	—	—	7,7	[113]
—	—	—	—	—	—	—	42
0,1	—	0,1	—	—	—	1,6	Данные автора и Э.Т. Катаевой
—	—	—	—	—	—	16,6	Данные Кочиняна
—	—	—	—	—	—	—	

Таблица 83 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Горячегорский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	6,7	15,3	5,7	12,2	8,1	11,0
<i>Массив Кия-Шалгырь</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	14,3	30,6	1,3	19,0	3,5	6,6
<i>Массив горы Дедовой</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	14,7	22,2	2,0	11,2	7,9	7,1
<i>Зимовьеченский массив</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	15,5	10,4	10,4	14,9	12,5	23,0
Щелочные сиениты						
амфибол	14,7	19,7	3,3	23,5	8,7	7,2
<i>Массив острова Лос</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	26,7	42,0	4,7	14,6	2,7	1,6
<i>Австралия</i>						
Щелочные базальты и нефелиниты						
амфибол	14	38	2	26	-	-
<i>Вишневогорский массив</i>						
Пегматоидные нефелиновые сиениты						
пироксен	5,4	18,5	-	3,5	0,9	1,8
<i>Массив Турпи</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	7,0	33,0	4,7	29,0	3,3	3,3
<i>Массив Ак-Сай</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	15,4	30,2	16,1	18,0	6,1	4,0
<i>Массив Ахба-Сай</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	15,0	25,3	5,7	9,6	4,0	-
амфибол	12,5	25,8	6,3	9,9	2,4	2,6

8	9	10	11	12	13	14	15
							Данные автора
7,6	-	15,4	-	-	-	12,0	
-	-	-	-	-	-	20,0	
9,0	2,0	8,1	-	-	-	15,2	
7,9	-	-	-	-	-	10,0	
3,7	-	-	-	-	-	19,1	Данные автора и В.Г. Лазаренкова
0,7	-	1,00	-	-	-	6,3	[182]
-	-	-	-	-	-	18,0	Данные Е.И. Семенова
1,7	-	5,4	-	12,3	1,8	51,4	
-	-	-	-	-	-	19,4	Данные автора
2,1	-	0,4	-	-	-	7,7	То же
6,4	-	-	-	-	-	17,2	
8,9	-	9,0	-	-	9,6	12,8	

Таблица 83 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7
<i>Массив Киш-Орда</i>						
Нефелиновые сиениты						
амфибол	23,4	43,0	8,6	11,2	1,7	2,0
<i>Массив Кара-Адыр</i>						
Нефелиновые сиениты						
пироксен	5,7	13,5	2,5	11,6	7,0	3,6
Щелочные граниты						
<i>Массив Джугджур</i>						
пироксен	5,1	32,2	2,6	21,7	4,3	5,0
амфибол	22,8	45,7	6,8	12,2	3,7	5,4
<i>Восточно-Казахстанский массив</i>						
амфибол	7,4	17,6	17,6	10,7	4,3	5,6
<i>Алтай</i>						
пироксен	13,00	29	2,9	12,3	5,1	4,4
амфибол I	12,5	12,6	2,1	16,6	6,4	3,7
амфибол II	0,5	5,5	—	4,1	1,6	7,2
<i>Талгарский массив</i>						
амфибол	27,1	27,2	4,9	22,8	3,1	2,2
<i>Забайкалье</i>						
пироксен	7,7	140	4,1	10,2	7,5	8,8
амфибол	12,5	32,6	5,6	17,2	6,3	7,3
Гнейсы						
амфибол	23,8	27,9	2,7	20,2	5,8	8,0
сплюда	25,4	19,2	9,6	22,1	3,4	1,8
	14,8	19,4	10,0	10,3	3,5	3,8
<i>Массив Дара-Пиоз</i>						
пироксен	13,8	25,2	6,0	13,4	6,0	3,3
<i>Кейвский массив</i>						
пироксен	14,9	24,0	3,3	13,5	2,6	3,5
амфибол	12,6	25,1	3,0	16,1	3,3	4,6
<i>Северо-Восточная Тува</i>						
Сиениты (I фаза)						
амфибол	21,6	29,3	4,2	19,3	4,0	5,9
Граносиениты (II фаза)						
амфибол	27,0	42,5	2,5	13,6	4,9	4,3
Щелочные граниты						
амфибол	20,0	21,8	8,3	23,9	6,4	5,2
Альбитизированные щелочные граниты						
пироксен	15,8	40,7	3,3	9,8	3,1	4,3
амфибол	5,5	11,1	2,5	6,5	4,6	4,8
Микроклиниты						
амфибол	3,8	—	7,7	3,0	6,4	3,8

8	9	10	11	12	13	14	15
							Данные А.А. Ганзеева
2,1	—	0,6	—	—	—	7,2	[104]
5,1	—	2,7	—	2,8	—	45,4	Данные автора
4,4	—	1,5	—	6,2	—	16,3	
—	—	0,7	—	2,0	—	2,9	Данные Д. А. Минеева
17,4	7,2	13,0	1,2	11,6	—	2,1	Данные автора и Н.А. Нечасовой
3,5	0,7	3,3	0,7	3,6	0,3	20,0	
3,0	2,2	7,9	0,4	6,3	—	25,2	
5,2	2,8	8,4	—	5,4	—	59,1	Данные автора
—	—	—	—	—	—	12,7	
1,1	1,0	3,0	1,3	6,7	—	34,5	Данные автора и Г.Н. Мухитдинова
—	—	2,7	0,4	6,3	—	9,1	
4,7	0,8	2,8	—	4,8	—	7,3	
3,6	—	—	—	—	—	14,8	
15,8	—	2,1	—	2,2	—	4,8	Данные автора
7,7	—	4,5	—	5,7	—	14,5	
2,6	0,7	3,0	—	6,1	0,4	23,9	Данные Н.А. Нечасовой
4,3	1,0	2,2	0,4	4,4	0,6	22,7	[75]
1,6	0,4	2,0	—	—	—	13,5	
0,5	0,7	0,5	—	—	—	3,1	
1,3	—	—	—	—	—	14,3	
4,0	1,0	3,7	—	1,5	—	18,8	
4,4	4,0	3,0	3,1	3,0	—	47,1	
5,7	7,3	1,5	6,3	5,3	1,1	50,7	

Таблица 84

Изменение состава редкоземельных элементов в ПТМ в зависимости от формационной принадлежности

Формация, минерал	Nd/La	Y/Ce
Ультраосновная щелочная формация		
пироксен	0,9	0,15
амфибол	0,5	0,16
слюда	1,0	0,06
Калиевая базальтоидная формация		
амфибол	0,7	0,53
слюда	0,15	
Щелочно-габброидная формация		
пироксен	1,8	0,8
амфибол	1,2	0,61
Щелочно-гранитоидная формация		
пироксен	1,3	3,1
амфибол	1,5	0,6
Щелочные граниты		
пироксен	2,6	0,54
амфибол	2,0	1,45

составом ( $Nd/La = 3,3$ ,  $Y/Ce = 4,7$ ), биотит является наиболее цериевым ( $Nd/La = 0,5$ ,  $Y/Ce = 0,12$ ) минералом.

В пегматитах наблюдается тот же характер распределения: для амфибола  $Nd/La = 24$ ,  $Y/Ce = 4,4$ , для биотита  $Nd/La = 2,0$ ,  $Y/Ce = 3$ ).

Появление в пегматитах таких собственно редкоземельных минералов, как монацит, ксенотим и ортит, по-видимому, объясняет уменьшение суммы РЗЭ в амфиболах и слюдах пегматитов по сравнению с породами основных фаз.

### СКАНДИЙ

Породы основного состава обогащены скандием (24 г/т) по отношению ко всем остальным типам (как ультраосновным, так и кислым магматическим и осадочным породам), которые характеризуются близкими и более низкими содержаниями этого элемента. Для щелочных пород кларк скандия не рассчитывался. Среди ПТМ щелочных пород, если считать их кларк равным кларку базитов, пироксены и амфиболы концентрируют скандий.

Намечается следующий ряд концентрации скандия в ПТМ: слюда < амфибол < пироксен.

Дифференциация пироксенов щелочных пород различных формационных типов в зависимости от содержания скандия проявлена слабо. Можно говорить лишь о слабовыраженной тенденции обогащения скандием пород глубинных формаций.

Малочисленные данные по распределению скандия в пироксенах щелочных магматических серий носят противоречивый характер.

## ЦИРКОНИЙ

В ряду магматических пород цирконий накапливается в гранитоидах. Содержание циркония в осадочных породах равно его содержанию в гранитоидах, и поэтому он может быть отнесен к числу типично "коровых" элементов. В распределении циркония в щелочных породах никакой закономерности не наблюдается. Пироксены существенно концентрируют цирконий ( $K_K = 5-10$ ), амфиболы также в большинстве случаев концентрируют этот элемент ( $K_K = 3-4$ ), а вот содержание циркония в слюдах всегда ниже кларка.

Рассмотрение распределения циркония в ПТМ щелочных пород различных генетических типов, также как и анализ кларков, не выявило никакой закономерности.

В пределах одного многофазного массива цирконий обычно накапливается в ПТМ поздних фаз. Так, например, в массиве Магнет-Ков пироксены ийолитов содержат 30 г/т окиси циркония, пироксены нефелиновых сиенитов 600 г/т, а карбонатизированных пород 2000 г/т. Аналогичная картина наблюдается и для Бердяшского массива, где амфиболы гранитов (I фаза) содержат 590 г/т окиси циркония, в то время как амфиболы нефелиновых сиенитов (поздняя фаза) 2600 г/т. В массиве Итапирипуа пироксены ранних мельтейгитов содержат 760 г/т окиси циркония, пироксены более поздних нефелиновых сиенитов — 1707 г/т, а поздних мариуполитов — 2400 г/т окиси циркония.

Для Ловозерского массива наблюдается обратная закономерность: пироксены ранних пойкилитовых нефелиновых сиенитов содержат 7600 г/т окиси циркония, пироксены дифференцированного комплекса (основная фаза) — 7033 г, а пироксены поздних эвдиалитовых луявритов — только 5200 г/т. Это явление может, на наш взгляд, быть объяснено нахождением пироксенов в парагенезисе с эвдиалитом. По мере уменьшения температуры расплава и увеличения в нем количества циркония образуется самостоятельная циркониевая фаза и уменьшается примесь циркония в пироксенах. В распределении циркония между ПТМ одного ритма дифференцированного комплекса Ловозерского массива не установлено закономерности, пироксены наиболее меланократовых пород ритма — ийолит-уртитов содержат 7800 г/т окиси циркония, мезократовых луявритов 5700 г/т, а лейкократовых фойяитов 7600 г/т.

## НИОБИЙ, ТАНТАЛ

Характер распределения ниобия в магматических породах нормального ряда недостаточно ясен. Согласно данным А.П. Виноградова [29], все главные типы магматических пород, а также осадочные породы характеризуются одинаковым содержанием ниобия (20 г/т). Лишь для ультраосновных пород отмечается резко пониженное содержание этого элемента.

Для тантала, несмотря на его более низкий кларк, напротив, наблюдается закономерное обогащение в приповерхностных гранитоидных и осадочных породах.

Щелочные породы по сравнению с породами нормального ряда резко обогащены и танталом и ниобием (100 г/т, 8 г/т). Содержания рассматриваемых элементов уменьшаются от пород щелочной ультраосновной форма-

Таблица 85

Баланс распределения ниобия и тантала в биотитовом нефелиновом сиените (Туркестан-Алайская провинция) [71]

Порода, минерал	Содержание минерала в породе, %	Содержание пятиокиси, %		Количество пятиокиси, приходящейся на каждый минерал, %
		в минерале (породе)	в породе за счет минерала	
		$Nb_2O_5$		
Порода	—	0,006	—	—
Биотит	9,8	0,049	0,0048	80,0
Циркон	0,04	0,45	0,00018	3,0
Пироклор	0,0002	41,75	0,00008	1,3
Магнетит	0,0610	0,2	0,00012	2,0
Сфен	0,010	1,18	0,00012	2,0
Ильменит	0,00008	0,048	0,00000007	—
		$Ta_2O_5$		
Порода	—	0,001	—	—
Биотит	9,8	0,009	0,00088	88,0
Пироклор	0,0002	7,25	0,00001	1,0
Циркон	0,04	0,05	0,00002	2,0
Ильменит	0,00008	0,013	—	—
Сфен	0,010	0,05	0,000005	—

ции к породам щелочно-гранитоидной формации. Это позволяет рассматривать тантал и ниобий как глубинные элементы, что находится в противоречии с тенденцией распределения тантала в породах нормального ряда.

Амфиболы и слюды всех типов пород значительно концентрируют и ниобий и тантал. Коэффициент концентрации ниобия для слюд обычно равен 4, в отдельных типах пород достигая 7, а для амфиболов в среднем он равен 3. Содержание ниобия и тантала в пироксенах обычно находится на уровне кларка породы.

Ниобий всегда преимущественно накапливается в слюдах, менее всего — в пироксенах, а амфиболы занимают промежуточное положение. Для тантала эта закономерность менее проявлена. Ранее делались попытки объяснить распределение ниобия в ПТМ на основе его изоморфизма с титаном. Однако прямой корреляции содержаний ниобия и титана в ПТМ не существует. Наиболее титановые амфиболы — керсутиты, например, характеризуются крайне низкими содержаниями ниобия.

Содержание ниобия в ПТМ, что особенно хорошо проявлено в слюдах, увеличивается от пород ультраосновной щелочной формации к породам щелочно-гранитоидной формации, что соответствует тенденции кларков для пород нормального ряда и противоположно тенденции кларков пород щелочного ряда (табл. 80, 81). Вероятно, основная масса ниобия в щелочных породах глубинных формаций связана не с ПТМ, а с другими минералами-носителями, такими, как перовскит, лопарит, ильменит, сфен и т.д.

Анализ крайне малочисленных данных по распределению ниобия в щелочных породах показывает правильность этого предположения. Согласно

Таблица 86

Распределение пятиокси ниобия в минералах альбитизированных нефелиновых сиенитов Урала [55]

Минерал	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в минерале, %	Содержание минерала в породе, %	Количество Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , приходящееся на каждый минерал (%)
Содержание в породе	0,036	—	—
Биотит	0,05	4,41	5,22
Ильменит	1,95	0,73	33,87
Сфен	0,80	0,06	1,14
Циркон	0,02	0,10	0,04
Пироклор	62,83	0,04	59,73

данным Т.Н. Ифантопуло [74], табл. 85, в нефелиновых сиенитах Туркестан-Алайской щелочно-гранитоидной провинции 80% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 88% Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> связано с биотитом. Эти данные близки данным, полученным Е.В. Знаменским для гранитов [67]. Им было показано, что в монацитоносных гранитоидах 60–86% ниобия и 50–72% тантала заключено в биотите.

В породах ультраосновной щелочной формации Кольской полуострова только 5% ниобия связано с пироксеном, а 91% — с перовскитом. Аналогичная картина наблюдается для нефелиновых сиенитов калиевой щелочно-базальтоидной формации, где 95% ниобия и тантала заключено в лопарите и лишь — 2% в пироксене.

Интересны данные Т.Н. Ифантопуло по изменению характера распределения ниобия и тантала при альбитизации. Если в щелочных сиенитах Матчинского массива с биотитом связано 67% ниобия, то в их альбитизированных разностях только 2%. При этом уменьшение роли биотита в балансе происходит не столько за счет изменения содержания биотита в породе, сколько за счет уменьшения в биотите количества пятиокси ниобия с 0,12 до 0,0004% (табл. 86).

Отношение Nb/Ta в ПТМ варьирует сравнительно в узких пределах — от 2,5 до 15 и не обнаруживает четкой направленности изменения в породах ни нормального, ни щелочного ряда. Можно лишь отметить слабопроявленную тенденцию увеличения этого отношения от пироксенов через амфиболы к слюдам, а также в общем более низкое Nb/Ta отношение в темноцветных минералах по сравнению с породами. Определенного внимания заслуживает резко пониженное Nb/Ta отношение в породах и минералах щелочно-габброидной формации.

Отмеченные закономерности позволяют прийти к ряду выводов, которые однако носят предварительный характер и должны быть подтверждены новым аналитическим материалом. Существенное рассеяние ниобия и тантала в ПТМ является важной чертой геохимии этих элементов, препятствующей образованию скоплений ниобия и тантала в виде собственных рудных минералов. Разные уровни предельных концентраций этих элементов в разных породообразующих темноцветных минералах приводит к тому, что при замещении одних ПТМ другими либо поглощается, либо

высвобождается значительная масса ниобия и тантала. При разнице Nb/Ta отношения в породообразующих минералах могут также изменяться и величины этого отношения в метасоматизирующих растворах при замещении одних минералов другими.

Ограниченной емкостью в отношении ниобия и тантала пироксенов ультраосновных щелочных пород можно, по-видимому, объяснить преимущественное вхождение этих элементов в указанных породах в перовскиты. Существенная же емкость слюд в отношении ниобия и тантала объясняет отсутствие в богатых слюдами породах ниобиевых минералов [92].

В ходе магматической дифференциации ниобий и тантал все более накапливаются в ПТМ. В постмагматическую стадию часто происходит образование собственных минералов ниобия и тантала, а содержание этих элементов в ПТМ падает.

Магнезиально-железистые слюды, являющиеся одной из наиболее широко распространенных групп ПТМ щелочных пород и характеризующиеся к тому же высокой степенью концентрации ниобия и тантала, могут быть использованы в качестве индикаторов при выделении щелочных комплексов с повышенной концентрацией этих элементов. Эти минералы могут быть использованы при минералого-геохимическом картировании щелочных комплексов с целью повышения контрастности аномалий.

## ЦИНК

В ряду магматических пород нормальной щелочности цинк накапливается в базитах, т.е. относится к числу "глубинных" элементов. Никакой закономерности распределения цинка в щелочных породах различных формаций не наблюдается.

Все ПТМ щелочных пород концентрируют цинк. Максимальный коэффициент концентрации ( $K_k = 20$ ) отмечается для слюд щелочно-гранитоидной формации. Наблюдается достаточно четкая картина распределения этого элемента между ПТМ. Наиболее обогащены им слюды и амфиболы, причем в большинстве случаев содержание цинка в слюдах выше, чем в амфиболах. Пироксены резко обеднены цинком по сравнению со слюдами и амфиболами, но они тоже концентрируют цинк ( $K_k = 1,5-6$ ).

Содержания цинка в ПТМ закономерно увеличиваются от пород глубинных формаций к породам щелочно-гранитоидной формации и достигают максимума в щелочных гранитах, т.е. в данном случае для щелочных пород наблюдается тенденция, обратная тенденции для пород нормального ряда.

В магматических сериях цинк накапливается в амфиболах более поздних фаз. Это можно проиллюстрировать на примере Бердяшского массива, где содержание окиси цинка в амфиболах гранитов (рапакиви) (1 фаза) равно 270 г/т, а в амфиболах нефелиновых сиенитов (поздняя фаза) — 470 г/т. Аналогичная картина отмечается для щелочно-гранитоидного комплекса Нигерии [118], где ранние амфиболы содержат 1500 г/т окиси цинка, а поздние — 9300 г/т.

Высокая концентрация цинка в слюдах и амфиболах щелочных пород позволяет не только использовать его в качестве индикатора, но и может представлять определенный практический интерес. Амфиболы таких мас-

Таблица 87

Содержание рассеянных элементов в ПТМ щелочных пород

Массив, порода, минерал	Zn	Pb	Sn	V	Cr	Ni	Co	Cu	Источник
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Сахарюкский массив</i>									[11, 12]
Нефелиновые сиениты									
амфибол	1000	—	—	—	—	—	—	—	
слюда	2500	30	20	70	—	—	—	100	
Сиениты									
амфибол	1500	—	—	—	—	—	—	—	
<i>Кургинский массив</i>									[68]
Щелочные сиениты									
амфибол	—	—	—	500	—	20	10	20	
<i>Хибинский массив</i>									[71, 81, 34, 65, 118]
Нефелиновые сиениты									
пироксен	—	—	—	900	—	35	—	15	
амфибол	—	—	—	2100	—	—	—	—	
<i>Ловозерский массив</i>									[23, 18, 27, 40, 11, 114], данные автора
Нефелиновые сиениты									
пироксен	150	10	10	140	25	10	54	17	
амфибол	400	3	—	114	26	5	8	11	
Ийолит-уртиты									
пироксен	—	—	—	800	—	—	—	—	
амфибол	—	—	—	300	—	—	—	—	
слюда	—	—	—	—	—	2000	—	—	
Луявриты									
пироксен	—	—	—	2400	—	—	—	—	
Эвдиалитовые луювриты									
пироксен	—	—	—	300	—	—	—	—	

Таблица 87 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Вишневогорский массив</i>									[87, 46, 50, 51, 56], данные автора
Нефелиновые сиениты (пегматоидные)									
пироксен	—	—	—	800	—	—	—	—	
амфибол	—	—	—	100	300	300	20	1	
Альбитизированные нефели- новые сиениты									
слюда	250	—	—	—	—	—	—	—	
Карбонатиты (ранние)									
слюда	209	—	—	—	—	—	—	—	
Карбонатиты (поздние)									
слюда	650	—	—	—	—	—	—	—	
<i>Бердяушский массив</i>									Данные автора и А.А. Ганзеева
Граниты (рапакивы)									
амфибол	270	50	26	230	230	35	150	—	
Щелочные сиениты									
амфибол	370	40	26	35	22	16	50	—	
Нефелиновые сиениты									
амфибол	470	40	34	28	32	15	52	—	
<i>Массив Дара-Пиоз</i>									Данные автора, В.В. Дуематова и А.А. Ганзеева
Щелочные сиениты									
пироксен	—	—	500	—	—	—	—	—	
амфибол	—	—	100	—	—	—	—	—	
слюда	—	—	300	—	—	—	—	—	
<i>Массив Тутек-Деонасу</i>									Данные автора
Нефелиновые сиениты (пегматоидные)									
амфибол	—	—	—	10	15	3	10	20	
слюда	—	—	—	10	—	—	10	2	
<i>Ходжаачкан-Джилисуй- ский массив</i>									То же
Нефелиновые сиениты									
пироксен	—	—	40	70	—	—	—	—	[69]
<i>Массив Тозбулак</i>									Данные автора
Нефелиновые сиениты									
амфибол	—	500	30	—	—	—	—	—	
<i>Массив Кзыл-Омпул</i>									Данные автора
Нефелиновые сиениты									
слюда	—	—	—	200	Не обн.	10	30	30	[62, 63, 19]
<i>Сандыкский массив</i>									Данные автора и Е.Д. Осокина
Нефелиновые сиениты	50	43	—	—	—	—	—	—	
пироксен	104	7	—	—	—	—	—	—	
амфибол	440	6	—	—	—	—	—	—	
слюда	220	2	—	—	—	—	—	—	
<i>Суртекинский массив</i>									Данные автора, [1]
Нефелиновые сиениты									
слюда	1000	300	10	—	—	—	—	—	
<i>Массив Ири-Су</i>									Данные автора, [1]
Нефелиновые сиениты									
амфибол	—	4000	—	—	—	—	—	—	
Щелочные габброиды									
пироксен	—	—	—	150	—	50	—	—	
слюда	—	—	—	—	100	—	6	—	[5, 6], данные автора
<i>Кузнецкий Алатау</i>									Данные автора
Щелочные габброиды									
пироксен	500	100	50	—	—	—	—	—	
амфибол	500	30	50	—	—	—	—	—	
слюда	600	20	50	—	—	—	—	—	
слюда	400	250	40	—	—	—	—	—	
<i>Массив горы Дедовой</i>									Данные автора
Нефелиновые сиениты									
амфибол	600	1000	100	10	—	—	10	10	

Таблица 87 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Заангарский массив</i>									[127]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	500	500	60	—	—	—	—	—	
амфибол	1600	500	100	—	—	—	—	—	
слюда	4100	1000	—	—	—	—	—	—	
<i>Массив Енисейского кряжа</i>									[108]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	—	50	20	—	—	—	
амфибол	—	—	—	—	—	80	—	—	
<i>Саянский массив</i>									[29, 30, 100]
<i>Карбонаты</i>									
амфибол	—	—	—	800	4400	1500	—	—	
<i>Северо-Восточная Тува</i>									[70]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	300	—	—	—	—	—	
амфибол	—	—	379	—	—	—	—	—	
<i>Массив Каргередаба</i>									[124]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
амфибол	—	n · 100	—	—	—	—	—	—	
слюда	1000	n · 100	—	—	—	—	—	—	
<i>Массив Улан-Эрге</i>									Данные В.И. Коркина
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	100	—	—	—	—	—	
<i>Бурналинский массив</i>									Данные автора и
<i>Щелочные сиениты</i>									
пироксен	—	—	—	1000	Не обн.	3	20	27	А.А. Ганзеева [4]
амфибол	—	800	100	100	10	3	10	2	
слюда	300	100	—	300	Не обн.	10	30	1000	
<i>Сыннырский массив</i>									[119, 4]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
слюда	760	9	7	—	—	—	—	—	[3]
<i>Массив Даокша</i>									
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	35	—	—	—	—	—	
слюда	800	10	8	—	—	—	—	—	
<i>Массив Якша</i>									[3]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
слюда	800	15	—	—	—	—	—	—	
<i>Инаглинский массив</i>									Данные автора
<i>Щелочные сиениты (пегматоиды)</i>									
пироксен	—	1000	100	2500	8	60	3	3	
амфибол	—	—	200	300	10	100	50	15	
слюда	300	—	—	60	300	200	80	10	
<i>Кондерский массив</i>									Данные автора
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	—	1500	Не обн.	10	3	1	
<i>Кокшаровский массив</i>									[61]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	200	50	20	—	—	20	10	30	
амфибол	200	40	50	—	—	10	20	20	
<i>Массив Норра-Керр</i>									[126]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
амфибол	6300	—	—	—	—	—	—	—	
<i>Грабен Осло</i>									
<i>Экериты</i>									
амфибол	—	—	—	Следы	Не обн.	24	—	—	[129]
<i>Нордмаркиты</i>									
слюда	—	—	—	73	"	Не обн.	—	—	

Таблица 87 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Щелочные эффузивы рифтовых зон Восточной Африки</i>									
пироксен	—	—	—	191	1150	201	89	31	[14]
амфибол	—	—	—	210	135	15	19	14	
<i>Массив Оконджедж</i>									
<i>Габбро</i>									
пироксен	—	—	—	525	450	125	95	—	[167]
<i>Эссекситы</i>									
пироксен	—	—	—	300	90	30	65	—	
амфибол	—	—	—	300	—	10	30	—	
<i>Сиениты</i>									
пироксен	—	—	—	10	—	—	—	—	
<i>Кварцевые сиениты</i>									
амфибол	—	—	—	100	70	30	35	—	
<i>Массив Илимаусак</i>									
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	350	—	—	—	—	—	[115], данные автора и Е.И. Семенова
амфибол	5300	—	75	—	—	—	—	—	
<i>Массив Магнет-Ков</i>									
<i>Ийолиты</i>									
пироксен	—	—	Не обн.	700	100	20	20	20	[139]
слюда	—	—	—	150	—	605	50	20	
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	—	400	1000	—	—	10	—	
<i>Массив Итапирапуа</i>									
<i>Мельтейиты</i>									
пироксен	—	—	—	230	96	62	32	8	[145]
<i>Нефелиновые сиениты</i>									
пироксен	—	35	—	300	5	10	21	30	
<i>Мариуполиты</i>									
пироксен	—	—	—	44	2	4	8	32	[151]
<i>Австралия</i>									
<i>Щелочные базальты</i>									
амфибол	88	13	—	362	93	76	134	26	
<i>Япония</i>									
<i>Трахиандезиты</i>									
пироксен	—	—	—	10300	—	—	—	—	
<i>Щелочные граниты</i>									
<i>Кольский полуостров</i>									
пироксен	500	—	—	—	—	—	—	—	[13, 14]
амфибол	1000	—	—	—	—	—	—	—	
слюда	2300	100	80	40	Следы	5	8	30	Данные автора
<i>Кентский массив</i>									
амфибол	3000	30	600	—	—	—	—	—	
<i>Забайкалье</i>									
амфибол	1700	—	—	—	—	—	—	—	
<i>Джугджур</i>									
амфибол	3000	100	200	—	—	—	—	—	[35], данные автора
<i>Нигерия</i>									
амфибол (ранние)	1500	—	—	—	—	5	—	10	[149]
амфибол (поздние)	5300	400	—	—	—	—	—	—	
амфибол из альбититов	9300	2800	—	—	—	—	—	—	

сивов, как Норра-Керр, Швеция — 0,63% ZnO [142], Илимаусак, Гренландия — 0,53% ZnO [130], Плато Джос, Нигерия — 0,93% ZnO [129], содержат настолько большое количество цинка, что при современном уровне технологии его попутное извлечение может быть рентабельным. Полупромышленное извлечение цинка из амфиболов Илимаусака началось уже несколько лет тому назад.

Анализ данных выше приведенной таблицы показывает, что и в нашей стране имеются массивы щелочных гранитов и нефелиновых сиенитов щелочно-гранитоидной формации, слюды которых характеризуются высокими содержаниями цинка (щелочные граниты и нефелиновые сиениты Кольского полуострова [14] — 0,25% ZnO, нефелиновые сиениты Заангарского массива [127] — 0,41% ZnO). Необходимо провести опробование слюд всех массивов щелочных гранитов и нефелиновых сиенитов щелочно-гранитоидной формации, особенно в зоне действия горно-обогатительных предприятий с целью выявления слюд обогащенных цинком.

### СВИНЕЦ

Свинец в отличие от цинка является типично "коровым элементом". Он накапливается в приповерхностных гранитоидных и осадочных породах. Его количество уменьшается по мере увеличения основности пород. Аналогичная картина наблюдается и для щелочных пород различных формационных типов.

В ПТМ щелочных пород иногда существенно концентрируется свинец. Например, для амфиболов щелочных гранитов Нигерии  $K_k = 60$ , слюд Заангарского массива  $K_k = 30$ , амфиболов нефелиновых сиенитов массива Ири-Су  $K_k = 400$ . Но обычно в ПТМ концентрации свинца ниже ( $K_k = 2-5$ ). Намечается тенденция обогащения свинцом ПТМ приповерхностных формаций щелочных пород, что согласуется с общей тенденцией кларков, однако количество аналитических данных явно недостаточно для обоснованных выводов.

Если исходить из общегеохимической предпосылки об изоморфных взаимоотношениях свинца с калием, то наиболее обогащены этим элементом должны быть слюды, но имеющиеся данные противоречивы.

### ОЛОВО

Олово является типичным элементом приповерхностных магматических формаций, накапливаясь преимущественно в гранитоидных комплексах. Максимальное содержание олова характерно для осадочных пород. В ряду щелочных пород олово также накапливается преимущественно в породах приповерхностной щелочно-гранитоидной формации.

В породобразующих темноцветных минералах щелочных пород олово концентрируется в значительной степени. Так, амфиболы щелочных гранитов имеют  $K_k = 75$ . В большинстве случаев коэффициент концентрации равен 10. Можно констатировать преимущественное накопление олова в пироксенах и амфиболах по сравнению со слюдами, а из пары пироксен—амфибол — чаще всего в амфиболах. Из ПТМ щелочных пород наиболее обогащены оловом минералы щелочных гранитов, затем нефелиновых

сиенитов щелочно-гранитоидной формации, наиболее обеднены оловом минералы глубинных формаций, что находится в соответствии с тенденцией изменения кларков.

К сожалению, имеющегося материала явно недостаточно для установления более строгих генетических закономерностей.

Изучение поминеральных балансов щелочных гранитов Северо-Восточной Тувы [75] показало, что с ПТМ связано 85–100% олова, причем при совместном нахождении эгирина и рибекита в породе основная масса олова связана с эгирином.

## ВАНАДИЙ

Из магматических пород ванадий преимущественно накапливается в габброидах, почти столь же велико его содержание в осадочных породах, поэтому довольно трудно отнести его к коровым или глубинным элементам. Для пород щелочного ряда наблюдается более четкая картина распределения этого элемента. Наиболее обогащены им породы глубинных формаций (ультраосновной-щелочной и калиевой щелочно-базальтоидной). В направлении щелочно-гранитоидной формации его содержание уменьшается, достигая минимума в щелочных гранитах.

Пироксены и амфиболы щелочных пород в значительной степени концентрируют ванадий ( $K_k = 10$ ). Количество ванадия в слюдах обычно находится на уровне кларков. В паре пироксен – амфибол содержания ванадия приблизительно одинаковы.

Так же как и для щелочных пород, для ПТМ из этих пород отмечается закономерное уменьшение содержаний ванадия от пород ультраосновной-щелочной формации к породам щелочно-гранитоидной формации.

На примере Бердяшского массива и массива Итапирапуа [171] можно проследить изменение содержания ванадия в ПТМ от ранних фаз к поздним. В Бердяшском массиве количество этого элемента в амфиболах гранитов (I фаза) равно 230 г/т, а в нефелиновых сиенитах (поздняя фаза) – 28 г/т. В поздних мариуполитах массива Итапирапуа количество ванадия почти на порядок ниже, чем в ранних мельтейгитах.

## ХРОМ, КОБАЛЬТ, НИКЕЛЬ

Эти элементы имеют одинаковые тенденции распределения в магматических породах. Ими наиболее обогащены глубинные ультрабазиты, и их количество уменьшается в сторону "коровых" гранитоидов. Аналогичная тенденция имеет место и в случае щелочных пород, где количество этих элементов уменьшается от глубинной карбонатитоносной ультраосновной-щелочной формации к щелочно-гранитоидной формации.

В ПТМ концентрируются все три элемента. Для пироксенов калиевой щелочно-базальтоидной формации  $K_k$  хрома-15, никеля-5, кобальта-15. Однако количество анализов явно недостаточно для того, чтобы вывести какие-либо закономерности. Лишь для хрома в соответствии с тенденцией изменения кларков намечается обогащение ПТМ глубинных щелочных формаций. Характер распределения этих элементов между ПТМ остается неясным. В отдельных магматических сериях (например в Бердяшском массиве и массиве Итапирапуа) происходит обеднение ПТМ указанными элементами в заключительных фазах.

## МЕДЬ

Характер распределения меди в магматических породах нормального ряда недостаточно ясен. Максимальным его содержанием характеризуются габброиды, но общей направленной тенденции обогащения глубинных или близповерхностных формаций не наблюдается.

Для щелочных пород, напротив, отмечается отчетливое уменьшение содержания меди от пород глубинных формаций к породам "коровых" формаций. Содержания меди в ПТМ, как правило, ниже кларковых значений, и характер ее распределения в ПТМ нечеткий.

## БЕРИЛЛИЙ

Среди магматических пород наиболее обогащены бериллием гранитоиды. По мере увеличения основности пород количество бериллия в них постепенно уменьшается. Для пород щелочного ряда проявлена та же закономерность, но выражена она менее отчетливо.

Содержания бериллия в ПТМ обычно низкие, находятся на пределе чувствительности метода его определения и на уровне кларка этого элемента в породах. Не наблюдается обогащения бериллием ПТМ щелочных пород какой-либо определенной формации; только амфиболы щелочных гранитов отличаются устойчиво относительно повышенным содержанием бериллия.

Среди ПТМ наиболее обогащены бериллием амфиболы. Иногда, как в случае щелочных гранитов Северо-Восточной Тувы, они концентрируют этот элемент по сравнению с кларком ( $K_k = 3$ ).

В магматических сериях в пределах одного массива бериллий накапливается в ПТМ поздних фаз. Так, например, в массиве Магнет-Ков [161] содержание бериллия в пироксенах увеличивается от 4 г/т в пироксенах ийолитов через 10 г/т в пироксенах нефелиновых сиенитов до 40 г/т в пироксенах карбонатизированных пород. В Бердяушском массиве содержание бериллия увеличивается от 10 г/т в амфиболах гранитов I фазы до 20 г/т в амфиболах нефелиновых сиенитов.

В Северо-Восточной Туве содержание этого элемента также растет от 13 г/т в амфиболах сиенитов I и II фаз до 40 г/т в амфиболах щелочных гранитов III фазы.

Анализ распределения бериллия по минералам щелочных гранитов Северо-Восточной Тувы показывает, что этот элемент преимущественно связан с микроклином (45–68%). Рибекит является следующим после микроклина его носителем (23–40%).

## ГАЛЛИЙ

Максимальное количество галлия отмечается для осадочных пород (30 г/т), минимальное — для ультраосновных пород (2 г/т). Остальные типы пород содержат около 20 г/т галлия. Таким образом, для этого элемента намечается "коровая" тенденция.

Щелочные породы содержат наибольшее количество галлия (31 г/т). Количество этого элемента увеличивается от пород глубинных формаций

к породам щелочно-гранитоидной формации, что соответствует характеру его распределения в породах нормального ряда.

Среди ПТМ галлий преимущественно накапливается в слюдах, для которых обычно  $K_K = 3$ . Иногда он в незначительной степени концентрируется в амфиболах. Содержания галлия в пироксенах обычно ниже кларковых.

Содержания галлия в слюдах закономерно увеличиваются от пород щелочно-ультраосновной формации к породам щелочно-гранитоидной формации, отражая общую кларковую тенденцию.

В ходе эволюции магматических очагов галлий накапливается в ПТМ поздних фаз и стадий, что можно продемонстрировать на примере Сандыкского массива [21], где слюды щелочноземельных сиенитов I фазы содержат 30 г/т галлия, нефелиновых сиенитов III фазы 65 г/т, а щелочных сиенитов III фазы 71 г/т. Аналогичная закономерность наблюдается и для пироксенов массива Итапирапуа, где пироксены мельтейгитов (I фаза) содержат 16 г/т, нефелиновых сиенитов (II фаза) 30 г/т, а мариуполитов 38 г/т.

Общепринятым считается, что основой распределения галлия является его изоморфизм с алюминием. В то же время преимущественная концентрация этого элемента в сравнительно малоалюминиевых ПТМ по сравнению с нефелинами заставляет предполагать наличие каких-то иных факторов, влияющих на распределение галлия.

#### БОР

Бор является типичным "коровым" элементом. Его концентрация достигает максимума в осадочных породах, а из магматических пород — в гранитоидах. Для пород щелочного ряда также наблюдается накопление бора в породах щелочно-гранитоидной формации.

Существующие методы определения бора не обладают достаточной чувствительностью. Из нескольких десятков определений этого элемента в ПТМ щелочных пород были получены лишь приведенные в табл. 78 значащие цифры, которые показывают, что наиболее обогащены бором ПТМ нефелиновых сиенитов щелочно-гранитоидной формации и щелочных гранитов.

#### ФТОР

Среди главных типов пород земной коры наиболее обогащены фтором гранитоиды (800 г/т). Нефелиновые сиениты, по данным В.И. Герасимовского [37], характеризуются еще более высоким содержанием этого элемента (1200 г/т), при этом наиболее обогащены фтором "агпаитовые" нефелиновые сиениты (2400 г/т), а "миаскитовые" по сравнению с ними существенно обеднены (1100 г/т).

Из ПТМ концентрируют фтор амфиболы и слюды. Четкой закономерности преимущественного обогащения фтором амфиболов или слюд установить не удалось. В считающихся парагенными ассоциациями приблизительно в 50% случаев фтор накапливается преимущественно в амфиболах, а в остальных 50% — в слюдах.

В многофазных массивах наблюдается закономерное обогащение фтором амфиболов и слюд поздних фаз (Африканда, Ковдор, Вуориярви,

Арбарастах, Айрон-Хилл, Магнет-Ков, Елетьозерский, Дара-Пиоз, Шахи-Сафед, Собах, Суртеке, Дежневский, Саянский, Заангарский). Наблюдается вынос фтора на переднем фронте щелочного процесса в контактово-измененные вмещающие породы. Аналогичное явление можно наблюдать иногда и у поздних фаз, формирующихся внутри массивов — так, например, слюда флогопит-апатит-форстеритовых пород, развивающихся на переднем фронте карбонатитов (Ковдор), богаче фтором, чем слюды этих карбонатитов.

Слюды и амфиболы щелочных сиенитов обычно богаче фтором, чем слюды и амфиболы нефелиновых сиенитов. Так как многие щелочные сиениты представляют собой краевые фации нефелиновых сиенитов, то это явление мы также можем рассматривать как вынос фтора на передний фронт щелочного процесса.

Наиболее обогащены фтором амфиболы и слюды поздних фаз сложно-дифференцированных щелочных массивов, как правило несущих редко-металльную минерализацию, что позволяет использовать содержание фтора в амфиболах и слюдах в качестве одного из критериев при предварительной оценке потенциальной рудоносности щелочных комплексов. Впервые для амфиболов это было показано Е.И. Семеновым и подтверждено на более представительном материале нашими исследователями.

Подводя итоги анализа распределения редких и рассеянных элементов в ПТМ, можно констатировать, что подавляющее большинство из них (кроме стронция и редкоземельных элементов) в той или иной степени концентрируются в том или ином темноцветном минерале. Содержания этих элементов в ПТМ существенно меняются в зависимости от генетической природы темноцветных минералов.

Учитывая это, можно уверенно утверждать, что содержания редких и рассеянных элементов в ПТМ являются надежными индикаторами процесса минералообразования существенно более чувствыми, чем их содержания в породах.

Существует две группы элементов, распределение которых в ПТМ принципиально различно: Zr, Sc, TR, Sr, V, Sn — накапливающиеся преимущественно в пироксенах, в меньшей степени — в амфиболах и в еще меньшей степени — в слюдах и Rb, Cs, Ba, Li, Ti, Nb, Ta, Ga — накапливающиеся в основном в слюдах, в меньшей степени — в амфиболах и в незначительной степени — в пироксенах. Mn, Be и иногда Li концентрируются преимущественно в амфиболах. Из этих групп элементов наиболее концентрируются: в пироксенах — V, Zr, Sc, в слюдах — Rb, Zn, Pb, Cs, Li, в амфиболах — Li, Cs, Be, Zn, Pb, Sc, V. Указанные элементы в данных минералах могут рассматриваться как наиболее благоприятные для использования в качестве индикаторов.

В ходе дифференциации магматических очагов от ранних дифференциатов к поздним в ПТМ увеличиваются содержания Li, Rb, Cs, TR, Be, Nb, Zr, Ta, Zn, Pb, Ga, B, F; уменьшаются — Ti, Sr, Ba, Sc, V, Cr, Ni, Co, Cu.

Для формационного расчленения щелочных пород наряду с удельной магниальностью могут быть успешно использованы индикаторные отношения: Li/Rb в слюдах и Nd/La в пироксенах, а также содержания Ba в слюдах и Sr в пироксенах.

## ЭВОЛЮЦИЯ СОСТАВОВ ПИРОКСЕНОВ, АМФИБОЛОВ И СЛЮД В ЩЕЛОЧНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Щелочные породы редко образуют изолированные массивы без пространственной связи с магматическими телами пород нормального ряда (ультрабазитов, габброидов, гранитоидов). В большинстве случаев они являются частью более или менее сложных магматических комплексов.

В данной главе рассматриваются закономерности изменения составов ПТМ в магматических сериях, содержащих щелочные породы. Автор отдает себе отчет в том, что далеко не во всех случаях пространственно совмещенные в пределах одного массива интрузивные породы являются последовательно генерируемыми фазами одного магматического очага. Такое пространственное совмещение часто объясняется наличием долгоживущих тектонических нарушений, которые контролируют внедрение магм из различных структурных этажей в различные геологические эпохи. В то же время многие магматические комплексы, содержащие щелочные породы, представляют собой закономерные серии, начинающиеся с меланократовых пород более основного состава (пироксениты, габбро, диориты) и завершающиеся лейкократовыми породами щелочного состава (нефелиновые сиениты, щелочные граниты).

Эволюция составов породообразующих минералов может быть прослежена различными методами [18]. Наиболее доступный метод — сопоставление составов минералов, выделенных из последовательно формирующихся пород единого массива. Последовательность формирования пород обычно определяется по геологическим данным, т.е. по наблюдаемым пересечениям одной породы другой, наличию ксенолитов или реликтов одной породы в другой. Этот метод имеет то преимущество, что обычно позволяет выделить достаточное для химического анализа количество минерала. В то же время он имеет существенный недостаток, заключающийся в невозможности достоверного суждения о единстве магматического очага генерирующего все последовательные фазы.

Другим методом выявления эволюционной направленности химизма породообразующих минералов является сопоставление их составов во вкрапленниках и основной массе. Этот способ исключает неоднозначность геологических возрастных интерпретаций, но является, несомненно, более трудоемким, охватывает меньший отрезок эволюционного развития магматического очага и может быть применен только к излившимся или гипабиссальным породам.

И, наконец, третий метод предусматривает прослеживание изменений составов породообразующих минералов в процессе роста их кристаллов (например исследование составов зональных кристаллов). Этот метод до недавнего времени практически не мог быть применен, так как выделение отдельных зон кристалла на химический анализ было невозможно, за исключением редких случаев нахождения крупных зональных кристаллов, преимущественно в пегматоидных породах. В то же время метод применялся в своей приближенной модификации, когда по оптическим свойствам различных зон кристалла делались предположения об эволюции

химического состава кристалла в процессе его роста. В настоящее время показано, что такая интерпретация не является однозначной.

Появление электронных микроанализаторов позволило поставить третий метод на реальную основу. Этот метод обладает рядом преимуществ по сравнению с первым методом, так как позволяет судить не об усредненном составе минерала в породе, а об эволюции его состава в процессе роста кристалла, в процессе становления породы. В качестве примеров применения этого метода для изучения эволюции составов пироксенов щелочных пород можно привести работу А.Н. Полякова и И.Д. Шевалеевского, посвященную пироксенам щелочных эффузивов рифтовых зон Восточной Африки [16], Стефенсона по химизму пироксенов одного из комплексов щелочного массива Игалико (Южная Гренландия) [26], Фергюссона по пироксенам и амфиболам ряда щелочных массивов [164] и др.

Стефенсоном установлено, что состав пироксенов в различных последовательно внедрившихся фазах меняется в различных пределах. В массиве Игалико наиболее значительно меняется состав пироксенов ранней щелочной магматической фазы (фойяитов), в то время как пироксены поздних субщелочных фаз — авгитовых сиенитов и эссекситов — имеют почти постоянный состав.

Настоящая работа базируется в основном на результатах химических анализов порообразующих темноцветных минералов, выделенных из последовательно формирующихся пород, так как данные, полученные на основе третьего метода, имеются пока только для ограниченного количества объектов.

Рассмотрение эволюционных тенденций ПТМ в магматических комплексах, содержащих нефелиновые сиениты, по-видимому, целесообразно начать с анализа особенностей усредненного химического состава этих минералов в главных типах магматических пород (ультрабазитах, габброидах, гранитоидах и нефелиновых сиенитах). В табл. 88 приводятся вычисленные нами средние составы пироксенов, амфиболов и магнезиально-железистых слюд для главных типов пород. Сопоставление полученных средних составов с данными Н.П. Чирвинского [137], а также со средними составами амфиболов, по Е.А. Костюк [88], и пироксенов, по Н.А. Добрецову [50], показало достаточно хорошую сходимость результатов в отношении основной массы химических компонентов.

Напомним основные закономерности, вытекающие из анализа кларков петрогенных элементов основных групп магматических пород [29, 44]. Типоморфными элементами гипербазитов являются магний и железо, пород габброидной группы — титан, марганец, алюминий и кальций, пород гранитоидной группы — кремний, нефелиновых сиенитов — щелочи и алюминий. Химические особенности валового состава пород могут не соответствовать особенностям средних составов ПТМ, так как минералогический состав различных пород различен, а распределение компонентов зависит во многом от сосуществующих минералов. Кроме того, кларки вычисляются в весовых процентах, что не соответствует количеству атомов элемента в породе и за счет этого количество легких элементов оказывается заниженным, а тяжелых — завышенным.

Рассмотрение средних составов ПТМ из четырех основных групп маг-

магматических пород (табл. 88, рис. 8) позволяет констатировать, что наиболее интенсивно в ряду гипербазиты — габброиды — гранитоиды — нефелиновые сиениты меняется количество магния, причем кривые содержаний магния во всех трех группах ПТМ являются однонаправленными и крутопадающими. Содержание магния в этих минералах меняется в соответствии с изменением его содержания в породах. Содержание магния уменьшается преимущественно за счет увеличения количества закисного железа. Количество окисного железа в ПТМ меняется незначительно во всех типах пород, кроме нефелиновых сиенитов.

Интересной особенностью поведения железа является рост его содержания в ПТМ параллельно с уменьшением валового содержания в породе. Количество железа, входящего в группу "X" пироксенов (ферросиллитовый компонент), имеет максимум в габброидах. Алюминий и титан в этом ряду пород также накапливаются преимущественно в ПТМ габброидов в соответствии с тенденцией их кларков. Марганец в ПТМ пород данного ряда накапливается в направлении от ультрабазитов к гранитоидам и нефелиновым сиенитам. Причем если для пород ультраосновного и основного составов эта тенденция параллельна тенденции кларков, то для кремнекислых и щелочных пород эти две тенденции направлены противоположно, т.е. марганец накапливается параллельно с железом.

Натрий интенсивно концентрируется в ПТМ гранитоидных пород ряда, причем его накопление происходит синхронно с тенденцией кларков и накоплением железа в этих группах минералов. Распределение калия в амфиболах и слюдах характеризуется четко выраженным одним минимумом в габброидах и двумя максимумами в ультрабазитах и нефелиновых сиенитах.

Впервые нами рассмотрены закономерности изменения суммы катионов группы X (щелочи + кальций) в амфиболах и слюдах. Установлено, что эта сумма закономерно увеличивается в рассматриваемом ряду пород. Изменение суммы катионов группы X для амфиболов обусловлено постепенным заполнением катионами позиции А, для слюд — постепенной ликвидацией дефицита катионов в группе X.

Суммируя изложенное, можно констатировать, что типоморфными элементами ПТМ гипербазитов являются магний, кремний и калий, габброидов — алюминий, титан и кальций, гранитоидов — кремний, железо, марганец, щелочи и фтор. Для ПТМ нефелиновых сиенитов типоморфны те же элементы, что и для гранитоидов (кроме кремния), но в этих породах они накапливаются еще в большей степени.

Если сопоставить типоморфные элементы магматических пород главных типов и ПТМ этих пород (табл. 89), то можно отметить, что для таких элементов, как Mg, Ti, Al, Ca, Si, Na, F, распределение в ПТМ соотносится с изменением кларков, а для железа, марганца и, в меньшей степени, калия и кремния такого соответствия не наблюдается.

Если представить ряд пород от гипербазитов до гранитоидов как общую магматическую серию, то в этой серии для составов ПТМ наиболее характерными изменениями будут увеличение удельной железистости (или уменьшение удельной магнезиальности  $M = Mg/(Mg + Fe^{2+})$ ), для амфиболов и слюд к тому же характерно увеличение марганцевистости, количества катионов в группе X и количества фтора.

Таблица 88

Средние составы ПТМ главных типов интрузивных пород

Компонент	Гипербазиты			Габброиды			
	пироксены		амфиболы	пироксены		амфиболы	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	53,02	53,02	43,21	50,39	50,00	44,88	44,80
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,23	2,24	0,51	0,90	2,66	1,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,78	2,60	10,20	3,95	3,44	10,83	10,94
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,62	0,52	6,32	1,73	2,60	4,85	2,93
FeO	2,06	2,43	7,22	9,20	8,00	10,19	9,73
MnO	0,10	0,14	0,19	0,19	0,22	0,16	0,20
MgO	17,19	17,43	15,82	15,15	14,00	12,87	13,80
CaO	19,89	22,63	9,84	17,82	20,00	12,18	11,72
Na <sub>2</sub> O	1,37	0,44	1,55	0,18	0,50	2,06	1,70
K <sub>2</sub> O	0,08	0,06	0,92	0,09	0,09	0,56	0,28
H <sub>2</sub> O	0,39	0,19	2,14	0,82	—	—	2,60
F	—	—	—	—	—	—	0,37
Si	1,94	1,89	6,30	1,89	1,87	6,39	6,49
Al <sup>IV</sup>	0,05	0,11	1,70	0,11	0,15	1,61	1,51
Ti	0,04	0,07	0,25	0,01	0,03	0,29	0,14
Al <sup>VI</sup>	0,07	0,03	0,06	0,07	0,02	0,20	0,36
Fe <sup>3+</sup>	0,07	0,05	0,69	0,05	0,07	0,53	0,32
Fe <sup>2+</sup>	0,06	0,09	0,88	0,29	0,25	1,21	1,20
Mn	—	—	0,02	0,01	0,01	0,03	—
Mg	0,89	0,91	3,44	0,85	0,79	2,74	2,98
Ca	0,82	0,89	1,54	0,71	0,80	1,86	1,82
Na	0,06	0,03	0,44	0,01	0,04	0,58	0,48
K	—	—	0,17	0,00	—	0,10	0,05
OH	—	—	2,06	0,20	—	—	1,83
F	—	—	—	—	—	—	0,17
	Мало- алюми- ниевый авгит (M94)	Мало- алюми- ниевый авгит (M91)	Чермаки- товая ро- говая об- манка		Мало- алюми- ниевый авгит (M76)		Чермаки- товая ро- говая об- манка

Примечание. Анализы 5, 7, 9, 12, 14, 16, 18, 20 — данные автора; анализы 4, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19 — по [137]; анализы 1, 2 — по [50].

Остановимся на эволюции составов пироксенов в реальных магматических комплексах — классических расслоенных интрузиях — Скергаардской и Бушвельдской [136].

Обе эти интрузии характеризуются стратифицированностью. Эволюция состава пироксенов в обеих интрузиях выражается в основном в увеличении количества закисного железа (от 0,1 до 1,1 атома на формульную единицу) за счет уменьшения количества магния. Количество щелочей, титана, окисного железа, марганца остаются практически постоянными.

Характерной чертой эволюции составов пироксенов является замещение

	Габброиды		Гранитоиды				
	слюды		пироксены	амфиболы		слюды	
	8	9	10	11	12	13	14
	34,62	36,15	51,91	47,99	42,00	35,58	36,80
	—	4,64	0,79	1,01	1,49	2,50	3,16
	15,55	15,55	1,63	6,27	9,56	16,10	14,26
	7,69	3,66	6,29	3,2	5,42	7,03	5,40
	12,13	16,87	6,77	11,23	18,47	14,11	19,41
	—	0,20	—	0,56	0,42	0,36	0,29
	11,25	10,34	11,22	14,18	7,13	10,20	7,62
	1,49	1,20	19,56	12,91	11,03	0,79	0,81
	1,28	0,46	1,83	1,90	1,34	1,44	0,00
	6,85	8,07	0,44	0,76	1,21	8,30	8,23
	3,51	2,53	0,01	1,25	1,63	3,60	2,51
	0,18	1,20	—	0,28	0,65	0,09	1,73
	5,65	5,60	1,95	6,64	6,43	5,70	5,86
	2,35	2,41	0,07	1,36	1,57	2,30	2,14
	—	0,54	0,02	0,29	0,17	0,23	0,38
	0,65	0,43	—	0,13	0,16	0,26	0,54
	0,94	0,43	0,18	0,61	0,62	1,67	0,65
	1,65	2,21	0,21	3,23	2,42	2,76	2,62
	—	—	—	—	—	0,24	—
	2,75	2,39	0,65	0,93	1,63	0,85	1,81
	0,27	0,20	0,79	1,65	1,81	0,16	0,14
	0,41	0,14	0,13	0,53	0,40	0,58	0,18
	1,43	1,59	0,02	0,33	0,24	1,57	1,61
	3,81	2,61	—	—	1,67	—	2,67
	0,11	0,59	—	—	0,31	—	0,87
		Титан- биотит	Малоалю- мининый авгит (M76)	Феррозе- дит	Феррочер- макитовая роговая об- манка	Лепидо- мелан	Аннит

кальция двухвалентным железом в группе X (ферросиллитовый компонент). Его количество возрастает от 0,11–0,14 в пироксенах ультрабазитов базальных слоев до 0,29–0,85 в пироксенах габбро и диоритов нижних диоритовых горизонтов и снова убывает до 0,12–0,14 в пироксенах диоритов верхних горизонтов. Необходимо обратить внимание на то, что экстремум содержания железа в группе X приходится в этих интрузиях на различные породы — габбро в Скергаардской и диориты в Бушвельдской. Заслуживает внимания также то обстоятельство, что количество железа в пироксенах из одной и той же породы (диориты), взятой в нижней и верх-

Таблица 88 (окончание)

Компонент.	Нефелиновые сиениты					
	пироксены		амфиболы		слоуды	
	15	16	17	18	19	20
SiO <sub>2</sub>	49,83	48,67	41,41	40,37	34,05	34,06
TiO <sub>2</sub>	0,35	1,10	3,30	1,70	1,77	2,99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,31	3,32	7,55	9,32	12,98	14,29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,20	11,70	8,21	9,12	13,30	8,72
FeO	6,02	10,46	22,19	17,78	19,69	20,57
MnO	0,62	0,57	1,09	1,28	1,73	0,60
MgO	1,55	5,23	2,95	4,35	3,41	6,61
CaO	4,17	12,46	7,61	9,37	0,92	0,91
Na <sub>2</sub> O	10,37	5,25	4,48	3,90	1,81	0,62
K <sub>2</sub> O	0,57	0,77	1,98	1,90	7,36	8,26
H <sub>2</sub> O	0,32	—	1,42	1,19	3,18	2,50
F	—	—	0,33	0,71	0,20	0,54
Si	1,91	1,83	6,49	6,42	5,69	5,46
Al <sup>IV</sup>	0,09	0,17	1,41	1,58	2,31	2,54
Ti	0,01	0,03	0,39	0,20	0,23	0,36
Al <sup>VI</sup>	0,02	0,03	—	0,16	0,26	0,16
Fe <sup>3+</sup>	0,70	0,34	0,96	1,09	1,67	1,05
Fe <sup>2+</sup>	0,19	0,34	2,91	2,36	2,75	2,84
Mn	0,02	0,02	0,15	0,17	0,24	—
Mg	0,09	0,30	0,70	1,03	0,84	1,58
Ca	0,17	0,51	1,28	1,60	0,16	0,16
Na	0,77	0,39	1,37	1,20	0,58	0,19
K	0,03	0,04	0,40	0,38	1,59	1,69
ОН	0,08	—	1,47	1,32	3,58	2,68
F	—	—	0,15	0,35	0,11	0,27
	Акмит	Эригин (43М37)		Натрогас- тингсит		Лепидо- мелан

ней частях разреза, резко варьирует (от 0,61–0,72 до 1,01–1,09). Это варьирование даже значительнее, чем при переходе от габбро к диориту в пределах одного горизонта.

Количество алюминия в пироксенах Скергоардской интрузии не слишком резко, но достаточно явно уменьшается в направлении поздних более кремнекислых дифференциатов, в то время как в пироксенах Бушвельдской интрузии содержание алюминия изменяется синхронно с изменением количества ферросиллитового компонента.

Рассмотрим характерные черты изменения состава пироксенов в некоторых эффузивных сериях. По данным Ю.Н. Кочкина и др. [91], пироксены основной массы толеитовых океанических базальтов отличаются по составу от пироксенов вкрапленников этих базальтов значительно большим количеством ферросиллитового компонента, незначительным уменьшением магнезиальности и увеличением титанистости при постоянном количестве алюминия. В щелочных океанических базальтах эволюция

Рис. 8. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ основных типов изверженных пород

I — включения в кимберлитах; II — пироксениты; III — габброиды, IV — гранитоиды, V — нефелиновые сиениты. 1 — пироксены; 2 — амфиболы; 3 — слюды

состава пироксенов от вкрапленников к основной массе выражается в незначительном уменьшении магнезиальности, столь же незначительном увеличении ферросилитового компонента и титанистости и существенном уменьшении алюминиевостности.

Изменение состава пироксенов континентальных щелочных базальтов идет в основном за счет уменьшения их магнезиальности. Параллельно несколько увеличиваются алюминиевость и титанистость. Количество ферросилитового компонента практически не меняется.

По данным В.И. Гоньшаковой [45], количество титана в пироксенах одной их трапповых серий Сибири, начинающейся плагиодиоритами и заканчивающейся тешенит-диоритами, уменьшается от 0,96 до 0,32%.

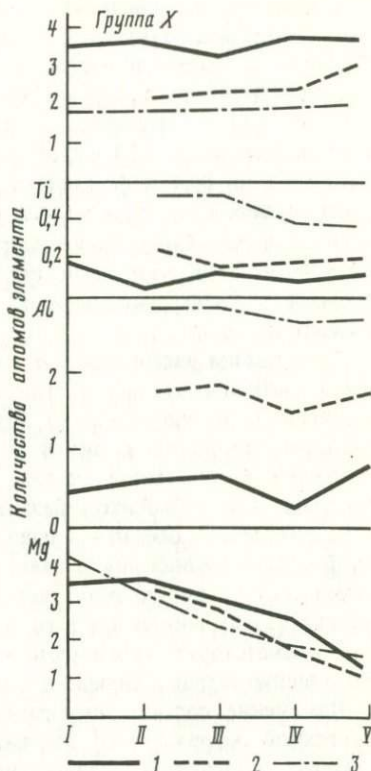
Эволюционную направленность изменения составов ПТМ в щелочных излившихся сериях можно рассмотреть на примере эффузивов Японии [144], Хаггара (Алжир) [168], щелочных эффузивов рифтовых зон Восточной Африки [16] и вулкана Кайзерштуль [185].

Эффузивная щелочная серия Японии состоит из последовательно излившихся щелочных базальтов, муджеритов и трахитов. В щелочных базальтах встречаются пироксен-оливиновые нодулы и включения ультраосновных пород. Эффузивы Хаггара представлены серией анкарарит-муджиерит-базанит-трахит-фонолит. В вулкане Кайзерштуль базальты сменяются фонолитами.

Таблица 89

Типоморфные элементы для главных типов магматических пород и ПТМ из этих пород

Тип пород	Гипербазиты	Габброиды	Гранитоиды
Типоморфные элементы для пород	Магний, железо	Титан, марганец, алюминий	Кремний, натрий, калий
Типоморфные элементы для ПТМ из этих пород	Магний	Титан, алюминий, кальций	Железо, марганец, натрий, калий, кремний, фтор



Основным изменением состава пироксена в этих сериях является рост содержания закисного железа за счет уменьшения количества магния. Количество ферросиллитового компонента в пироксенах закономерно увеличивается, например в эффузивах Японии, от 0,12 в щелочных базальтах до 0,22 в трахитах; в пироксенах Хаггара от 0,0 в анкарамитах и муджиеритах до 0,24 в фонолитах; в пироксенах Кайзерштуля от 0,07 в базальтах до 0,09 в фонолитах. Количество алюминия в пироксенах всех рассматриваемых эффузивных серий закономерно снижается к поздним членам серий. Содержание натрия и окисного железа растет в процессе эволюции. Этот рост незначителен для слабощелочной эффузивной серии Японии и очень интенсивный в нефелинсодержащих сериях Хаггара и Кайзерштуля.

Сопоставим эволюционные тенденции пироксенов Хаггара с тенденциями амфиболов и слюд в этой эффузивной серии. Амфибол из трахитов отличается от амфибола из базальтовых шлаков большим количеством щелочей, закисного и окисного железа, а также марганца и значительно меньшим количеством магния, титана и алюминия. Биотит из трахитов по сравнению с биотитом базанитов обогащен окисным и закисным железом, титаном и обеднен магнием и алюминием. Таким образом, химический состав амфиболов и слюд эволюционирует в основных чертах аналогично составу пироксенов; вариация количества алюминия и титана проявлена в этих минералах в гораздо большей степени, чем для пироксенов. Не соответствует эволюционной тенденции в пироксенах и амфиболах накопление титана в слюдах поздних членов серии.

Изменение состава пироксенов щелочных эффузивов рифтовой зоны Восточной Африки [16] выражается в уменьшении их магнезиальности, резком повышении количества алюминия, существенном увеличении количества титана и натрия. Характерной особенностью пироксенов этих эффузивов является отсутствие в их составе ферросиллитового компонента.

Суммируя данные по эволюции состава ПТМ базальтоидных эффузивных серий нормальной и повышенной щелочности, можно отметить, что ведущим изменением состава ПТМ является уменьшение магнезиальности. Содержание других главных компонентов меняется дифференцированно в зависимости от щелочности серии и ее геолого-тектонической позиции.

Наиболее существенным изменением состава ПТМ океанических толеитовых базальтов является рост ферросиллитовой составляющей при постоянстве количества алюминия, а для щелочных эффузивных серий — рост количества алюминия при постоянстве или полном отсутствии ферросиллитового компонента.

Сравнение характера эволюции состава пироксенов в базальтоидных сериях с эволюцией их состава в расслоенных интрузиях показывает, что эволюционный ряд большинства базальтоидных серий, прослеженный лишь от вкрапленников до основной массы, представлен коротким отрезком, соответствующим отрезку от ультрабазитов до габброидов для расслоенных интрузий. Для этого отрезка характерен рост ферросиллитового компонента и (или) рост количества алюминия и титана. Вторая половина ряда, характеризующаяся снижением количества титана и алюминия, для базальтоидных серий может быть прослежена лишь при сопоставлении

состава пироксенов из последовательно излившихся пород полных серий, кончающихся трахитами и фонолитами.

Сравнение характера эволюции состава пироксенов эффузивных серий рифтовых зон Восточной Африки в процессе роста кристаллов (состав ядер кристаллов и их периферической части) и в последовательно излившихся лавах показывает некоторые различия в изменении составов. Состав пироксенов в серии последовательно излившихся лав — пикробазальты — меланефелиниты — нефелиниты — фонолиты меняется в основном в соответствии с описанными выше закономерностями — уменьшаются магнезиальность, алюминиевость и титанистость, увеличивается количество натрия.

В процессе роста кристаллов количество магния также уменьшается, а количество натрия увеличивается. Количество алюминия и титана увеличивается в периферических частях пироксенов базитовых эффузивов пикробазальтов, угандитов, нефелинитов) и уменьшается в периферических оторочках пироксенов фонолитов и трахитов (рис. 11).

На рис. 9, 10, 12, 13 показан характер изменения основных химических компонентов в ПТМ магматических интрузивных серий, содержащих щелочные породы.

Основным параметром ПТМ убывающим от ранних к поздним членам серий является магнезиальность. Исключением служат лишь карбонатитовые щелочно-ультраосновные массивы, в которых магнезиальность ПТМ из карбонатитов (в подавляющем большинстве случаев наиболее поздней фазы массивов) является более высокой, чем магнезиальность предыдущей фазы (ийолитов).

Сопряженное с уменьшением магнезиальности увеличение общей железистости ПТМ также характерно для всех щелочных комплексов, однако характер изменений содержания окисного и закисного железа часто различен. Для расслоенных интрузий нормальной щелочности, таких, как Скергаард и Бушвельд, а также для щелочных эффузивов Японии в эволюционных рядах пироксенов увеличивается лишь количество закисного железа, а количество окисного железа остается постоянным.

В пироксенах некоторых щелочных серий, напротив, резко увеличивается количество окисного железа при постоянстве или уменьшении количества закисного железа. Такую картину можно наблюдать для Ельтеозерского, Сайжинского, Кокшаровского, Южно-Сахалинского, Илимаусакского, Туггутского массивов, а также интрузий грабена Осло, массивов Ловозеро, Кайзерштуль, Игалико. В ряде случаев для первых членов серии уменьшение магнезиальности ПТМ происходит за счет роста содержания окисного и закисного железа, а для конечных членов — только за счет увеличения количества окисного железа, причем этот рост идет за счет уменьшения содержания закисного железа. Однако во многих сериях щелочных пород характер изменения окисного и закисного железа в пироксенах имеет одностороннюю направленность, оба эти компонента накапливаются в ПТМ поздних фаз.

Для амфиболов и слюд чаще всего наблюдается рост содержания окисного и закисного железа в направлении поздних фаз.

Для подавляющего большинства магматических серий отмечается увеличение количества щелочей (натрия для пироксенов и амфиболов и калия для амфиболов и слюд) в ПТМ поздних фаз. Для эволюционных рядов

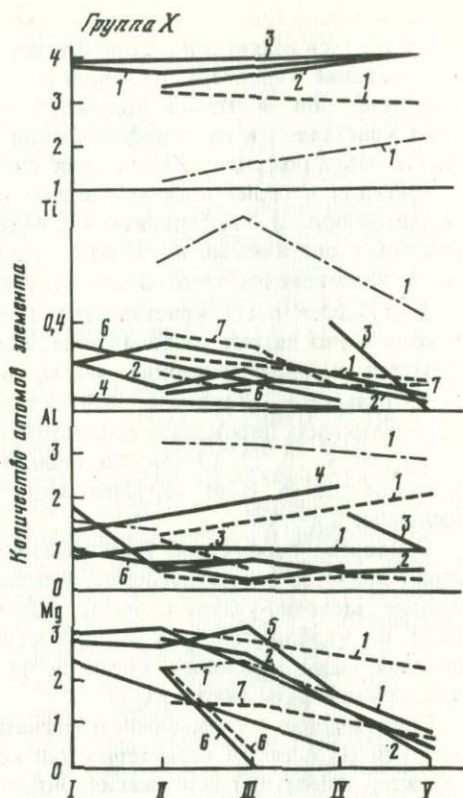
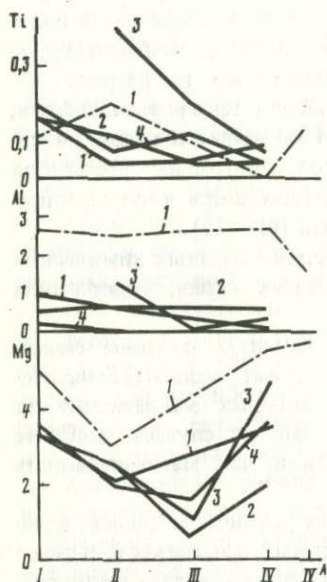


Рис. 9. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ магматических комплексов ультраосновной-щелочной формации

I – пироксениты; II – ийолиты; III – нефелиновые сиениты; IV – карбонатиты (ранние); V – карбонатиты (поздние)

1 – Ковдор; 2 – Айрон-Хилл; 3 – Кайзерштуль; 4 – Гулинский

Рис. 10. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ магматических комплексов щелочно-габбродной формации

I – пироксениты, II – габброиды; III – эссекситы-тералиты; IV – ийолиты (уртиты); V – нефелиновые сиениты.

1 – Ельозерский; 2 – Тугтук; 3 – Сайжинский; 4 – Нижне-Бурумзейский; 5 – Осло; 6 – Ю. Сахалинск; 7 – Марунгудзи

пород нормальной щелочности и слабощелочных эффузивов содержание натрия в пироксенах обычно в процессе эволюции остается постоянным. Обнаружено закономерное увеличение количества катионов группы X для амфиболов и слюд в направлении заключительных фаз щелочных эволюционных рядов. В амфиболах это увеличение идет за счет заполнения позиции А, а в слюдах за счет ликвидации дефицита группы X.

Достаточно отчетливо в ходе эволюции составов ПТМ изменяется содержание марганца; оно увеличивается в направлении поздних фаз; в этом же направлении еще более резко увеличивается содержание фтора в слюдах и амфиболах.

В ходе эволюции щелочных комплексов количество алюминия в слюдах

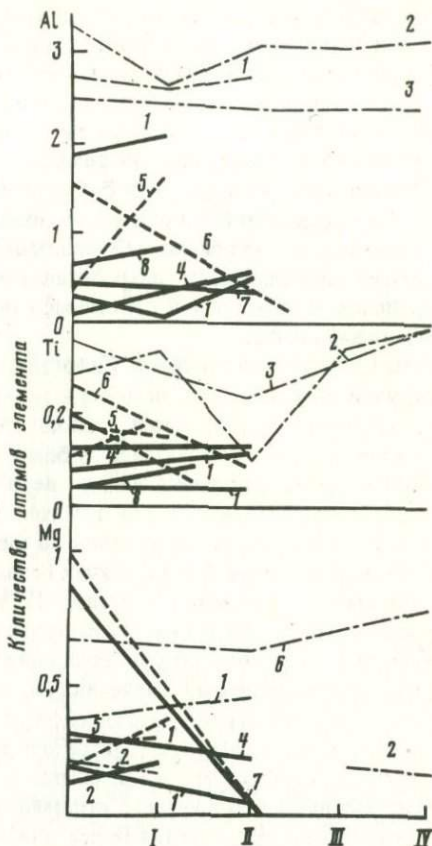
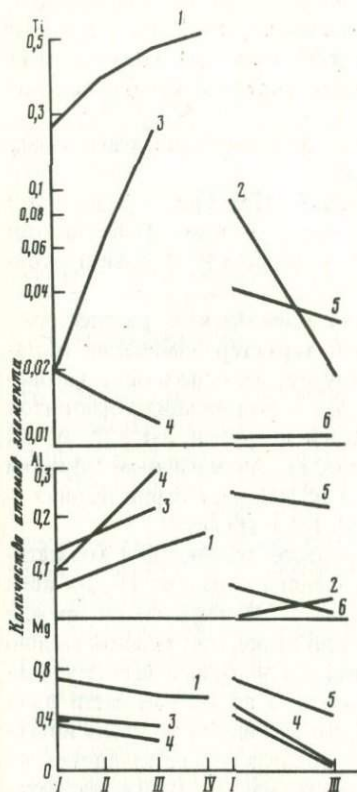


Рис. 11. Характер изменения главных химических компонентов в зональных кристаллах ПТМ

I – ядро вкрапленника; II – промежуточная зона; III – периферическая зона вкрапленника; IV – основная масса

1 – Кайзерштуль, щелочные базальты; 2 – там же фonoлиты; 3 – рифтовая зона Восточной Африки, пикробазальты; 4 – там же нефелинолиты; 5 – там же фonoлиты; 6 – Игалико, фойяиты I фазы

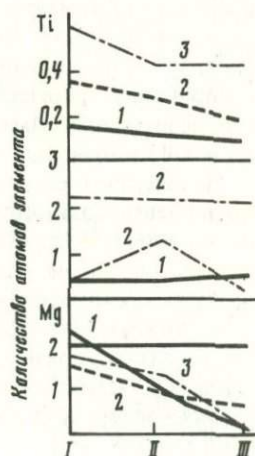
Рис. 12. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ магматических комплексов щелочно-гранитоидной формации

I – гранодиориты, II – граниты, III – щелочные сиениты; IV – нефелиновые сиениты

1 – Турпи; 2 – Бердяуш; 3 – Дара-Пиоз; 4 – Рохшиф-Собах

Рис. 13. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ щелочно-гранитоидных комплексов Северо-Восточной Тувы

I – сиениты; II – граносиениты; III – щелочные граниты



и амфиболах уменьшается. Количество алюминия в пироксенах увеличивается в направлении от ранних пироксенитов к габброидам параллельно с кристаллизацией высокоалюминиевых плагиоклазов. В то же время в направлении от пироксенитов к ийолитам количество алюминия в пироксенах уменьшается, несмотря на одновременную кристаллизацию высокоалюминиевого минерала — нефелина.

Количество титана в амфиболах уменьшается в поздних фазах щелочных серий и увеличивается в слюдах из поздних фаз.

При анализе особенностей эволюции составов ПТМ была предпринята попытка использовать разработанный А.А. Маракушевым [102] метод определения абсолютной основности пород и минералов на основе протонного эквивалента.

Расчет  $z$  для пироксенов Скергаардской и Бушвельдской расслоенных интрузий показал, что, несмотря на сложный характер изменения составов пироксенов в процессе становления интрузий, их основность закономерно меняется, уменьшаясь от более основных пород нижних горизонтов к более кремнекислым породам верхних частей интрузии (от 322 до 165 для Скергаарда и от 243 до 159 для Бушвельда). Аналогичным образом меняется основность пироксенов из щелочной эффузивной серии Японии — от 236 для включений в щелочных базальтах до 185 в трахитах.

Данные по эволюции составов ПТМ в процессе становления магматических комплексов можно суммировать следующим образом: 1) для всех магматических комплексов эволюции составов ПТМ выражается прежде всего в уменьшении их магнезиальности; 2) для пород нормальной щелочности эволюция состава пироксенов идет вначале в основном за счет увеличения количества ферросиллитового компонента, а во второй части ряда за счет уменьшения его количества; количество алюминия не столь интенсивно меняется синхронно с количеством ферросиллитового компонента; количество титана остается более или менее постоянным; 3) для магматических комплексов, содержащих щелочные породы, наиболее характерным изменением состава пироксенов, кроме уменьшения магнезиальности, является уменьшение количества алюминия и титана.

Для пироксенов большинства щелочных комплексов присутствие ферросиллитового компонента нехарактерно. Лишь пироксены щелочногабброидной формации постоянно содержат этот компонент, при этом его содержание изменяется аналогично изменению в рядах пород нормальной щелочности.

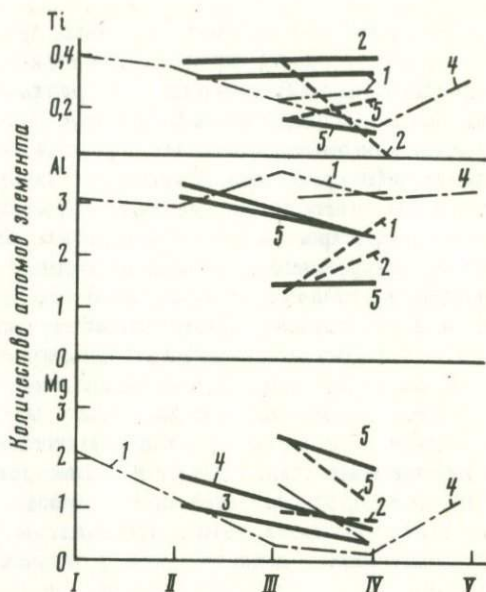
Необходимо отметить, что максимумы содержаний ферросиллитового компонента, алюминия и титана в пироксенах могут приходиться на разные по кремнекислотности породы серий, чаще всего на габброиды, но в ряде случаев на более основные породы (перидотиты, пироксениты), либо на более кремнекислые (диориты).

В постмагматическую стадию происходит формирование различных метасоматитов, замещающих первичные магматические породы щелочных массивов. Наиболее широко развиты альбититы, часто формирующиеся с замещением нефелиновых сиенитов. Состав ПТМ альбититов (рис. 14) существенно отличается от состава ПТМ нефелиновых сиенитов. В них возрастает количество кремния, натрия, окисного железа, марганца и фтора, уменьшается — алюминия, калия, кальция, титана. Те же закономерно

Рис. 14. Характер изменения главных химических компонентов в составе ПТМ в ходе постмагматического преобразования нефелиновых сиенитов

I — нефелиновые сиениты; II — альбитизированные нефелиновые сиениты; III — альбититы; IV — канкритизированные и содалитизированные нефелиновые сиениты; V — карбонатизированные нефелиновые сиениты

1 — Октябрьский массив; 2 — Турпи; 3 — Шахи-Сафед; 4 — Джилису; 5 — Кши-Орда; 6 — Катунский массив; 7 — Итапирипуа; 8 — Заангарский массив



сти отмечаются при сравнении составов ПТМ гранитов и их альбитизированных разностей.

Интересно сопоставить основные черты эволюции составов амфиболов в магматических сериях и эволюции состава амфиболов в условиях прогрессивного метаморфизма. По данным Е.А. Костюк [88], с увеличением степени метаморфизма в амфиболов резко увеличивается количество щелочей, тетраэдрического алюминия, титана и закисного железа за счет уменьшения количества Mg. Количество Са, окисного железа и октаэдрического алюминия меняется незакономерно.

Следовательно, как для магматических, так и метаморфических пород наиболее высокотемпературные амфиболы являются наиболее высокоалюминиевыми и титанистыми. В то же время щелочность и железистость амфиболов, растущие с понижением температурности для магматических пород, возрастают с повышением температурности формирования пород для амфиболов при метаморфизме. Для магнезиально-железистых слюд, судя по данным Б.В. Петрова и В.А. Макрыгиной [111], в процессе метаморфизма закономерного изменения состава не происходит.

## Глава пятая

### ТИПОХИМИЗМ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ ТЕМНОЦВЕТНЫХ МИНЕРАЛОВ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Говоря о типохимических особенностях ПТМ щелочных пород, мы имеем в виду, с одной стороны, выяснение особенностей усредненного химического состава пироксенов, амфиболов и магнезиально-железистых слюд из щелочных пород в сравнении с соответствующими усредненными химическими характеристиками для ПТМ ультраосновных пород, габброидов и пород гранитоидного ряда и, с другой стороны, что значительно важнее для решения поставленных нами задач, выявление типохимизма ПТМ из щелочных пород различных формационных типов.

Формационное деление щелочных пород долгое время базировалось в основном на пространственной связи этих пород с магматическими породами нормального ряда в пределах одного магматического комплекса. Однако ассоциация нефелиновых сиенитов в пределах одного массива с теми или иными породами нормального ряда (ультрабазитами, габброидами, либо гранитоидами) часто не может являться достаточным основанием для отнесения щелочных пород к определенной формации, учитывая, что это пространственное совмещение может быть случайным, вызванным лишь приуроченностью разновозрастных интрузий к крупным долгоживущим тектоническим нарушениям. Кроме того, существует значительное количество изолированных щелочных массивов, для которых нет никаких доказательств связи с определенной формацией.

В последние годы для формационного деления щелочных пород были успешно применены геохимические характеристики [44]. Содержание элемента в минерале, особенно в широко распространенном — порообразующем минерале, является более строгой и информативной константой, чем содержание элемента в породе, так как обусловлено законами химических связей. Эти константы могут быть использованы в целях формационного деления, наряду с геохимическими характеристиками пород.

Вычисленные средние составы могут служить реперами, по которым можно судить о тривиальности или необычности того или иного вновь проанализированного ПТМ для данного типа пород.

При сравнении составов ПТМ из пород различных групп важно четко представлять, какие из этих минералов являются наиболее характерными для данной группы пород, а какие — менее типичными или образовались в результате более поздних по отношению к главному этапу кристаллизации пород наложенных процессов. Так, например, сравнивая гранитоиды и нефелиновые сиениты, следует базироваться на сопоставлении составов слюд и, в меньшей мере, составов амфиболов, а не пироксенов, которые присутствуют лишь в малохарактерных контактовых разностях гранитоидов.

Сопоставляя щелочные породы Ловозерского массива с породами любого другого массива, за основу целесообразно брать сравнение составов пироксенов (и в меньшей степени — амфиболов), а не слюд, которые встречаются лишь в специфических разновидностях пород этого массива.

Сопоставляя объединенную группу ПТМ из нефелиновых сиенитов с ПТМ других типов пород, мы отдаем себе отчет в формационной и, вероятно, генетической гетерогенности нефелиновых сиенитов, в то же время, как нам кажется, это сопоставление имеет смысл, так как позволяет выявить типохимические особенности ПТМ из щелочных пород как единого целого, вне зависимости от генетической специфики.

Для выяснения типохимических особенностей ПТМ щелочных пород мы применили широко используемый в геохимии метод "кларков" (сравнение конкретных составов со средним составом минерала в данном типе пород), а также метод индикаторных отношений.

Средние составы пироксенов, амфиболов и железисто-магнезиальных слюд были вычислены на основании более чем трехсот анализов для 52 отечественных и 20 зарубежных щелочных массивов. Типохимические особен-

ности выявлялись путем сопоставления кристаллохимических формул, вычисленных по катионному методу.

Рассмотрим особенности химического состава ПТМ нефелиновых сиенитов в сравнении с усредненными характеристиками ПТМ других главных типов магматических пород (ультрабазиты, габброиды, гранитоиды). Как видно из табл. 88 и рис. 8, пироксен нефелиновых сиенитов (среднее значение) представлен эгирином, характеризующимся максимальным среди пироксенов рассматриваемых пород количеством натрия, окисного и закисного железа, алюминия и марганца; минимальным количеством кальция, магния, кремния и ферросиллитового компонента. Амфибол этих пород может быть назван натрогастингситом. Он отличается от амфиболов других пород максимальным количеством натрия, калия, окисного и закисного железа, марганца; минимумом кальция, магния, алюминия, титана. Слюда нефелиновых сиенитов относится к лепидомелану и для нее характерен максимум содержания калия, окисного и закисного железа, алюминия и минимум — магния и кремния.

Таким образом, все ПТМ нефелиновых сиенитов являются наиболее железистыми, марганцевистыми минералами в сравнении с ПТМ других типов магматических пород. Пироксены и слюды нефелиновых сиенитов содержат также наибольшее количество алюминия, в то время как амфиболы характеризуются наименьшей алюминиевостью.

В результате разработки Е.Д. Осокиным и Л.С. Бородиным [44] геохимического метода расчленения нефелиновых сиенитов были выявлены некоторые типоморфные элементы для определенных формаций нефелиновых сиенитов. Проведенное расчленение касалось в основном редких элементов. Для выявления закономерностей обогащения нефелиновых сиенитов той или иной формации определенным комплексом элементов все известные проявления нефелиновых сиенитов предварительно делились на формационные группы либо по ассоциациям пород в пределах массива, либо по общерегиональным геологическим соображениям.

Методический подход, использованный автором настоящей работы, иной и в основных чертах сводится к следующему.

Широкое варьирование химических составов ПТМ в щелочных породах позволяет предположить возможность использования их типохимических особенностей в целях формационного расчленения щелочных комплексов.

Анализ эволюционных тенденций составов пироксенов, амфиболов и магнезиально-железистых слюд в расслоенных интрузиях, последовательно излившихся членах щелочных эффузивных серий и последовательно внедрившихся фазах щелочных магматических комплексов, позволяет констатировать, что наиболее изменчивым параметром в процессе эволюции составов ПТМ является железистость. В гораздо более узких пределах меняются алюминиевость, титанистость и марганцевистость этих минералов. Щелочность, меняющаяся также весьма интенсивно, изменяется синхронно с железистостью.

Сгруппированные в соответствии с вариацией общей железистости ПТМ нефелиновые сиениты не обнаружили никакого соответствия с общепринятым формационным делением на основании ассоциаций нефелиновых сиенитов с различными породами нормального ряда в единых магматических комплексах.

Уэйджер и Браун [136], изучившие эволюционные ряды пироксенов в расслоенных интрузиях, пришли к выводу [136, с. 271], что "интерпретируя природу пироксенов лишь в рамках системы  $\text{CaSiO}_3 - \text{MgSiO}_3 - \text{FeSiO}_3$ , можно по направлению эволюции их состава в процессе разделения с помощью петрографических методов определять продукты кристаллизации толеитовой и щелочно-базальтовой магм, а также их производных, устанавливая приближенно стадии разделения содержания их пород".

Для последовательно излившихся щелочных эффузивов, в которых постмагматические процессы перекристаллизации играют незначительную роль, основным варьирующим в процессе эволюции ПТМ параметром является удельная железистость [144]. Стефенсоном [209] для нефелиновых сиенитов гренландского массива Игалико было показано, что окисленность железа в пироксенах возрастает преимущественно в постмагматическую стадию — стадию перекристаллизации пород. С учетом этих фактов в качестве основного параметра была выбрана удельная железистость, но автор считал более удобным использование обратной величины — коэффициента  $M$ , равного  $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ .

Был подсчитан коэффициент  $M$  для пироксенов, амфиболов и слюд из нефелиновых сиенитов всех рассмотренных щелочных массивов. Сопоставлялись нефелиновые сиениты, характеризующиеся приблизительно одинаковым минеральным составом (близкий цветной индекс, близкое соотношение нефелина и калиевого полевого шпата).

Нефелиновые сиениты содержат в качестве темноцветных компонентов различные минералы. Выделяются пироксен-амфиболовые, амфибол-биотитовые, биотитовые, амфиболовые, пироксеновые и, реже, пироксен-биотитовые разности. Это делает невозможным сопоставление особенностей составов какого-либо одного темноцветного минерала и заставляет использовать особенности составов всех трех минеральных групп (пироксенов, амфиболов и слюд).

Таблица 90

Значение коэффициента  $M$  для различных ПТМ из одной и той же породы

Массив	Порода	Пироксен	Амфибол	Слюда
Африканда	Щелочной пегматит	80	77	82
Гулинский	То же	80	—	86
Ловозерский	Луяврит	60	60	—
То же	Фойяит	50	59	—
Хибинский	Ийолит	71	—	53
Мегринский	Нефелиновый сиенит	80	50	63
Грабен Осло	То же	—	44	40
Вишневогорский	"	—	40	44
Кокшаровский	Луяврит	50	32	—
Катунский	Нефелиновый сиенит	23	23	22
Коргередаба	То же	21	30	16
Илимаусак	Какортokit	4	10	—
Октябрьский	Нефелиновый сиенит	4	16	—

Таблица 91

Значение коэффициента М для ПТМ из различных типов нефелиновых сиенитов одного и того же массива

Массив	Порода	М (ср.)
Ловозерский	Ийолит	63
То же	Луяврит	60
"	Фойяит	55
"	Эвдиалитовый луюврит	58
Сынный	Трахитоидный нефелиновый сиенит	65
То же	Псевдолейцитовый сиенит	59
Октябрьский	Нефелиновый сиенит	6
То же	Фойяит	12

Расчет коэффициента М производился лишь для главных темноцветных минералов данной породы, темноцветные минералы, наблюдающиеся в породе в виде второстепенной примеси, в расчет не принимались. Если в породе присутствовало два темноцветных минерала и между ними не наблюдалось явных реакционных взаимоотношений, они оба принимались в расчет.

Сопоставление коэффициентов М, вычисленных для различных темноцветных минералов из одной и той же породы, показало, что значения их близки, но резко отличаются от таковых для пород других массивов (табл. 90). Коэффициент М для ПТМ из нескольких разновидностей нефелиновых сиенитов в пределах одного массива также характеризуется близкими значениями (табл. 91), поэтому в табл. 92 приводится один обобщенный средний коэффициент М для ПТМ нефелиновых сиенитов каждого массива.

Анализ данных табл. 92 показывает, что массивы, содержащие нефелиновые сиениты, расположенные в порядке убывания коэффициента М в ПТМ, группируются закономерно и в основном в соответствии с общепринятым формационным делением. Наибольшим коэффициентом М = 85–66 характеризуются нефелиновые сиениты, нефелиновые пегматиты и фонолиты из глубинных карбонатитоносных ультраосновных-щелочных комплексов (массивы Африканда, Ковдор, Гули).

Далее следует группа массивов, относимая большинством исследователей к калиево-базальтоидной формации. Эти массивы чаще всего содержат лейцитовые или псевдолейцитовые породы. Коэффициент М для ПТМ этой группы массивов колеблется в пределах 65–50. Массивы, породообразующие темноцветные минералы которых характеризуются коэффициентом М, равным 50–30, относятся обычно на основании формационного анализа к щелочно-габброидной формации. Это чаще всего сложные магматические комплексы, включающие габброиды, щелочные габброиды (тералиты, эссекситы), уртиты и нефелиновые сиениты. Классическими примерами этих массивов являются Елетьозерский массив в Карелии, массив Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове, массивы Кузнецкого Алатау, грабена Осло.

Таблица 92

Значения усредненных коэффициентов М для ПТМ нефелиновых сиенитов из различных массивов

Массив	М	Массив	М	Массив	М	Массив	М
Гулинский	83	Мегринский	63	Кия-Шалтырь	46	Матчинский	15
Африканда	80	Сынныр	62	Гремяха-Вырмес	41	Турпи	12
Ковдор	66	Бурпала	56	Елетьозерский	35	Рохшир-Сабах	11
Инаглинский	90	Орто-Токой	57	Грабен Осло	42	Деонасу	4
Кондер	82	Сандык	52	Лос	49	Дара-Пиоз	2
Коратти	79	Ири-Су	52	Игалико	47	Тозбулак	8
Пиккили	71	Мурунский	55	Кокшаровский	41	Суртекинский	4
Кипава	91	Дежневский	52	Кайзерштуль	35	Ахба-Сай	9
Норра-Керр	89	Ишимский	47	Халибертон	34	Шахисафед	14
		Ловозерский	61	Вишневогорский	42	Коргердаба	22
		Хибинский	60			Катунский	23
						Баянкол	10
						Харлинский	24
						Заангарский	15
						Кши-Орда	15
						Сахариок	1
						Нефелиновые гнейсы (Гана)	26
						Нефелиновые гнейсы (Португалия)	1
						Бердяушский	22
						Ботогол	3
						Альмунге	9
						Октябрьский	10
						Илимаусак	21
						Гренедаль-Ика	;

Для последней группы массивов характерны наиболее низкие значения коэффициента  $M$  для ПТМ (от 25 до 0). Это преимущественно массивы нефелиновых сиенитов Туркестан-Алайской и Тувинской щелочных провинций, ассоциирующие с гранитоидами и относимые обычно к близко-поверхностным образованиям щелочно-гранитоидной и отчасти щелочно-габброидной формаций.

На основании коэффициента  $M$  породообразующих темноцветных минералов нефелиновых сиенитов представляется возможным сделать предположение о формационной принадлежности ряда массивов нефелиновых сиенитов, которые не обнаруживают непосредственной связи с породами нормального ряда, а также для тех массивов, формационная принадлежность которых является дискуссионной.

Ультраосновной-щелочной формации по значению коэффициента  $M$  отвечают, например, щелочные и нефелиновые сиениты Южной Индии (массивы Коротти и Пиккили); в первом из этих массивов щелочные сиениты ассоциируют с карбонатитами. Высоким коэффициентом  $M$  характеризуется также ПТМ щелочных и нефелиновых сиенитов массивов Инагли и Кондер, где эти породы ассоциируют в единых концентрически-зональных комплексах с дунитами. В эту группу попадают капаплеитовые нефелиновые сиениты Норра-Керр (Швеция), для которых некоторые исследователи предполагают связь с карбонатитовым комплексом Альне, а также щелочные эвдиалитовые сиениты Кипавы (Канада), формационная принадлежность которых до сих пор не обсуждалась.

Во вторую формационную группу — группу калиево-базальтоидных интрузий в соответствии с коэффициентом  $M$  породообразующих темноцветных минералов вошли массивы, содержащие лейцитовые или псевдолейцитовые породы.

Нефелиновые сиениты Дежневского массива, относимые ранее к щелочно-гранитоидной формации, также содержат псевдолейцит, и их ПТМ по коэффициенту  $M$  относятся к щелочно-базальтоидной формации. На Аляске, в непосредственной близости от Дежневского массива, в последнее время обнаружен пояс обогащенных калием щелочных пород [191]. Высказывается предположение о том, что Дежневский массив является крайним западным членом этого пояса. Находка в пределах Дежневского массива щелочных базальтоидов [10] является еще одним доказательством принадлежности нефелиновых сиенитов Дежневского массива к калиево-базальтоидной формации.

Л.С. Бородиным [44] калиевые лейцитсодержащие породы разделяются на две формации: калиево-базальтоидную и калиево-гранитоидную. Близкие и одинаково высокие коэффициенты  $M$  для породообразующих темноцветных минералов нефелиновых сиенитов всех лейцитсодержащих массивов, вероятно, свидетельствуют о их генетической однородности.

В третью формационную группу, кроме нефелиновых сиенитов из типичных щелочно-габброидных комплексов, указанных выше, попадают нефелиновые сиениты ряда массивов, относимых иногда к щелочно-ультраосновной карбонатитоносной формации — Кокшаровский и Сайжинский массивы, а также вулканоплутон Кайзерштуль (ФРГ). Эти массивы хотя и содержат карбонатиты, но по ассоциации пород, типу темноцветных минералов (присутствие характерных титансодержащих силикатов —

титанагита и керсутита) и характеру минерализации в карбонатитах резко отличаются от классических щелочно-ультраосновных комплексов.

Среди нефелиновых сиенитов массивов четвертой группы довольно широко распространены образования типа нефелиновых гнейсов (Гана, Португалия, Швеция). В то же время оказалось неожиданным, что ПТМ нефелиновых гнейсов Халибертона (Канада) и линейных тел нефелиновых сиенитов Ильмено-Вишневогорского массива имеют значительно более высокие (34—39) коэффициенты  $M$ , чем ПТМ остальных массивов щелочно-гранитоидной формации, и соответствующие коэффициенту  $M$  для ПТМ нефелиновых сиенитов щелочно-габброидной формации. Е.М. Еськовой [54] было показано, что нефелиновые сиениты Вишневых гор характеризуются высоким уровнем содержания таких базальтоидных элементов, как кобальт, никель, хром, ванадий и др., и пониженным уровнем таких коровых элементов, как литий, рубидий, цезий.

В последнее время произошел пересмотр генетической концепции формирования вишневогорского комплекса, причем в его формировании была подчеркнута ведущая роль глубинных карбонатитов, что находится в соответствии с полученными нами данными по типохимизму ПТМ комплекса.

Анализ данных, по распределению нефелиновых сиенитов в соответствии с коэффициентом  $M$  в ПТМ позволяет предположить, что этот коэффициент является отражением глубинности источника вещества, из которого формируются щелочные породы. Наибольшим коэффициентом  $M$  характеризуются ПТМ глубинных нефелиновых сиенитов щелочно-ультраосновной и калиево-базальтоидной формаций, часто располагающиеся в пределах единых зон глубинных разломов, пересекающих древние платформенные формы. Наиболее низкое значение коэффициента  $M$  отмечается для близповерхностных нефелиновых сиенитов щелочно-гранитоидной формации.

Д.С. Коржинский [86] выделил первичные магмы щелочного типа и вторичные магмы, образовавшиеся в результате кислотно-щелочного взаимодействия первичных магм с нормальными по щелочности породами коры. Нефелиновые сиениты первых двух групп, вероятно, являются продуктами кристаллизации первичных магм, в то время как нефелиновые сиениты третьей и особенно четвертой группы представляют собой продукты вторичных магм.

Учитывая вышеизложенное, рассмотрим формационное положение крупнейших массивов агапитовых нефелиновых сиенитов мира — Хибинского и Ловозерского. На основании коэффициента  $M$  для породообразующих темноцветных минералов нефелиновые сиениты этих двух массивов могут быть отнесены к калиево-базальтоидной формации. Вероятно, отнесение этих массивов к калиево-базальтоидной формации не следует понимать буквально. Можно, по-видимому, говорить об отнесении Ловозерского и Хибинского массивов к глубинным образованиям, что находит подтверждение и в обнаружении в периферических частях Хибинского массива ксенолитов пироксенитов с флогопитом и перовскитом, а также карбонатитов в центральной его части.

Была предпринята попытка выявить дополнительные типохимические особенности ПТМ для различных формационных групп нефелиновых сиенитов, выделенных на основе коэффициента  $M$  породообразующих темноцветных минералов.

Было выяснено, что амфиболы и слюды калиево-базальтоидной формации всегда более обогащены калием, чем соответствующие минералы других формаций вплоть до образования магнофорита в лейцитовых лампроитах Кимберли, Австралия [199]. Амфиболы, пироксены и слюды этой формации отличаются, кроме того, наиболее высокими содержаниями алюминия. ПТМ нефелиновых сиенитов щелочно-габброидной формации характеризуются максимальными содержаниями титана. Содержание марганца максимально в амфиболах и слюдах щелочно-гранитоидной формации, характеризуется промежуточными значениями в щелочно-габброидной и калиево-базальтоидной формациях и минимально в щелочно-ультраосновной формации.

Рассмотрим вариации содержания натрия, калия, магния, алюминия, титана и фтора в амфиболах некоторых массивов и провинций по сравнению со средним составом амфиболов нефелиновых сиенитов.

В группе амфиболов, обогащенных по сравнению со средним составом натрием, находятся амфиболы всех интенсивно минерализованных массивов, с частью которых связаны месторождения фосфора, ниобия и циркония.

Часть массивов этой группы является глубинными образованиями: Ловозерский, Хибинский, Норра-Керр, Сивамалам, другая часть связывается со щелочно-габброидной (Лос, Сайженский) или коровой щелочно-гранитоидной формациями (Ахба-Сай, Дара-Пиоз, Севадеш, Октябрьский, Матчинский, Вишневогорский массивы). Массивы, амфиболы которых обеднены натрием по сравнению со средним составом, также принадлежат к различным формационным группам. Можно лишь отметить, что все массивы калиево-базальтоидной формации попадают в эту группу. По-видимому, нефелиновые сиениты повышенной щелочности могут быть характерны для любой формации; однако щелочность нефелиновых сиенитов глубинных формаций обычно значительно выше щелочности этих пород из коровых формаций.

Массивы, амфиболы которых обогащены калием, относятся преимущественно к коровой щелочно-гранитоидной формации и калиево-базальтоидной формации. Обеднены калием амфиболы щелочно-габброидной формации. По содержанию калия в амфиболах резко различаются две группы интенсивно минерализованных массивов — Вишневогорский, Илимаусак, Октябрьский, обогащенные калием, и Хибинский, Ловозерский, Лос, обедненные калием.

Как было показано выше, магнезиальность ПТМ, и в том числе амфиболов, является наиболее информативным параметром для формационного расчленения нефелиновых сиенитов.

Интенсивно минерализованные массивы делятся на две группы: амфиболы которых обогащены магнием (Ловозерский, Хибинский, Сивамалам, Вишневогорский) и обеднены этим элементом (Илимаусак, Октябрьский).

Алюминиевость амфиболов не является четким показателем их формационной принадлежности. В основном наиболее алюминиевыми являются амфиболы нефелиновых сиенитов щелочно-гранитоидной и калиево-щелочно-базальтоидной формаций; затем следуют амфиболы щелочно-габброидной формации и, наконец, амфиболы карбонатитовых и других глубинных массивов. Однако эта общая закономерность осложняется многими исключениями.

Амфиболы большинства интенсивно минерализованных массивов существенно обеднены алюминием по сравнению со средним составом (Ловозерский, Хибинский, Илимаусак, Лос, Сивамалаи), лишь Вишневогорский и Октябрьский массивы имеют незначительно повышенное относительно среднего количество алюминия. По содержанию фтора, как и по содержанию натрия, лишь амфиболы некоторых интенсивно минерализованных массивов отчетливо обогащены по сравнению со средним составом (Ловозерский, Хибинский, Лос). Остальные амфиболы, в том числе и амфиболы ряда интенсивно минерализованных массивов (Илимаусак, Вишневогорский и Октябрьский), обеднены фтором, и не представляется возможным провести какое-либо формационное деление.

Рассмотрение особенностей состава амфиболов нефелиновых сиенитов конкретных массивов по сравнению со средним составом позволяет констатировать, что наиболее информативным элементом для формационного деления нефелиновых сиенитов является магний. Амфиболы высокоминерализованных массивов нефелиновых сиенитов, преимущественно апатитовых, наиболее резко отличаются по содержанию натрия, алюминия и фтора, на что впервые обратил внимание Е.И. Семенов. Для этих массивов характерны (за немногими исключениями) такие высокощелочные, существенно магнезиальные фтористые амфиболы, содержащие минимальное количество алюминия, как арфведсонит или катофорит.

Таким образом, типохимические особенности ПТМ могут быть использованы как один из критериев отнесения нефелиновых сиенитов к тому или иному формационному типу. В то же время необходимо подчеркнуть, что этот критерий следует использовать в совокупности с другими геологическими, геохимическими и минералогическими критериями и на основании достаточного количества химических анализов первичных ПТМ основных фаз массивов.

Типохимические особенности ПТМ могут быть использованы не только для формационного расчленения материнских щелочных пород, но и для расчленения гипербазитов и базитов, являющихся ранними фазами магматических комплексов, с одной стороны, нормального, а с другой — щелочного ряда.

Сравнение состава пироксенов из пироксенитов габбро-пироксенит-дунитовой формации [50] с составом пироксенов из пироксенитов ультраосновной щелочной и щелочно-габброидной формации (данные автора) показывает (табл. 93), что уже на ранней стадии кристаллизации пироксены нормального и щелочного ряда отличаются по составу. Пироксены пироксенитов щелочного ряда существенно менее магнезиальные, несколько более щелочные, титанистые содержат чаще всего больше окисного железа и меньше ферросиллитового компонента.

Пироксены пироксенитов массивов ультраосновной-щелочной и щелочно-габброидной формаций также отличаются по составу. Пироксены первой формации характеризуются большей магнезиальностью, меньшим количеством алюминия и ферросиллитового компонента.

Пироксены габброидов щелочно-габброидной формации отличаются от пироксенов габброидов интрузивных комплексов нормальной щелочности более низкой магнезиальностью, более высоким количеством алюминия, титана, окисного железа и ферросиллитового компонента.

Таблица 93

Содержание основных компонентов (в формульных единицах) в пироксенах одноименных пород различной формационной принадлежности

Формация, массив, порода		Na	Fe <sup>2+</sup> в группе X	Mg	Fe <sup>3+</sup>	Al	Ti
Пироксениты	Габбро-пироксенит-дунитовая формация	0,03	0,06	0,86	0,09	0,16	0,01
	Щелочно-ультраосновная формация	0,05	0,02	0,76	0,11	0,15	0,04
	Щелочно-габброидная формация	0,04	0,05	0,70	0,11	0,24	0,03
Габбро	Габбро-пироксенит-дунитовая формация	0,05	0,09	0,94	0,05	0,25	0,02
	Щелочно-габброидная формация	0,04	0,17	0,70	0,13	0,31	0,07
Ийолиты	Щелочно-ультраосновная формация	0,15	0,0	0,59	0,09	0,08	0,02
	Щелочно-габброидная формация	0,11	0,03	0,17	0,22	0,37	0,06
	Хибинский массив	0,26	0,00	0,53	0,17	0,05	0,04
	Ловозерский массив	0,80	0,04	0,10	0,60	0,08	0,05
	Массивы Тувы	0,24	0,00	0,30	0,24	0,02	0,04

Приведенные данные позволяют прийти к заключению, что по составу ПТМ первых ультрабазитовых и базитовых фаз сложных магматических комплексов можно судить о характере последующей дифференциации и возможности нахождения в ассоциации с ними пород нормальной или повышенной щелочности и даже формационного типа ассоциирующих с ними щелочных пород.

Пироксен-нефелиновые породы с цветным индексом, соответствующим габброидам, обычно описываются под названием ийолиты. Эти породы описаны в щелочных комплексах, вне зависимости от формационной принадлежности. Сопоставление составов пироксенов ийолитов позволило установить, что пироксены ийолитов ультраосновной-щелочной формации отличаются от пироксенов ийолитов щелочно-габброидной формации существенно более высокой магниальностью, более низкой алюминиевостью и титанистостью, а также более низким содержанием ферросиллитового компонента и окисного железа.

Ийолиты Хибинского массива по основным параметрам состава пироксенов очень близки к ийолитам массивов ультраосновной-щелочной формации и резко отличаются от пироксенов щелочно-габброидной формации.

Особую группу ийолитов составляют контактные пироксен-нефелиновые породы массивов нефелиновых сиенитов Тувы и Енисейского кряжа. Эти образования, развивающиеся на контакте нефелиновых сиенитов с вмещающими известняками, имеют ряд характеристик, промежуточных между характеристиками пироксенов ийолитов щелочно-ультраосновной и щелочно-габброидной формации, в то же время они отличаются от пиро-

ксенов обеих формаций высокой щелочностью и соответственно высоким содержанием окисного железа.

Эмпирические закономерности изменения состава ПТМ в зависимости от петрографического состава пород, в которых они встречаются, а также от формационной принадлежности этих пород могут быть объяснены влиянием целого ряда факторов (температурность, концентрация данных компонентов в расплаве или растворе, кислотность—щелочность среды минералообразования, давление, присутствие в парагенезисах других фаз, содержащих данные компоненты, присутствие летучих и др.).

К сожалению, в большинстве случаев несколько факторов действуют одновременно, что делает крайне затруднительным выяснение влияния каждого из параметров в чистом виде. Так, например, при кристаллизационной дифференциации гипотетического магматического очага с генерированием последовательных фаз от пироксенитов через габброиды до диоритов и гранодиоритов происходит не только понижение температуры кристаллизации каждой последующей фазы (от  $1200^{\circ}$  до  $700^{\circ}$ ), но и изменение концентраций ведущих компонентов, изменение кислотности—щелочности, накопление летучих. Таким же образом в условиях прогрессивного регионального метаморфизма увеличиваются температура и давление и, вероятно, изменяется кислотность—щелочность.

В то же время для каких-то ограниченных случаев можно проследить в более или менее чистом виде влияние отдельных параметров на состав ПТМ. Для условий высоких давлений и умеренных температур доказано, например, вхождение в октаэдрические позиции пироксенов и амфиболов большого количества алюминия (образование жадеита, глаукофана). Это положение подтверждено рядом экспериментальных работ.

Влияние температуры на состав ПТМ может быть прослежено путем сопоставления составов ПТМ излившихся (более высокотемпературных) пород и их интрузивных аналогов.

Приведенные в табл. 94 данные свидетельствуют о том, что ПТМ более высокотемпературных эффузивных пород характеризуются постоянно более высоким количеством тетраэдрического алюминия и, чаще всего, более высокой титанистостью. Изменение магнизиальности и щелочности в ПТМ не имеет четкой закономерности для всех групп ПТМ. Магнизиальность слюд падает с падением температуры их образования. Данные по магнизиальности пироксенов противоречивы, а для амфиболов данных недостаточно.

Щелочность пироксенов интрузивных пород чаще всего выше, чем щелочность излившихся аналогов; для других ПТМ закономерного изменения щелочности не наблюдается.

Таким образом, наиболее надежным параметром, уменьшающимся в составе ПТМ с понижением температурности, является содержание тетраэдрического алюминия.

Выявленная А.А. Маракушевым и И.А. Тарариным [101] закономерность обогащения низко температурных слюд гранитоидов алюминием может быть объяснена обогащением слюд октаэдрическим алюминием, возможно в связи с послонным чередованием в них магнизиально-железистой слюды и мусковита.

Таблица 94

Состав ПТМ в интрузивных и соответствующих излившихся породах (в формульных единицах)

Порода, минерал	Na	Mg	Fe <sup>3+</sup>	Al	Ti	K	Al <sup>IV</sup>
Базальт пироксен	0,03	0,74	0,08	0,29	0,02	—	0,19
Габбро пироксен	0,01	0,85	0,05	0,17	0,01	—	0,11
Базальт амфибол	0,55	2,48	0,75	2,52	0,51	0,22	2,18
Габбро амфибол	0,58	2,74	0,52	1,81	0,29	0,10	1,60
Базальт слюда	0,49	3,00	1,53	3,00	0,30	0,83	2,67
Габбро слюда	0,41	2,74	0,94	3,35	—	1,40	2,35
Нефелинит пироксен	0,11	0,33	—	0,20	0,01	—	0,06
Ийолит пироксен	0,25	0,40	0,24	0,04	0,02	—	0,04
Фонолит пироксен	0,06	0,52	—	0,24	0,03	—	0,14
Нефелиновый сиенит пироксен	0,57	0,13	0,55	0,08	0,04	—	0,06
Риалит слюда	0,23	3,07	0,56	0,36	0,56	1,65	2,32
Гранит слюда	0,18	1,81	0,65	2,68	0,38	1,61	2,14

По данным автора, а также [16, 121, 156, 137, 164].

Для оценки влияния щелочности были сопоставлены составы ПТМ из пород толеитовых и щелочных комплексов (табл. 95), пород с приблизительно равным количеством темноцветных минералов и температурой образования, но различной щелочности, выражающейся в принадлежности к нормальной или щелочной магматической серии, в наличии или отсутствии нефелина (габбро-гералит-ийолит, сиенит-нефелиновый сиенит).

Сопоставление составов ПТМ из пород нормальной и повышенной щелочности показало, что с повышением щелочности увеличивается количество щелочей, окисного железа и титана и существенно уменьшается магнетиальность минералов, уменьшается количество ферросиллитового компонента в пироксенах и количество фтора в амфиболах и слюдах.

Влияние щелочности на состав амфиболов и слюд неоднократно обсуждалось в литературе. С.П. Кориковским [85] было высказано предположение, что с повышением щелочности повышается алюминиевость амфиболов. А.А. Маракушев и И.А. Тарарин указали на зависимость количества алюминия, натрия, титана и фтора в слюдах от щелочности гранитоидов; при этом количество алюминия и фтора уменьшается с ростом щелочно-

Таблица 95

Состав ПТМ в породах различной щелочности (в формульных единицах)

Порода, минерал	Na	Mg	Fe <sup>3+</sup>	Al	Ti	Fe <sup>2+</sup> в группе X	Al <sup>IV</sup>
Пироксениты (нормального ряда)							
пироксен	0,03	0,86	0,09	0,16	0,01	0,06	0,13
Пироксениты (щелочно-габброидной формации)							
пироксен	0,04	0,70	0,12	0,24	0,05	0,05	0,20
Пироксениты (щелочно-ультраосновной формации)							
пироксен	0,14	0,49	0,18	0,16	0,04	0,0	0,13
Толитовые базальты							
пироксен	0,03	0,85	0,04	0,20	0,06	0,27	0,13
Щелочные базальты							
пироксен	0,03	0,76	0,06	0,14	0,07	0,15	0,10
Габбро (нормального ряда)							
пироксен	0,05	0,94	0,05	0,25	0,02	0,09	0,19
Габбро (щелочно-габброидной формации)							
пироксен	0,05	0,71	0,07	0,34	0,07	0,12	0,27
Тералит							
пироксен							
Ийолит (щелочно-габброидной формации)							
пироксен	0,14	0,49	0,18	0,16	0,04	0,0	0,13
Ийолит (Хибины)							
пироксен	0,26	0,53	0,17	0,05	0,04	0,0	0,05
Ийолит (Ловозеро)							
пироксен	0,80	0,10	0,60	0,08	0,05	0,04	0,08

сти, а количество натрия и титана увеличивается. С.П. Кориковский рассматривал изменения состава амфиболов в следующем ряду пород "возрастающей" щелочности: гранодиориты – граниты – нефелиновые сиениты – щелочные габброиды. Не обсуждая вопрос о реальном соотношении щелочности пород этого ряда, следует лишь указать, что эти породы являются явно разнотемпературными образованиями, что заставляет предполагать воздействие на состав амфиболов по крайней мере двух параметров и, следовательно, сомневаться в достоверности полученных выводов.

Сравнение наших результатов с выводами, полученными указанными исследователями, показывает, что более или менее подтвержденной закономерностью является обогащение ПТМ пород повышенной щелочности щелочами, титаном, окисным железом и обеднение их магнием и фтором. Влияние щелочности на изменение содержания алюминия в ПТМ нельзя считать установленным окончательно. Имеющиеся данные противоречивы.

## ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ ТЕМНОЦВЕТНЫЕ МИНЕРАЛЫ НЕОБЫЧНОГО СОСТАВА

Под необычными по составу ПТМ автор понимает минералы, которые содержат в значительных количествах не характерные для этой минеральной группы элементы, а также минералы, содержащие обычные элементы, но либо в необычных количествах, либо занимающие необычную кристаллохимическую позицию.

Обычными элементами рассматриваемых трех групп минералов являются Si, Al, Fe, Mg, кроме того, для слюд — калий, для амфиболов и пироксенов — кальций и натрий, а для амфиболов и слюд также фтор.

Под обычными количествами этих элементов автор понимает средний состав данного минерала в данном типе пород (см. табл. 88).

Первой работой, посвященной слюдам необычного состава, явилась статья Д.П. Сердюченко [132], который впервые свел все известные к тому времени анализы "экзотических" слюд, обратив внимание на слюды, содержащие в значительных количествах элементы, не характерные для этой минеральной группы.

Рассмотрим известные ПТМ необычного состава, сгруппировав их по "не характерным" элементам.

**Марганец.** Этот элемент почти постоянно входит в состав ПТМ, особенно амфиболов, но его количество обычно не выше 2%. В то же время в известковых скарнах довольно часто отмечается марганцевый пироксен-иохансенит, содержащий 27,47% MnO [204], а также высокомарганцевые геденбергиты (7–10% MnO) (табл. 96).

В метаморфогенном марганцевом месторождении Японии описан щелочной амфибол-коцулит [195], содержащий 27,96% MnO. Высокомарганцевые амфиболы характерны и для других марганцевых месторождений. Например, из метаморфогенного месторождения Чикла (Индия) описаны два марганцевых амфибола—юддит-марганцевый эккерманит с 7,69% MnO [203] и марганцевый рихтерит с 5,36% MnO [146]. Марганцевый рихтерит был ранее описан из шведского скарнового месторождения Лонгбан (8,69% MnO) [193]; в этом же месторождении встречен паргасит с 3,24% MnO. Известны также высокомарганцевые грюнериты (данемориты), содержащие до 7,38% MnO [211].

Наибольшее содержание марганца в слюдах (12,28%) зафиксировано в уникальной марганцево-свинцовой слюде из месторождения Франклин, США [197]. Высокомарганцевые слюды описаны также из уже упоминавшегося марганцевого месторождения Чикла. Здесь встречен магнофиллит с 6,24% MnO [147].

Вероятно, введение такого большого количества новых названий для обозначения марганцевых разновидностей ПТМ не является оправданным. В соответствии с рекомендациями IMA следует оставить собственные названия лишь для минералов, в которых марганец преобладает в атомном выражении среди катионов группы Y, как, например, в иохансените, коцулите, данеморите. Для остальных же разновидностей принять прилагательное марганцевый. Например, марганцевый эккерманит вместо юддита и марганцевый истонит вместо магнофиллита.

**Титан.** Максимальное количество титана отмечено в пироксенах из ксе-

Таблица 96

Химический состав ПТМ необычного состава

Компонент	Mn			Ti	
	Пироксен	Амфибол	Слюда	Амфибол	
	1	2	3	4	
SiO <sub>2</sub>	47,62	51,38	31,58	39,50	
TiO <sub>2</sub>	—	—	0,32	10,33	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,91	1,69	13,72	11,12	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	2,85	2,25	0,06	
FeO	0,70	—	0,34	0,44	
MnO	24,74	27,96	12,28	0,10	
ZnO	—	0,03	22,97	—	
MgO	0,53	2,71	3,64	12,90	
CaO	22,18	1,12	—	10,91	
BaO	—	—	0,65	—	
Na <sub>2</sub> O	—	8,41	0,24	3,82	
K <sub>2</sub> O	—	1,36	7,91	1,43	
PbO	—	—	—	—	
F	—	0,08	0,45	—	
H <sub>2</sub> O	0,49	2,16	3,65	0,59	
Сумма	100,18	99,72	99,86	100,20	
Si	1,97	8,00	5,36	5,93	
Al	0,03	—	2,64	1,97	
Be	—	—	—	—	
Ti	—	—	0,04	1,17	
Al	0,01	0,31	0,09	—	
Fe <sup>3+</sup>	—	0,33	0,29	0,01	
Fe <sup>2+</sup>	0,02	—	0,04	1,19	
Mn	0,96	3,69	1,76	0,01	
Zn	—	—	2,88	—	
Mg	0,03	0,62	0,91	2,89	
Ca	0,97	0,19	—	1,76	
Na	—	2,54	0,06	1,11	
K	—	0,27	1,71	0,28	
Ba	—	—	0,05	—	
Pb	—	—	—	—	
OH	—	2,00	4,17	0,58	
F	—	—	0,26	—	

Аналитики Штейгер, Гокснер, Норринг.

1—иохансенит [204]; 2—коцулит [195]; 3—хендриксит [197]; 4—керсутит [182]; 5—воданит [187]; 6—анандит [198]; 7—барийтитанобиотит [198]; 8—джефферсонит [197]; 9—джосмитит [193].

нолита роговика в норите Аберднишир [156] и из нефелинового долерита Вогельсберг [178] (5,72 и 5,5% TiO<sub>2</sub> соответственно).

Среди амфиболов отмечается целая группа керсутитов из щелочных базитов, содержащих до 10% TiO<sub>2</sub> [182]. Высокотитанистые амфиболы из пород других генетических типов и другого (не керсутитового) состава редки. Описаны лишь титановый кроссит из глаукофановых сланцев Япо-

Ti	Ba		Zn	Pb		
	Слюда	Слюда			Пироксен	Амфибол
	5	6			7	8
37,93	26,62	23,3	49,03	40,29		
11,81	0,30	13,5	—	—		
12,36	5,12	16,7	0,86	0,77		
1,66	7,37	12,9	4,22	13,04		
11,12	31,46		3,95	2,70		
0,03	0,70	—	7,91	2,89		
—	—	—	7,14	1		
13,96	3,58	8,7	5,81	12,40		
0,28	0,17	0,16	19,88	12,40		
0,51	21,50	17,2	—	2,89		
1,35	0,11	0,40	—	—		
8,28	0,98	3,25	—	—		
—	—	—	—	6,71		
0,23	—	—	—	0,50		
1,21	2,09	—	1,30	6,53		
100,63	100,0	96,1	100,10	98,76		
5,72	5,28	3,96	1,98	6,00		
2,21	1,44	3,35	0,02	—		
—	—	—	—	2,00		
1,34	0,06	1,71	—	—		
—	—	—	0,02	0,10		
0,20	1,02	1,83	0,13	2,40		
1,40	5,34	—	0,13	—		
—	0,12	—	0,13	—		
—	—	—	0,21	—		
3,13	1,00	2,19	0,35	2,50		
0,05	—	0,03	0,86	2,60		
0,42	0,04	0,13	—	—		
1,60	0,06	0,71	—	—		
0,03	1,60	1,15	—	—		
—	—	—	—	0,40		
1,22	2,21	—	—	2,00		
0,10	—	—	—	—		

нии с 8,29% TiO<sub>2</sub> и магнезиоарфведсонит (анафорит) из шонкинита ФРГ с 5,37% TiO<sub>2</sub> [165].

Среди слюд максимальное количество титана зафиксировано в слюде из гавайских нефелинитов (14,10% TiO<sub>2</sub>) [190], из шонкинита Оденвальда, ФРГ (воданит 11,81%) [187], из лейцитового лампроита Западной Австралии (8,97%) [199] и из эссекитов массива Елеть-озеро (11,00%) [94].

**Барий.** В статье, посвященной слюдам необычного состава, Д.П. Сердюченко [132] приводит четыре анализа бариевых слюд. Три из этих слюд являются бариевыми мусковитами (элахеритами) из серицитовых сланцев Казахстана, содержащими до 9,89% BaO [8], четвертая — бариевым флогопитом из щелочного вулкана Кайзерштуль, содержащим 5,11% BaO [185].

В 1967 г. Паттиарачи и др. [164] описали слюдоподобный минерал, основным катионом которого в группе X был барий (20,59% BaO). По соотношению других компонентов состав минерала отвечает анниту. Минерал назван авторами анадитом. Он был найден в метаморфическом железорудном месторождении Виладжера (Шри Ланка) в ассоциации с магнетитом и баритом.

Столь же высокое содержание бария отмечается и для высокотитановых слюд из гавайских нефелинитов (20,50% BaO) [190], несколько меньшее в слюдах из эссекситов Елетьозерского массива (11,33%) [94] и лейцититов Центральной Италии (7,32%).

**Цинк.** Пироксены известковых скарнов не только часто являются марганцевыми вплоть до иохансенитов, но иногда содержат наряду с марганцем большое количество цинка. Например, пироксен из скарнов месторождения Франклин Нью-Джерси, США содержит до 7,14% ZnO [197].

Этот пироксен описан под собственным названием джефферсонит. Вероятно, было бы лучше называть его цинковым геденбергитом. Обогащенные цинком амфиболы характерны для Норра-Керр (Швеция), Илимаусака (Гренландия) и плато Джос (Нигерия).

Уже упоминавшаяся марганцевая слюда из месторождения Франклин содержит 22,97% ZnO. Она обоснованно описана под собственным названием хендриксит.

**Свинец.** Моором [193] был описан амфиболоподобный минерал (джосмитит) из месторождения Лонбан (Швеция), содержащий 6,71% окиси свинца.

Переходя к рассмотрению второго типа необычности составов ПТМ, остановимся на случаях необычно высокого содержания калия в амфиболах. В 1939 г. Прайдером [199] был описан амфибол из дайки лейцитовых лампроитов Кимберли (Австралия), который, соответствуя по составу рихтериту, содержал калия в атомном выражении больше, чем натрия. Для этого минерала было предложено специальное название магнофорит, которое, на взгляд автора, не является удачным. Было бы лучше называть подобные минералы калийрихтеритами.

В большинстве случаев с вхождением щелочей в структуру амфиболов и постепенным увеличением их количества в них уменьшается количество алюминия: чермакит  $0\text{Na}1\text{Al}^{\text{IV}}2\text{Al}^{\text{IV}}$ ; гадингсит  $1\text{Na}2\text{Al}^{\text{IV}}$ ; катюфорит  $2\text{Na}1\text{Al}^{\text{IV}}$ ; арфведсонит  $3\text{NaOAl}$ .

З.И. Морозевичем [194] в Октябрьском массиве в 1925 г. был обнаружен амфибол с соотношением натрия и алюминия  $2\text{Na}2\text{Al}^{\text{IV}}$ , названный им тарамитом. Так как в то время классификация амфиболов была слабо разработана, минерал, описанный З.И. Морозевичем, не привлек внимания минералогов. В 1964 г. амфиболы аналогичного состава были описаны Броком и Кноррингом [152] из нефелиновых сиенитов двух Восточно-Африканских массивов—Мбози (Танзания) и Даркейнл (Сомали), при-

чем им было дано новое название мбозинит. Комиссия по новым минералам не утвердила это название, оставив за амфиболами этого необычного состава название тарамит.

Венкая [215] была под названием махадевит описана слюда из Индии, содержащая максимальное для слюд количество алюминия в тетраэдрической координации (3 атома) и 1,69 атомов алюминия в октаэдрической координации, т. е. содержащая максимально известное в Mg-Fe слюдах количество алюминия.

Анализ данных по химизму ПТМ значительной части щелочных массивов позволил не только установить наиболее часто встречающиеся в щелочных породах составы пироксенов, амфиболов и слюд, но и выявить новые ПТМ необычного состава.

Если обратить внимание на количество атомов катионов группы X в щелочных амфиболах, то можно заметить, что довольно часто оно превышает три — количество мест катионов в позициях A и M<sub>4</sub>. Наиболее естественно предположить, что часть натрия в таких случаях входит в октаэдрические позиции M<sub>1</sub>—M<sub>3</sub>.

Рентгеновское исследование наиболее "пересыщенного" натрием амфибола из массива Дара-Пиоз, произведенное Л.Л. Литвиным (96), подтвердило наше предположение. Действительно, часть натрия оказалась статистически распределенной по позициям M<sub>1</sub>—M<sub>3</sub>.

Арфведсониты из Хибинского массива и массива Дара-Пиоз содержат около 0,5 атома марганца на формульную единицу. Для титана этот предел является общепринятой границей выделения собственно титанового амфибола-керсутита. Автору кажется целесообразным выделять амфиболы, содержащие более 0,5 атома марганца, в самостоятельную минеральную разновидность, например марганцевый арфведсонит для Хибин и Дара-Пиоза.

Установлено широкое развитие в щелочных комплексах титановых (> 0,5 атомов титана в формульной единице) амфиболов и слюд. Керсутиты распространены в 14 массивах, причем в широкой гамме пород: перидотиты (Гремяха-Вырмес), пироксениты (Кокшаровский), габбро (Чон-Ашу), моноциты (Лесогорский), мончикиты (Хибинь), щелочные базальты, лампрофиры (Шахи-Сафет), ийолиты (Африканда), нефелиновые сиениты (Кия-Шалтырь), щелочные сиениты (Фадью-Куда), эссекситы. Кроме керсутитов, т. е. титановых минералов гастингситового состава, в щелочных породах встречаются и титановые арфведсониты—анафориты (Октябрьский, Бурпалинский, Свиднейский массивы) и титановый катифорит (Хибинь). В 11 массивах (Ельтьозерском, Гремяха-Вырмес, Хибинском, Ловозерском, Лесогорском, Инаглинском, Сыпнырском, Сандыкском, Ортококойском, Ботогольском, грабена Осло) встречаются титановые слюды более чем с 0,5 атома титана на формульную единицу, которые по аналогии с керсутитами могли бы быть выделены в самостоятельную минеральную разновидность (табл. 97). Не наблюдается закономерности обогащения слюд титаном от их состава. Отмечаются как титановые флогопиты и анниты, так и титановые сидерафиллиты и реже истониты. Исследовалась зависимость количества окисного железа в гастингситах и арфведсонитах от содержания суммы натрия и калия. Эти компоненты связаны прямо пропорциональной зависимостью (рис. 15).

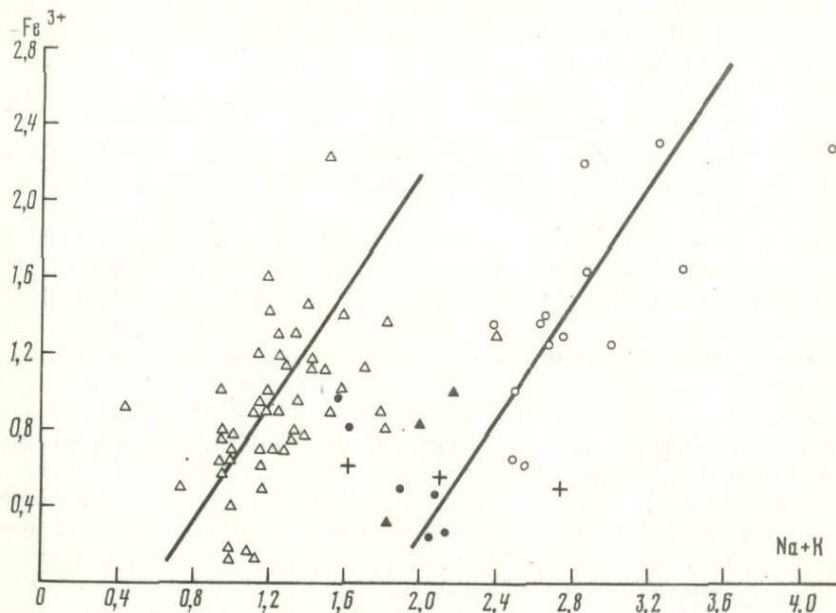


Рис. 15. Зависимость степени окисления железа в гастунгитах ( $\Delta$ ) и рибекит-арфведсонитах ( $\circ$ ) от содержания в них щелочей

Таблица 97

Щелочные массивы, содержащие титановые слюды

Титановые флогопиты		Титановые истониты		Титановые анниты		Титановые сидерофилиты	
массив	количество атомов Ti	массив	количество атомов Ti	массив	количество атомов Ti	массив	количество атомов Ti
Ингалинский	0,52			Гремяха-Вырмес	0,71	Гремяха-Вырмес	0,59
Лесогорский	0,98	Лесогорский	0,70				
Грабен	0,52			Хибинский	0,71		
Осло				Сандык	0,72		
Хибинский	0,88						
Ловозерский	0,58			Сынныр	0,56	Боготол	0,96
Орто-Токкой	0,63						
Сынныр	0,66					Ельть-озерский	1,38

Графики для гастингситов и арфведсонитов субпараллельны. По-видимому, для щелочных амфиболов характерен эгириновый тип изоморфизма  $\text{NaFe}^{3+} \rightarrow \text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})$ . Среди слюд наибольшее количество окисного железа отмечается для железистых видов (аннит, сидерофиллит), однако отмечаются и оксифлогопиты.

Римской-Корсаковой [188] был описан флогопит из карбонатитов Кольского п-ва, в котором часть окисного железа входит в тетраэдрическую позицию. Такие слюды было предложено называть тетраферрифлогопитами. Изучение химизма слюд щелочных пород, проведенное в рамках данной работы, позволило расширить количество щелочных массивов, содержащих тетраферрифлогопиты, включив в их число, кроме Ковдора и Vuoriaarvi, Черниговскую зону карбонатитов, Инаглинский и Мурунский массивы. Были обнаружены также тетраферрианниты (Мурун, Покрово-Кирево).

#### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ МЕЖДУ СОСУЩЕСТВУЮЩИМИ ПОРОДООБРАЗУЮЩИМИ ТЕМНОЦВЕТНЫМИ МИНЕРАЛАМИ

Теоретическое обоснование распределения катионов между сосуществующими породообразующими минералами было предложено Рамбергом [202]. Оно основывалось на том, что с ростом конденсации кремнекислородных группировок (от островных до каркасных силикатов) усиливаются кислотные свойства радикала и для устойчивости соединения требуется вхождение все более сильных катионов (оливин—магний; пироксен—кальций, магний; амфибол—кальций, натрий; слюда—калий).

В то же время с ростом конденсации уменьшается поляризуемость анионов. Поэтому такие сильнополяризующие катионы, как железо, входят в больших количествах в менее конденсированные силикаты; из ПТМ преимущественно в пироксены, в меньшей степени в амфиболы и в незначительных количествах в слюды.

Исследования Вора [216] показали, однако, что на распределение магния и железа сосуществующими ПТМ серьезное влияние оказывает вхождение в тетраэдрическую позицию алюминия, а также вхождение алюминия и титана в октаэдры.

Отклонения в распределении железа и магния между ПТМ от закона Рамберга—Вора объясняются Л.Л. Перчуком [110] влиянием температуры на распределение этих элементов между ПТМ. Согласно этой концепции, с ростом температуры происходит перераспределение магния и железа между сосуществующими минералами (перераспределение железа в водные минералы); пироксен высокотемпературных ассоциаций должен быть более магnezиальным, чем слюда.

Среди химических анализов ПТМ, приведенных в гл. II, имеется 78 пар и триад ПТМ, находящихся в одной и той же породе без следов реакционных взаимоотношений. Был рассмотрен характер распределения магния, суммарного железа, окисного железа, алюминия, титана, марганца и фтора между минералами этих пар и триад (табл. 98, см. вкл.).

Оказалось, что алюминиевость, титанистость и фтористость закономерен увеличиваются от пироксенов через амфиболы к слюдам, степень окис-

Таблица 98

Распределение химических компонентов между сосуществующими минералами

Массив (порода, минерал)	Mg*	Fe <sup>3+</sup>	Mn	Al	Ti	F	Mg
	Mg + Fe	Fe <sup>2+</sup>					Mg + Fe <sup>2+</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Схарикок</i>							
Щелочные сиениты амфибол-слюда	0,63	0,55	0,51	2,00	2,67	1,32	1,85
<i>Ельтозерский</i>							
Габбро пироксен-амфибол	0,90	0,92	0,98	1,33	0,81	1,33	-
<i>Пегматоидные сиениты</i>							
пироксен-слюда	9,00	0,63	0,02	6,00	5,75	3,60	-
<i>Африканда</i>							
Пироксениты пироксен-амфибол-слюда	1,01 (1,24)	1,01 (1,10)	0,98 (10,43)	0,50 (0,25)	1,31 (0,69)	4,10 (4,80)	-
<i>Щелочные пегматиты</i>							
пироксен-слюда	1,15	1,00	0,29	-	0,92	3,07	-
<i>Ковдор</i>							
Карбонатиты пироксен-слюда	1,08	1,05	1,82	-	0,25	68,00	-
<i>Вуори-Ярви</i>							
Пироксениты пироксен-амфибол-слюда	0,84 (1,00)	0,87 (0,95)	0,57 (0,36)	-	1,75 (1,75)	4,38 (4,55)	-
<i>Карбонатиты</i>							
амфибол-слюда	1,00	0,99	0,74	1,00	-	1,56	0,90
<i>Хибинский</i>							
Хибиниты пироксен-амфибол	4,31	2,00	0,13	0,92	0,81	2,79	-
<i>Ийолиты</i>							
пироксен-слюда	1,04	0,85	0,16	0,88	5,88	9,25	-
<i>Пегматиты в ийолитуртите</i>							
пироксен-амфибол	0,50	0,58	1,03	5,63	0,81	0,25	-
<i>Рисчорриты</i>							
пироксен-слюда	1,50	1,20	0,20	1,00	3,55	12,25	-
<i>Фойяиты</i>							
пироксен-амфибол-слюда	2,06 (1,82)	1,02 (0,80)	0,18 (0,07)	2,17 (0,83)	3,88 (2,31)	2,86 (7,54)	1,10
<i>Мончикиты</i>							
пироксен-амфибол-слюда	1,07 (0,43)	1,01 (0,38)	0,99 (0,05)	3,33	2,88 (2,31)	4,67 (3,52)	-
<i>Ловозерский</i>							
Пойкилитовые сиениты пироксен-амфибол-слюда	1,15 (1,15)	- (0,83)	- (0,07)	1,38 (0,58)	1,56 (3,63)	4,06 (16,19)	- (1,18)

Таблица 98 (продолжение)

	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Ийолиты</i>								
пироксен-амфибол		4,38	1,50	0,22	1,13	0,70	1,88	
<i>Луаявриты</i>								
пироксен-амфибол		4,27	1,22	0,10	2,25	0,39	3,13	-
<i>Фойяиты</i>								
пироксен-амфибол		4,18	1,16	0,09	2,38	0,68	1,54	-
<i>Эвдиалитовые луаявриты</i>								
пироксен-амфибол		4,64	1,34	0,13	2,25	0,39	1,46	-
<i>Октябрьский</i>								
<i>Щелочные сиениты</i>								
амфибол-слюда		1,15	1,07	0,38	0,64	1,10	1,27	0,15
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
пироксен-амфибол-слюда		0,75 (1,75)	0,17 (0,31)	0,06 (0,06)	3,50 (2,75)	2,75 (5,00)	6,71 (9,89)	-
<i>Черниговская зона</i>								
<i>Карбонатиты</i>								
амфибол-слюда		0,94	0,92	0,46	1,00	2,50	6,88	2,00
<i>Покрово-Киреевский</i>								
<i>Ювиты</i>								
пироксен-слюда		1,25	0,63	0,12	4,25	2,67	3,72	
<i>Мегринский</i>								
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
пироксен-амфибол-слюда		0,56 (0,82)	0,63 (0,78)	1,04 (0,28)	- (0,40)	0,88 (5,00)	3,26 (3,99)	- (1,38)
<i>Ильменогорский</i>								
<i>Миаскиты</i>								
амфибол-слюда		1,08	1,00	0,73	0,89	2,41	1,25	2,68
<i>Турпи</i>								
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
амфибол-слюда		0,31	0,25	0,61	0,47	0,94	1,63	25,00
<i>Деонасу</i>								
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
амфибол-слюда		1,33	2,00	1,51	0,47	3,00	1,46	1,14
<i>Рокшиф</i>								
<i>Щелочные сиениты</i>								
амфибол-слюда		1,71	1,65	0,75	1,00	3,13	1,56	0,43
<i>Матчинский</i>								
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
пироксен-амфибол		19,00	8,67	0,48	0,88	1,63	1,38	-
<i>Суртекский</i>								
<i>Щелочные сиениты</i>								
амфибол-слюда		0,22	0,33	2,41	1,38	2,44	1,07	0,15
<i>Кши-Орда</i>								
<i>Нефелиновые сиениты</i>								
амфибол-слюда		2,40	2,75	1,25	-	0,06	7,49	-
<i>Саянский</i>								
<i>Карбонатиты I стадии</i>								
пироксен-слюда		0,88	0,95	1,28	-	-	48,24	-
<i>То же, II стадия</i>								

Таблица 98 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
пироксен – слюда	1,36	1,14	0,32	0,38	1,50	3,64	–
То же, III стадия							
амфибол – слюда	1,15	1,02	0,47		1,83	9,91	0,96
<i>Ботогол</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен – амфибол	1,00	1,00	0,53	1,00	1,31	2,01	–
<i>Коргередабинский</i>							
Нефелиновые сиениты							
амфибол – слюда	0,39	0,42	0,89	2,00	0,90	1,30	–
<i>Северо-Восточная Тува</i>							
Щелочные сиениты							
пироксен – амфибол – слюда	0,59 (0,65)	0,61 (0,64)	0,97 (0,80)	0,75 (0,44)	2,19 (3,63)	1,00 (5,20)	– (0,40)
Щелочные граниты							
пироксен – амфибол – слюда	6,50 (0,50)	0,84 (0,04)	0,05 (0,04)	3,75 (1,75)	1,42 (3,67)	0,29 (4,10)	– (2,00)
<i>Катунский</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен – амфибол – слюда	0,83 (0,61)	0,86 (0,69)	1,18 (1,61)	1,33 (0,92)	1,40 (2,55)	1,54 (2,18)	– (0,63)
<i>Бурпала</i>							
Щелочные граниты							
пироксен – амфибол			0,07	11,00	4,75	3,90	–
<i>Сынныр</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен – слюда	0,73	0,89	1,88	1,50	1,69	2,83	–
Псевдолейцитовые сиениты							
пироксен – слюда	0,57	0,55	0,33	1,25	0,81	5,04	–
Дитроиты							
пироксен – слюда	0,73	0,69	0,50	0,75	11,00	4,18	–
<i>Нижне-Бурулзайский</i>							
Мельтейгиты							
пироксен – амфибол	0,57	0,45	0,73	1,75	2,25	1,54	–
<i>Ийолиты</i>							
пироксен – амфибол	1,60	1,14	0,47	2,25	2,00	1,19	–
<i>Верхне-Бурулзайский</i>							
Полевошпатовые ийолиты							
пироксен – амфибол	1,50	1,00	0,49	0,56	1,5	1,06	–
<i>Ингалинский</i>							
Шонкиниты							
пироксен – слюда	0,99	–	–	–	13,00	4,89	–
Сиенит – пегматиты							
пироксен – амфибол	2,32 (2,77)	1,00 –	0,13 –	–	0,56 (1,13)	1,17 (6,67)	–

Таблица 98 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Кокшаровский</i>							
Пироксениты							
пироксен – амфибол	0,78	0,79	0,43		2,67	3,03	–
<i>Лесогорский</i>							
Долериты							
пироксен – слюда	0,77	0,89	2,95		2,19	3,11	–
Моноциты							
пироксен – амфибол – слюда	0,91 (0,88)	0,82 (0,80)	0,18 (0,21)	1,00 (0,0)	4,00 (4,08)	3,52 (4,35)	–
Сиениты							
пироксен – амфибол	1,75	0,93	0,34	2,25	0,88	0,42	–
<i>Дежневский</i>							
Нефелиновые сиениты							
пироксен – амфибол – слюда	0,49 (0,64)	0,45 (0,52)	0,26 (0,14)	1,00 (1,30)	3,13 (3,13)	4,41 (4,88)	– (1,40)
Щелочные сиениты							
пироксен – амфибол	0,86	0,86	0,61	0,88	0,94	2,75	–
<i>Грабен Осло</i>							
Нефелиновые сиениты							
амфибол – биотит	0,85	0,89	1,48	0,54	7,67	1,36	–
<i>Гана</i>							
Нефелиновые гнейсы							
пироксен – амфибол	0,75	0,59	0,28	1,50	1,50	1,94	–
<i>Илмаусак</i>							
Какортокиты							
пироксен – амфибол	2,00	2,50	17,00	1,38	2,00	0,91	–
<i>Кунавара</i>							
Нефелиновые сиениты							
амфибол – слюда	0,46	0,48	0,77	1,50	1,44	1,86	–
<i>Ийолиты</i>							
пироксен – слюда	0,97	0,96	0,54	0,75	3,00	15,03	–

\* В таблице приведены отношения указанных параметров.

ленности железа увеличивается в обратном порядке. В ряде случаев наблюдается необычное распределение титана – пироксены являются более титанистыми, чем сосуществующие с ними амфиболы. Так как такое распределение характерно в основном для ПТМ уникальных агапитовых интрузий Ловозера и Хибин, по-видимому, нельзя говорить о случайной ошибке определения. В то же время дать удовлетворительное объяснение этому явлению пока не представляется возможным. Необычное распределение наблюдается для марганца. Им обогащены амфиболы как по сравнению с пироксенами, так и по сравнению со слюдами.

Распределение железа и магния  $\frac{Mg}{(Mg + Fe^{2+})}$  между ПТМ в подавляю-

щем большинстве случаев (67%) подчиняется закону Рамберга—Вора, т. е. наиболее магнезиальными являются слюды, наименее — пироксены, а амфиболы занимают промежуточное положение.

Анализ тех 26 пар и триад ПТМ, распределение железа и магния в которых не отвечает закону Рамберга—Вора, показывает, что среди них находятся ПТМ из самых различных пород: пироксенитов, габбро, монцонитов, мельтейгитов, ийолитов, карбонатитов, щелочных и нефелиновых сиенитов, т. е. практически всей гаммы пород щелочных комплексов. Эти породы являются явно разнотемпературными образованиями и объяснить "неправильный" характер распределения железа и магния температурным фактором достаточно сложно.

Попытаемся оценить температурный фактор, сопоставляя характер распределения указанных компонентов в ПТМ явно разнотемпературных образований—таких, например, как ранние пироксениты и нефелиновые сиениты, нефелиновые сиениты магматической стадии формирования и постмагматические метасоматиты.

В табл. 98 приведены данные по распределению железа и магния между сосуществующими ПТМ разнотемпературных пород магматических комплексов, содержащих щелочные дериваты. Единой тенденции температурного перераспределения указанных компонентов между ПТМ не отмечается.

Для щелочных интрузивных серий Южного Сахалина, Северо-Восточной Тувы отмечается перераспределение железа и магния в ПТМ в зависимости от температурности формирования пород, описанное Л.Л. Перчуком [109]. В высокотемпературных породах ранних фаз серий пироксены являются более магнезиальными, чем амфиболы и тем более слюды, а в более низкотемпературных породах заключительных фаз амфиболы становятся более магнезиальными, чем пироксены. Аналогичная картина наблюдается для Кокшаровского, Инаглинского и Ковдорского массивов.

В то же время для ряда массивов (Гулинского, Хибинского, Заангарского, Вуориярви, Гремяха-Вырмес, Октябрьского) отмеченная выше закономерность не подтверждается. Интересно отметить, что в обоих случаях, когда сопоставлялась железистость ПТМ из нефелиновых сиенитов и развивающихся по ним альбититов (Заангарский и Октябрьский массивы), распределение железа и магния оказывалось не соответствующим температурной зависимости.

Рассмотрим основные причины "неправильного" распределения железа и магния между ПТМ. Главной из них, вероятно, является неравновесное состояние ПТМ в породе. Критерий равновесности, приведенный в работе Л.Л. Перчука "отсутствие между двумя минералами реакционной зоны третьего минерала", на взгляд автора, не может быть признан удовлетворительным. Пользуясь этим критерием, оливин и замещающий его серпентин должны быть признаны равновесными, хотя последний является низкотемпературным минералом и его формирование может быть связано с гидротермальными растворами, не имеющими ничего общего с эволюцией расплава, из которого кристаллизовался оливин.

Другой причиной "неправильного" распределения является многокомпонентность состава амфиболов и слюд, влияние вхождения алюминия, титана и, возможно, марганца на распределение железа и магния.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа выявлены основные тенденции изменения составов ПТМ от ранних фаз интрузий к поздним и далее в ходе формирования постамагматических образований. Установлено, что эволюция составов ПТМ прежде всего выражается в уменьшении их магнезиальности, количества тетраэдрического алюминия и количества титана (для пироксенов и амфиболов). Одновременно увеличиваются щелочность, железистость, а для амфиболов и слюд также количество фтора, марганца, лития, рубидия, цезия, цинка, бериллия и ниобия.

Попытка проследить влияние щелочности и температурности на состав ПТМ позволила установить, что основным параметром химического состава ПТМ, интенсивно и закономерно меняющимся в зависимости от изменения температуры, является количество тетраэдрического алюминия, убывающее с понижением температуры кристаллизации. В том же направлении, но менее отчетливо убывает содержание титана.

С повышением щелочности в ПТМ увеличивается количество щелочей, окисного железа и титана, уменьшается их магнезиальность, количество ферросиллитового компонента в пироксенах и фтора в амфиболах и слюдах.

На основе наиболее интенсивно меняющихся в зависимости от условий минералообразования параметров состава — алюминиевости и количества щелочей (изменения которых приняты в качестве координат) — предложена унифицированная систематика пироксенов, амфиболов и слюд щелочных пород, расширенная, кроме того, по сравнению с существующими классификациями за счет включения широко развитых в щелочных породах титановых, марганцевых и бариевых амфиболов и слюд.

Породы одинакового петрографического состава (габбро, ийолиты, нефелиновые сиениты) из различных магматических серий обычно различаются по составу ПТМ в зависимости от формационной (генетической) принадлежности серий. Основным параметром состава ПТМ, который может быть наиболее эффективно использован для формационного расчленения этих пород, является удельная магнезиальность  $\frac{\text{Mg}}{(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})}$ , до-

полнительно могут быть успешно использованы также индикаторные Li/Rb отношение в слюдах, Nd/La отношение в пироксенах, а также содержания бария в слюдах и стронция в пироксенах.

Различие состава ПТМ ранних фаз нормальных и щелочных серий (пироксенитов и габброидов) позволяет предсказывать возможность обнаружения щелочных, потенциально рудоносных дериватов, в недостаточно обнаженных или мало эродированных массивах по составу, например пироксенов ранних фаз серий. Аналогичным образом по составу амфиболов и слюд гранитоидов представляется возможным судить о возможности нахождения в комплексе с ними щелочных часто рудоносных гранитов.

Проведенные исследования позволили очертить основные направления геохимии породообразующих минералов: выявить уровни содержания — "кларки" большого числа редких и рассеянных элементов в ПТМ, выявить ассоциации основных петрогенных и редких элементов, содержания которых меняются наиболее интенсивно, в зависимости от генезиса пород (стронций и редкоземельные элементы — для пироксенов;

фтор, барий, литий, рубидий — для слюд; фтор, литий, марганец — для амфиболов), наметить указанные выше индикаторные отношения, выявить типы щелочных пород, ПТМ которых в наибольшей степени концентрируют редкие элементы.

Существенным направлением геохимии минералов является выяснение характера распределения химических компонентов между сосуществующими минералами. Распределение магния и железа между сосуществующими ПТМ чаще всего соответствует зависимости, установленной Рамбергом и Вором, основывающейся на ассоциации сильнополяризующих катионов со слабополяризующимися анионами. Вхождение редких и рассеянных элементов определяется в основном их изоморфизмом с главными химическими компонентами. Так, стронций накапливается преимущественно в пироксенах, содержащих наибольшее среди ПТМ количество кальция, а рубидий и барий — в наиболее калиевом ПТМ — слюде.

Уровень содержаний химических компонентов в ПТМ в большей степени зависит от присутствия в парагенезисе собственных минералов этих компонентов. Так, в магнетитовых рудах щелочно-ультраосновных комплексов с магнетитом ассоциирует магнезиальная слюда; в ассоциации с таким стронцийемким минералом, как кальцит (в карбонатах), пироксен содержит мало стронция; в ассоциации с эвдиолитом пироксен беден цирконием; ассоциирующие с нефелином слюды содержат обычно меньше алюминия, чем в аналогичных безнефелиновых сиенитах.

Существенное влияние оказывает кристаллохимический фактор. Так, например, из двух кальциевых минералов пироксена и плагиоклаза редкоземельные элементы входят преимущественно в пироксен, в то же время стронций из этой пары минералов накапливается в плагиоклазе.

Влиянием кристаллохимического фактора определяется, по-видимому, и обогащение ПТМ более тяжелыми лантаноидами и танталом по сравнению с материнской породой. Вероятно, в ПТМ редкоземельные элементы изоморфны не только с кальцием, но и с железом.

Анализ данных по химическим составам ПТМ позволил выявить ряд побочных закономерностей, имеющих общее кристаллохимическое значение. Установлено закономерное увеличение количества катионов группы X в амфиболах и слюдах последовательно формирующихся магматических серий. Показано довольно широкое развитие амфиболов с количеством атомов щелочей, превышающим 3, что заставляет предполагать вхождение части натрия в позиции  $M_1$  и  $M_3$  амфиболов.

Проведенные исследования подтвердили на большом фактическом материале правомерность выделения потенциально рудоносных щелочных пород на основе предложенного Е.И. Семеновым мультипликативного коэффициента  $Na \times F$  в амфиболах и показали возможность использования для тех же целей уровня содержаний фтора в слюдах. Количество фтора в слюдах и амфиболах отражает степень дифференциации первичного магматического расплава. Необходимо только при использовании этого коэффициента учитывать и объем пород, содержащих амфиболы данного состава, так как для оценки перспективной рудоносности важна не только степень дифференциации, но и масштаб проявления продуктов заключительной стадии дифференциации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдаррахманов К.А.* Петрология и металлогения щелочных пород в Таласском Алатау. Алма-Ата: Наука, 1965. 135 с.
2. *Адамян А.И.* Петрография щелочных пород Мегринского района АрмССР. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1955. 107 с.
3. *Айнберг Л.Ф.* Роговые обманки из Мариупольского щелочного массива. — Изв. Гл. геол.-развед. упр., 1930, т. 49, № 5, с. 75–105.
4. *Андреев Г.В.* Кондерская интрузия центрального типа в пределах Алданской плиты. — В кн.: Материалы 2-го Всесоюз. петрогр. совещ. М.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 558–561.
5. *Андреев Г.В., Шаракшинов А.О., Литвиновский Б.Л.* Интрузии нефелиновых сиенитов Западного Забайкалья. М.: Наука, 1969. 187 с.
6. *Андреева Е.Д.* О феррогастингите из жильного нефелинового сиенита (Кузнецкий Алатау). — В кн.: Щелочной магматизм складчатого обрамления юга Сибирской платформы. М.: Наука, 1965, с. 230–241.
7. *Андреева Е.Д.* Щелочной магматизм Кузнецкого Алатау. М.: Наука, 1968. 170 с.
8. *Анкинович С.Г., Анкинович Е.А., Рождественская И.В., Франк-Комеицкий В.А.* Чернышит — новая бариево-ванадиевая слюда из Северо-Западного Каратау. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1972, ч. 101, вып. 4, с. 451–458.
9. *Архипенко Д.К., Бобр-Сергеев А.А., Григорьева Т.Н., Ковалева Л.Т.* О возможности заполнения октаэдрических структурных позиций в слюдах одновалентными катионами натрия. — Докл. АН СССР, 1965, т. 160, № 2, с. 429–431.
10. *Базарова Т.Ю., Костюк В.П.* О природе псевдолейцитовых шонкинитов Дежневского массива. — Тр. Зап.-Сиб. отд-ния Всесоюз. минерал. о-ва, 1975, вып. 2, с. 151–154.
11. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 1976. 267 с.
12. *Балашов Ю.А., Надарейшвили Д., Кекелия Н.А.* Баланс редкоземельных элементов в габброидах Квиранской интрузии. — Геохимия, 1970, № 10, с. 1204–1214.
13. *Батиева И.Д., Белков И.В.* Сахарюкский щелочной массив. — Изв. Карел. и Кол. фил. АН СССР, 1958, № 2, с. 40–46.
14. *Батиева И.Д.* Темноцветные минералы из пород формации щелочных гранитов-сиенитов Кольского полуострова. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1972, № 9, с. 34–52.
15. *Белов Н.В.* Очерки по структурной минералогии. — Минерал. сб. Львов. геол. о-ва, 1950, № 4, с. 21–34.
16. *Белоусов В.В., Герасимовский В.И., Горячев А.В.* и др. Восточно-Африканская рифтовая система. М.: Наука. 1974. Т. 3.
17. *Бершов Л.В., Марфунин А.С., Минеева Р.М.* Электронно-парамагнитный резонанс (ЭПР) "Mn" в тремолите. — Геохимия, 1966, № 4, с. 464–466.
18. *Билибин Ю.А.* Эволюция пироксенов в процессе кристаллизации щелочных магм. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1946, ч. 75, вып. 3, с. 207–216.
19. *Богомолов М.А.* Некоторые особенности петрографии массивов центрального типа с дунитовым ядром на алданском щите. — В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1968, с. 312–363.
20. *Бондарева А.М., Рогачев Д.Л., Сахарова А.С.* Литийсодержащий щелочной амфибол из контактной зоны Ловозерского массива. — Зап. Все-

- союз. минерал. о-ва, 1959, ч. 88, вып. 6, с. 710–712.
21. *Борисенко А.А., Злобин В.И.* Галлий в щелочных породах массива гор Сандык (Северная Киргизия). — *Геохимия*, 1959, № 6, с. 505–512.
  22. *Борнеман-Старынкевич И.Д.* Руководство по расчету формул минералов. М.: Наука, 1964. 224 с.
  23. *Боруцкий Б.Е.* К типоморфизму щелочных полевых шпатов Хибинского массива. — В кн.: Типоморфизм минералов. М.: Наука, 1969, с. 220–243.
  24. *Бурков В.В., Подпорина Е.К.* О редких элементах в кимберлитовых породах. — Докл. АН СССР, 1965, т. 163, вып. 1, с. 197–200.
  25. *Буров В.Г., Буркин М.М., Христов Е.В., Христова М.П.* Суртекинская интрузия щелочных пород. — Зап. Кирг. отд-ния Всесоюз. минерал. о-ва, 1965, вып. 5, с. 39–49.
  26. *Буссен И.В., Сахаров А.С.* Петрология Ловозерского щелочного массива. Л.: Наука, 1972. 296 с.
  27. *Буссен И.В., Денисов А.П., Успенская Е.И.* Магнезиально-железистые слюды из Ловозерского массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1972, вып. 9, с. 25–33.
  28. *Вальтер А.А., Горозецкая Л.И., Зверев Н.Д., Романов В.П.* О двух типах распределения атомов железа в структуре пироксенов близких к геденбергиту (по данным мессбауэровской спектроскопии). — Докл. АН СССР, 1970, т. 192, № 3, с. 629–642.
  29. *Виноградов А.П.* Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — *Геохимия*, 1962, № 7, с. 555–571.
  30. *Власов К.А., Кузменко М.В., Еськова Е.М.* Ловозерский щелочной массив. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 623 с.
  31. *Волков В.П., Поляков А.И., Карahanова М.И.* Особенности химизма породообразующих минералов дифференцированного комплекса Ловозерского щелочного массива. — *Геохимия*, 1962, № 7, с. 482–489.
  32. *Воробьев Е.И., Пожарицкая Л.К., Фролова Л.И.* Распределение Li и Rb в щелочных–ультраосновных массивах Восточной Сибири. — В кн.: Особенности петрологии, минералогии и геохимии карбонатитов Восточной Сибири. М.: Наука, 1966, с. 102–108.
  33. *Воробьев Е.И., Пожарицкая Л.К.* Распределение Ва и Sr в ультраосновных–щелочных породах и карбонатитах Восточной Сибири. М.: Наука, 1966, с. 85–101.
  34. *Гаврилин Р.Д.* Геологическое строение сложного сиенит-гранитного массива Кзыл-Омпул (Северный Тянь-Шань). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1964, № 3, с. 69–83.
  35. *Галахов А.В.* Особенности состава породообразующего нефелина Хибинского щелочного массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1962, вып. 3, с. 107–125.
  36. *Галахов А.В.* Состав породообразующих калинатровых шпатов в связи с химизмом и последовательностью формирования щелочных пород Хибинского массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1968, вып. 6, с. 225–243.
  37. *Галахов А.В.* Петрология Хибинского щелочного массива. Л.: Наука, 1975. 256 с.
  38. *Гамалея Ю.Н.* Щелочные амфиболы Улканского плутона и содержания в них редких элементов. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1970, № 2, с. 39–49.
  39. *Ганзеев А.А., Дусматов В.Д., Ефимов А.Ф., Акрамов Л.Н.* Li, Rb, Cs и Ti в слюдах Туркестано-Алайской щелочной провинции. — Докл. АН ТаджССР, 1976, т. 19, № 6, с. 48–51.
  40. *Герасимовский В.И., Несмеянова Л.И.* О распределении свинца и цинка в породах Ловозерского массива. — *Геохимия*, 1960, № 7, с. 590–593.
  41. *Герасимовский В.И.* К геохимии фтора в нефелиновых сиенитах. — *Геохимия*, 1963, № 3, с. 237–244.
  42. *Герасимовский В.И., Волков В.П., Козарко Л.Н.* и др. *Геохимия Ловозерского щелочного массива.* М.: Наука, 1966. 395 с.
  43. *Гинзбург И.В.* Обзор систематики пироксенов. — В кн.: Минералы базитов в связи с вопросами петрогенезиса. М.: Наука, 1970, с. 3–39.
  44. Главнейшие провинции и формации щелочных пород/ Под ред.

- Л.С. Бородина. М.: Наука, 1974. 376 с.
45. *Гоньшакова В.И.* Вопросы петрологии и металлогении щелочно-ультраосновных, щелочно-базальтоидных формаций древних платформ. — В кн.: Актуальные вопросы современной петрографии. М.: Недра, 1974, с. 145–155.
  46. *Грозданов Л.* Кристаллохимические и рентгеновские исследования некоторых роговых обманок из Свиднейских калиево-щелочных магматических пород. — Изв. Политех. ин-та Болг. АН. Сер. геохим., минерал., петрогр., 1969, № 18, с. 123–143.
  47. Гулинская интрузия ультраосновных-щелочных пород. Л., 1961. 274 с. (Тр. НИИГА; Т. 122).
  48. *Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Ю.* Породообразующие минералы. М.: Мир. Т. 2. 1966. 405 с.; Т. 3. 1966. 387 с.
  49. *Даминова А.М.* Щелочные горные породы Центрального Таймыра. — Тр. Ун-та Дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 1963, т. 3, с. 3–48.
  50. *Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутолин В.А.* Породообразующие пироксены. М.: Наука, 1971. 454 с.
  51. *Доброхотова Е.С., Калинин П.В., Левин В.Я., Роненсон Б.М.* Закономерности изменения состава породообразующих минералов в вишневогорско-ильменогорском комплексе Урала. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1968, № 11, с. 23–33.
  52. *Доброхотова Е.С.* Разновидность зеленого магнезио-катофорита среди амфиболов Вишневых гор на Урале. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1969, № 3, с. 49–56.
  53. *Елисеев Н.А., Кушев В.Г., Виноградов А.Ц.* Протерозойский интрузивный комплекс Восточного Приазовья. М.: Наука, 1965. 204 с.
  54. *Еськова Е.М.* Формационные черты нефелин-сиенитовых комплексов Урала и геохимия в них редких элементов. — В кн.: Проблемы петрологии, геохимии, минералогии щелочных пород. Свердловск, 1974, с. 58–69. (Тр. Ильмен. гос. заповедника им. В.И. Ленина; Т. II).
  55. *Еськова Е.М., Жабин А.Г., Мухитдинов Г.Н.* Минералогия и геохимия редких элементов Вишневых гор. М.: Наука, 1964. 319 с.
  56. *Еськова Е.М.* Типохимизм слюд редкометалльных щелочных метасоматитов как индикатор формационной принадлежности и потенциальной рудоносности. — В кн.: Геохимические особенности минералов нефелин-сиенитовых и гранит-пегматитовых месторождений. М., 1978, с. 18–33.
  57. *Ефимов А.Ф., Кравченко С.В., Власова Е.В.* К минералогии щелочных пегматитов Ингалинского массива. — Тр. ИМГРЭ, 1963, вып. 16, с. 141–175.
  58. *Ефимов А.Ф., Тихомирова Н.И., Катаева З.Т.* Распределение редких элементов в породообразующих минералах. — В кн.: Материалы научных собраний. М., 1971, вып. 5, с. 51–52.
  59. *Ефимов А.Ф., Ганзеев А.А., Любимилова Г.В.* Микроклинизированные гранит-аплиты массива Бурпала. — В кн.: Редкометалльные месторождения, их генезис и методы исследования. М., 1972, с. 179–189.
  60. *Ефимов А.Ф., Ганзеев А.А., Катаева З.Т.* Пироксены, амфиболы и железисто-магнезиальные слюды. — В кн.: Средние содержания элементов-примесей в минералах. М.: Недра, 1973, с. 113–143.
  61. *Ефимов А.Ф., Еськова Е.М.* Минералогия щелочных метасоматитов западного склона Урала. — В кн.: Новые данные по геологии, минералогии и геохимии щелочных пород. М.: Наука, 1973, с. 90–128.
  62. *Ефимов А.Ф.* Использование типохимизма породообразующих минералов при формационном делении нефелиновых сиенитов. — В кн.: Проблемы геологии редких элементов. М.: Наука, 1978, с. 281–287.
  63. *Заварицкий А.Н.* Петрография Бердушского плутона. П.; М.: ОНТИ, 1937. 367 с.
  64. *Залищак Б.Л.* Кокшаровский массив ультраосновных и щелочных пород. М.: Наука, 1969. 116 с.
  65. *Злобин Б.И.* Петрографический очерк и петрохимия щелочной интрузии гор Сандык. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1960, № 2, с. 91–104.
  66. *Злобин Б.И., Лебедев В.И.* Геохимические связи Li, Na, K, Rb, Tl в щелочной магме и их некоторое пет-

- рогенетическое значение. — Геохимия, 1964, № 4, с. 87—103.
67. *Знаменский Е.Б.* О распределении ниобия и тантала в гранитах. Геохимия, 1957, № 3, с. 222—225.
  68. *Звярянов В.И.* Щелочно-гранитоидная формация Чингизской зоны. — Тр. Ин-та геол. наук им. К.И. Сагпаева, 1965, т. 12, с. 113—128.
  69. *Иванова Н.А., Козырева Л.В.* Породообразующий лепидомелан ийолитуртитов Хибинского массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1971, вып. 8, с. 28—33.
  70. *Исаков М.Г.* Крокидолит и рибекит в жилах альпийского типа, связанных со щелочными породами. — В кн.: Минералы изверженных горных пород и руд Урала. М.: Наука, 1967, с. 61—65.
  71. *Ифантопуло Т.Н.* Минералого-геохимические особенности щелочных пород Центрального Туркестан-Алая. М.: Недра, 1975. 129 с.
  72. *Каварцин Г.И.* Керсутит из ультраосновных пород некоторых массивов Кольского полуострова. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1959, вып. 1, с. 55—61.
  73. *Капустин Ю.Л.* Минералогия карбонатов. М.: Наука, 1971. 288 с.
  74. *Каюмов А.К.* О феррогастингите из нефелиновых сиенитов гор Кульджуктау (Тозбулакский массив). — Узб. геол. журн., 1971, № 4, с. 64—69.
  75. *Коваленко В.И., Пополитов Э.И.* Петрология и геохимия редких элементов щелочных и гранитоидных пород Северо-Восточной Тувы. М.: Наука, 1970. 258 с.
  76. *Козырева Л.В., Мокрецова А.В.* Новые данные по магнетитно-железистым слюдам Хибинского массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1967, № 5, с. 221—224.
  77. *Козырева Л.В., Филатова Р.А.* Пироксенные интрузивных комплексов пород массива Вуориярви. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1972, № 9, с. 65—72.
  78. *Козырева Л.В., Филатова Р.А.* Породообразующие минералы нефелиносодержащих пород массива Грехья-Вырмес. — В кн.: Щелочные породы Кольского полуострова. М.: Наука, 1974, с. 89—104.
  79. *Конева А.А.* Петрография щелочных ультраосновных и основных пород Сайжинского и Гулхенского плутонов. Иркутск, 1962. 140 с. (Тр. Вост.-Сиб. геол. ин-та; Вып. 11).
  80. *Конева А.А.* Жидойский щелочнультраосновной плутон. М.: Наука, 1970. 84 с.
  81. *Кононова В.А.* О взаимодействии нефелиновых сиенитов и мраморов на примере Чахыртайского иньекционного поля. — В кн.: Щелочной магматизм складчатого обрамления Сибирской платформы. М.: Наука, 1965, с. 182—206.
  82. *Кононова В.А.* Первично-расслоенная Баянкольская интрузия геденбергитовых нефелиновых сиенитов. — Тр. ИГЕМ АН СССР, 1962, вып. 76, с. 39—70.
  83. *Кононова В.А.* Уртит-ийолитовые интрузии Юго-Восточной Тувы и некоторые вопросы их генезиса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 111 с.
  84. *Кориковский С.П.* Влияние щелочности на состав кальциевых амфиболов в магматических породах. — Докл. АН СССР, 1966, т. 171, № 5, с. 1183—1186.
  85. *Кориковский С.П.* Влияние некоторых внешних условий на состав и парагенезисы кальциевых амфиболов. — В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1968, с. 138—164.
  86. *Коржинский Д.С.* Кислотность—щелочность как главнейший фактор магматических и послемагматических процессов. — В кн.: Магматизм и связь с ним полезных ископаемых. М.: Госгеолтехиздат, 1960, с. 21—30.
  87. *Костюк В.П., Базарова Т.Ю.* Петрология щелочных пород восточной части Восточного Саяна. М.: Наука, 1966. 168 с.
  88. *Костюк Е.А.* Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород. М.: Наука, 1970. 312 с. (Тр. Ин-та геологии и геофизики Сиб. отд-ния АН СССР; Вып. 90).
  89. *Костылева-Лабунцова Е.Е., Боруцкий Б.Е., Соколова М.Н.* и др. Минералогия Хибинского массива. М.: Наука, 1978. Т. 1, 2.

90. *Котляр В.Н.* Памбак. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1958. 228 с.
91. *Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутюлин В.А., Фролова В.М.* Состав моноклинных пироксенов магматических пород разных формационных типов. — Докл. АН СССР, 1967, т. 176, № 5, т. 176, с. 149–152.
92. *Кузьменко М.В.* О роли слюд в процессе концентрации тантала. — Докл. АН СССР, 1961, т. 140, № 6, с. 1411–1414.
93. *Кухаренко А.А., Орлова М.Н., Булах А.Г.* и др. Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского полуострова и Северной Карелии. М.: Недра, 1965. 772 с.
94. *Кухаренко А.А., Орлова М.П., Багдасаров Э.А.* Щелочные габброиды Карелии. Л.: Изд-во ЛГУ, 1969. 184 с.
95. *Лазаренков В.Г., Игнатьев А.В., Ложинова Т.И.* Строение массива фельшпатоидных сиенитов архипелага Лос. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1973, ч. 102, вып. 1, с. 43–53.
96. *Левин В.Я.* Щелочная провинция Ильменских–Вишневых гор. М.: Наука, 1974. 223 с.
97. *Левин В.Я., Роненсон Б.М.* О происхождении миаскитовых нефелиновых сиенитов. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1980, № 11, с. 13–31.
98. *Литвин А.Л., Егоров Л.Н., Тепикин В.Е.* Структура и распределение  $Mg-Fe^{2+}$  в роговой обманке из гнейсов р. Роси. — В кн.: Конституция и свойства минералов. Киев: Наук. думка, 1971, т. 5, с. 3–8.
99. *Литвин А.Л., Ефимов А.Ф., Мичник Т.Л.* и др. Структура и некоторые особенности кристаллохимии трех щелочных амфиболов. — В кн.: Конституция и свойства минералов. Киев: Наук. думка, 1976, т. 10, с. 3–9.
100. *Ляхович В.В.* Редкие элементы в породообразующих минералах гранитоидов. М.: Недра, 1972. 200 с.
101. *Маракушев А.А., Тарарин И.А.* О минералогических критериях щелочности гранитоидов. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1965, № 3, с. 20–37.
102. *Маракушев А.А.* Основность минералов горных пород и минеральных равновесий. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1979, № 1, с. 30–46.
103. Минералогия щелочных массивов и их месторождений/Под ред. Е.И. Семенова. М.: Наука, 1974. 247 с.
104. *Нечаева Е.А., Сидоренко Г.А.* Щелочные амфиболиты карбонатитов Озерного массива. — В кн.: Геология месторождений редких элементов. М., 1972, с. 146–153. (Тр. ВИМС; Вып. 35).
105. *Нурлыбаев А.Н.* Минералогия щелочных интрузий Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1976. 230 с.
106. *Павленко А.С., Быховер В.Н.* Монголо-Тувинская провинция щелочно-гранитоидных пород и некоторые черты их происхождения и геохимия. — В кн.: Геохимия, петрология и минералогия щелочных пород. М.: Наука, 1971, с. 86–120.
107. *Перчук Л.Л.* Магматическое замещение карбонатных толщ с образованием нефелиновых сиенитов и других щелочных пород на примере Дежневского массива. — В кн.: Физико-химические условия формирования горных пород и руд. М.: Изд-во АН СССР, 1963, т. 2, с. 160–181.
108. *Перчук Л.Л.* Вариации составов бедных кальцием железомagneйных минералов щелочных пород. — В кн.: Метасоматизм и другие вопросы физико-химической петрологии. М.: Наука, 1968, с. 96–137.
109. *Перчук Л.Л.* Равновесия породообразующих минералов. Наука: 1970. 391 с.
110. *Перчук Л.Л., Павленко А.С.* Влияние температуры на распределение некоторых изоморфных компонентов между сосуществующими минералами щелочных пород. — Геохимия, 1967, № 9, с. 1063–1082.
111. *Петров Б.В., Макрыгина В.А.* Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма. Новосибирск: Наука, 1975. 342 с.
112. *Поваренных А.С.* Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев.: Наук. думка, 1966. 547 с.
113. *Пожарицкая Л.К., Самойлов В.С.* Петрология, минералогия и геохимия карбонатитов Восточной Сибири. М.: Наука, 1972. 267 с.
114. *Полканов А.А., Елисеев Н.А., Елисеев Э.Н., Квардин Г.И.* Массив

- Гремяха-Вырмес на Кольском полуострове. М.: Наука, 1967. 236 с.
115. *Поляков Е.И.* Пироксены и амфиболы ийолит-уртитов Хибинского массива. — В кн.: Материалы по минералогии Кольского полуострова. Апатиты, 1967, № 7, с. 38–42.
  116. *Пополитов Э.И., Петрова Л.Л., Коваленко В.П.* К геохимии бериллия в среднепалеозойских интрузиях Северо-Восточной Тувы. — Геохимия, 1967, № 7, с. 813–821.
  117. *Пятенко Ю.А.* О едином подходе к анализу локального баланса валентностей в неорганических структурах. — Кристаллография, 1972, т. 17, № 4, 773 с.
  118. *Римская-Корсакова О.М., Соколова Е.П.* О железисто-магнезиальных слюдах с обратной схемой абсорбции. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1964, ч. 93, вып. 4, с. 411–423.
  119. *Рогова В.П.* Минералогическо-геохимические особенности псевдолейцитовых и калиевых щелочных пегматитов Мурунского массива. — В кн.: Вопросы минералогии и геохимии пегматитов Восточной Сибири. Иркутск, 1976, с. 145–155.
  120. *Родыгина В.Г.* Пироксены Кня-Шалтырского массива (Кузнецкий Алтай). — В кн.: Сборник статей по геологии Сибири. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1975, с. 125–138.
  121. *Роненсон Б.М.* Происхождение миаскитов и связь с ними редкометалльного оруденения. — В кн.: Геология месторождений редких элементов. М.: Недра, 1966, вып. 28, 174 с.
  122. *Роненсон Б.М., Афанасьев Б.В., Левин В.Я.* Парагенезисы турьяитов Турьего полуострова. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 11, с. 15–25.
  123. *Ротман Л.Э.* Материалы к характеристике амфиболов и пироксенов из пегматитовых жил Ильменских гор. — Зап. Ленингр. пед. ин-та, 1956, т. 117, с. 55–83.
  124. *Самойлов В.С.* Зависимость коэффициента распределения железа между ассоциирующимися биотитом и пироксеном от щелочности и температуры. — Докл. АН СССР, 1969, т. 185, № 5, с. 1141–1144.
  125. *Самойлова Н.В.* Петрохимические особенности ассоциации ийолит-мельтейгитовых пород и нефелиновых сиенитов. — Тр. ИГЕМ АН СССР, 1962, вып. 76, с. 143–169.
  126. *Самсонова Н.С.* Минералы группы нефелина. М.: Наука, 1973. 145 с.
  127. *Свешникова Е.В.* Нефелин-сиенитовый комплекс Заангарья (Енисейский край). — В кн.: Щелочной магматизм складчатого обрамления юга Сибирской платформы. М.: Наука, 1965, с. 5–98.
  128. *Свешникова Е.В., Ломейко Е.И., Ершова Е.И., Уанко А.М.* Фторсодержащие магнезиальные арфведсониты из щелочных пород Енисейского края. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1966, № 17, с. 224–228.
  129. *Семенов Е.И.* Минералогия щелочного массива Илимаусак (Южная Гренландия). М.: Наука, 1969. 165 с.
  130. *Семенов Е.И.* Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972. 307 с.
  131. *Сердюченко Д.П.* О химической конституции и классификации слюд. — Докл. АН СССР, 1948, т. 59, № 3, с. 545–548.
  132. *Сердюченко Д.П.* О некоторых слюдах необычного состава. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1969, вып. 19, с. 70–77.
  133. *Стоялов С.П.* Арбарастахский массив ультраосновных и щелочных пород. — В кн.: Материалы по региональной геологии. Л.: Наука, 1961, вып. 7, с. 74–84.
  134. *Тихоненкова Р.П.* Фениты Хибинского щелочного массива. — В кн.: Редкометалльные метасоматиты щелочных массивов. М.: Наука, 1967, с. 5–94.
  135. *Тихоненкова Р.П., Нечаева И.А., Осокин Е.Д.* Петрология калиевых щелочных пород. М.: Наука, 1971. 215 с.
  136. *Уэйджер Л.Р., Браун Г.* Расслоенные изверженные породы. М.: Мир, 1970. 552 с.
  137. *Червинский П.Н.* Средний химический состав главных минералов изверженных, метаморфических и осадочных пород. Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1953. 87 с.
  138. Щелочные породы/Под ред. Х. Серенсена. М.: Мир, 1976. 400 с.
  139. *Яшина Р.М.* Харлиньский концентрически-зональный щелочной массив и условия его образования. — В кн.: Щелочные породы Сибири. М.: Наука, 1962, с. 7–38. (Тр. ИГЕМ АН СССР; Вып. 76).
  140. *Яшина Р.М.* О контактово-реакционном взаимодействии нефелин-сие-

- нитовых интрузий с габброидами на примере зонально-кальциевой структуры Коргердабинского массива Юго-Восточной Тувы. — В кн.: Щелочной магматизм складчатого обрамления юга Сибирской платформы. М.: Наука, 1965, с. 99—181.
141. *Adams F.D., Barlow A.P.* Geology of the Haliberton and Bancroft areas, province of Ontario. — Mem. Geol. Surv., 1910, vol. 6, p. 1—419.
  142. *Adamson O.I.* The petrology of the Norra Karr district. — Geol. foren. Stockholm förhandl., 1944, vol. 66, p. 113—225.
  143. *Addison W.E., White A.D.* Spectroscopic evidence for the siting of lithium ions in a riebeckite. — Miner. Mag., 1968, vol. 36, p. 743—744.
  144. *Aoki K.* Clinopyroxenes from alkaline rocks of Japan. — Amer. Miner., 1964, vol. 49, N 9/12, p. 1199—1223.
  145. *Barth T.* Studies of the igneous rocks complex on the Oslo region: Systematic petrography of the plutonic rocks. — Nosske vid Acad. 1 mat. naturv. kl., Oslo, 1944, N 9, s. 1—104.
  146. *Bilgrami S.A.* Manganese amphiboles from Chikla, Bhandara district, India. — Miner. Mag., 1955, vol. 30, N 633, p. 127—130.
  147. *Bilgrami S.A.* Manganese silicate minerals from Chikla, Bhandara district, India. — Miner. Mag., 1956, vol. 31, N 236, p. 71—77.
  148. *Borley G.D.* Amphiboles from the younger granites of Nigeria. — Miner. Mag., 1963, vol. 33, N 260, p. 358—376.
  149. *Borley G.D., Frost M.T.* Some observations on igneous ferrohastingsites. — Miner. Mag., 1963, vol. 33, N 263, p. 646—662.
  150. *Borodin L.S., Copal V., Moralev V.M.* et al. Precambrian carbonatites of Tamilnadu South India. — J. Geol. Soc. India, 1971, vol. 12, N 12, p. 101—112.
  151. *Brogger W.C.* Die Eruptivgestein des Oslogebities, VI über verschiedene Ganggesteine des Oslo gebities. — Ndrsk Vidense selse., Ser. 1, Math. Nature kl. Oslo, 1932, N 7, s. 1—207.
  152. *Brock P.W.G., Gellatly D.C., Knoring O. von.* Mboziite a new sodic amphibole and member. — Miner. Mag., 1964, vol. 33, p. 1057—1065.
  153. *Carmichall I.S.E.* The mineralogy and petrology of the volcanic rocks from the Leucite hills, Wyoming. — Contribs Mineral. and Petrol., 1967, vol. 15, p. 24—66.
  154. *Clark I.K., Appleman D.E., Papike I.I.* Cristal-chemical characterization of clinopyroxenes based on eight new structure refinements. — Miner. Soc. Amer. Spec. Pap., 1969, vol. 2, p. 31—50.
  155. *Dietrich R.V., Heier K.S.* Differentiation of quartzbearing syenite (nordmarkite) and riebeckiticarfedsonite granite (ekerite) of the Oslo series. — Geochim. et cosmochim. acta, 1967, vol. 37, N 2, p. 275—286.
  156. *Dixon B.E., Kennedy W.Q.* Optically uniaxial titanaugite from Aberdeenshire. — Ztschr. Kristallogr., 1933, vol. 86, p. 112—120.
  157. *Eckerman H.V.* The distribution of barium and strontium in the rocks and minerals of the syenite and alkaline rock of Alnö Island. — Ark. for miner. och geol., 1952, bd 1, H. 3/4, s. 367—375.
  158. *Eckerman H.V.* The pyroxenes of the Alnö carbonatite (sövite) and of the surrounding fenites. — Miner. Soc. India, IMA, 1966, p. 76—77.
  159. *Emeleus C.H.* The Gronnedal-Ika alkaline complex. South Greenland. — Medd. Gronland, 1964, bd. 172, N 3, s. 62—84.
  160. *Emeleus C.H., Harry W.T.* The Igalko nepheline syenite complex. — Medd. Gronland, 1970, bd. 186, N 3, s. 1—116.
  161. *Erickson R.L., Blade L.V.* Geochemistry and petrology of alkalic igneous complex at Magnet Cove, Arkansas. — Geol. Surv. Profess. Pap., 1963, vol. 425, p. 1—91.
  162. *Ernst W.G.* Alkali amphibole. — Carnegie Inst. Wash. Yearbook, 1959, vol. 58, p. 121—126.
  163. *Escola P., Sahlstein G.* On astrophilite-bearing nepheline syenite gneiss found as a boulder in Kiihtelysvaara, Finland. — Bull. Commis. geol. Finl., 1930, vol. 77, N 92, p. 91—93.
  164. *Ferguson A.K.* The crystallization of pyroxenes and amphiboles in some alkaline rocks and the presence of a pyroxene compositional cap. — Contribs Mineral. and Petrol., 1978, vol. 67, p. 11—15.
  165. *Freundenberg W.* Der Anophorite eine neue Hornblende vom Katzenbuckel. — Neues Jb. Mineral. Abh., 1910, vol. 1, N 34, p. 9—11.

166. *Gellarty D.C., Hornung C.* Metasomatic nepheline-bearing gneisses from Darkainle, Somali Republic. — *J. Geol.*, 1968, vol. 76, p. 678–691.
167. *Ghose S.* A scheme of cation distribution in the amphiboles. — *Miner. Mag.*, 1965, vol. 35, p. 46–54.
168. *Girod M.* Le massif volcanique de l'atacor Hoggar (Sahara, Algerien) Etude petrographique, structurale et volcanologique. — In: Centre Nat. de la Recherche. Sci., P., 1971, p. 1–157.
169. *Gittings I.* Nephelinization in the Haliberton-Bancroft district Ontario, Canada. — *J. Geol.*, 1961, vol. 69, p. 291–308.
170. *Gold D.P.* Minerals from the Oka alkaline complex, near Montreal, Quebec, Canada. — In: Intern. Miner. Assoc. India, 1964, p. 54–55.
171. *Gomes C.B., Moro S.L., Dutra C.V.* Pyroxenes from the alkaline rocks of Jtapirapua, San Paulo, Brazil. — *Amer. miner.*, 1970, vol. 55, N 1/2, p. 224–230.
172. *Grapes R., Yagl K., Okumyra K.* Aenigmatite, sodic pyroxene, arfvedsonite and associated minerals in syenites from Morotu, Sakhalin. — *Contribs Mineral. and Petrol.*, 1979, vol. 69, p. 97–103.
173. *Hartman P.* Can Ti replace Si in silicates. — *Miner. Mag.*, 1969, vol. 37, N 287, p. 366–370.
174. *Henderson C.M.B.* Chemistry of hastingsitic amphibols from Marangudzi igneous complex, Southern Rhodesia. — Intern. Miner. Assoc. Pap. and Proc. of the fifth gen. meet., L., 1968, p. 35–36.
175. *Hlawatsch C.* Aber den amphibol von Gevadaes (Portugal). — *Rosenbush Festschrift, Abstr.*, Stuttgart, 1908, Bd. 76, N 1, S. 24–25.
176. *Holm R.F.* Garnets pyroxenes and amphiboles from nepheline gneisses in Hana. — *Amer. Miner.*, 1971, vol. 56, N 11/12, p. 2–5.
177. *Holms A., Harwood F.* Petrology of the volcanic fields last and southeast of Ruwenzori, Uganda. — *Quart. J. Geol. Soc.*, 1932, vol. 88, p. 36–38.
178. *Holzner J.* Beitrage zur Chemie und Optik sanduhr für mige Titanaugite. — *Ztschr. Kristallogr.*, 1934, vol. 87, N 1, p. 20–34.
179. *Janovici V., Jonescu J.* Contributii la mineralogia masivului alcalin de la Ditrau. Amfibolii Studii. — *Si cercetari de Geol. Geof.*, Ser. Geol., 1969, vol. 14, N 2, p. 353–361.
180. *Jans H., Bethune P.* The alkalic amphibole of Lueshe carbonate. — In: Intern. Miner. Assoc. — Pap. and Proc. of the fifth gen. meet., L., 1968, p. 40–42.
181. *Keller J.* Frühe Mineralanalysen im Kaiserstuhl im Vergleich mit modern Mikrosondendaten. — *Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg.* 1977, Bd. 67, S. 113–125.
182. *Kesson S., Price R.C.* The major and trace element chemistry of kaersutite and its bearing on the petrogenesis of alkaline rocks. — *Contribs Mineral. and Petrol.*, 1972, vol. 35, N 2, p. 119–124.
183. *King B.C., Sutherland D.S.* Alkaline rocks of Eastern and Southern Africa. Pt II. Petrology. — *Sci. Progr.*, 1960, vol. 48, p. 18–26.
184. *Kitamura M.* Crystal structure of kaersutite. — *Sci. Repts Tohoku Univ.*, Ser. 3, 1971, vol. 11, N 2, p. 125–141.
185. *Knopp A.* Der Kiserstuhl im Breisgau. Leipzig, 1892, S. 125–141.
186. *Lacroix A.* Les syenites nephelinique de l'archipel de Los et leur mineraux. — *Nouv. Arch. Mus.*, 1911, vol. 3, N 95, p. 1–182.
187. *Larsen E.S., jun., Gonyer F.A., Irving J.* Petrologic results of a study of the minerals, from the Tertiary volcanic rocks of Sun Juan Region, Colorado. 6 Biotite. — *Amer. Miner.*, 1937, vol. 22, N 898, p. 26–33.
188. *Leake B.* Nomenclature of amphiboles. — *Miner. Mag.*, 1978, vol. 42, N 324, p. 533–563.
189. *Manguin* Etude des micas an moyens des rayons X. — *C. r. Acad. Sci.*, Paris, 1927, vol. 185, N 288, p. 21–32.
190. *Mansker W.L., Ewing R.C., Keil K.* Barian-titanian biotites in nephelinites from Oahu, Hawaii. — *Amer. Miner.*, 1979, vol. 64, N 1/2, p. 156–159.
191. *Miller T.P.* Potassium rich alkaline intrusive rocks of Western Alaska. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1972, vol. 83, N 7, p. 2111–2127.
192. *Mitchell I.T., Bloss F.D., Gibbs G.V.* Examination of the actinolite structure and four other C r/m amphiboles in terms of double bonding. — *Ztschr. Kristallogr.*, 1971, Bd. 133, S. 275–300.
193. *Moore P.B.* Joesmithite a new amphibole-like mineral from Longban. —

- Ark. miner. och geol., 1969, bd. 4, H. 6, s. 487-492.
194. *Morozewic Z.J.* Über einige Eisenalkali amphibole. — *Miner. Petrol. Mitt.*, 1925, Bd. 38, N 210, S. 11-16.
195. *Nambu M., Tanido K., Kitamura B.* Kozulite, a new alkaline amphibole, from Tanokata Mine, Iwate Prefecture Japan. — *J. Jap. Assoc. Miner., Petrol. Econom., Geol.*, 1969, vol. 62, N 6, p. 311-328.
196. *Nash W.P.* Mineralogy and petrology of the Iron Hill carbonate complex Colorado. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1972, vol. 83, N 5, p. 1361-1382.
197. *Palache C.* The minerals of Franklin and Sterling Hill Sussex County, New Jersey. — *US Geol. Surv. Profess. Pap.*, 1937, vol. 180, p. 16-43.
198. *Papike I.I., Malcolm Ross, Clark Ioan.* Crystal-chemical characterization of clinoamphiboles based on five new structure refinements. — *Miner. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 1969, vol. 2, p. 117-136.
199. *Pattiaratchi E.S.* Anandite, a new barium iron silicate from Wilagedera, N.W. Province, Ceylon. — *Miner. Mag.*, 1967, vol. 36, N 277, p. 1-4.
200. *Poldervaart A., Hess U.H.* Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma. — *J. Geol.*, 1951, vol. 59, p. 472-489.
201. *Prider R.T.* Some minerals from the leucite-rich rocks of West Kimberley area, Western Australia. — *Miner. Mag.*, 1939, vol. 25, N 373, p. 373-387.
202. *Ramberg H.* Chemical bonds and distribution of cations in silicates. — *J. Geol.*, 1952, vol. 60, N 4, p. 331-355.
203. *Roy S.* Manganese-bearing silicate minerals from metamorphosed manganese formations of India. I Juddite. — *Miner. Mag.*, 1970, vol. 37, N 290, p. 708-715.
204. *Schaller W.T.* Johansenite, a new manganese pyroxene. — *Amer. Miner.*, 1938, vol. 23, p. 575-582.
205. *Schreyer W., Seifert F.* Synthetic amphibols in sistem and their significance for the natural amphibols chemistry. — *Amer. J. Sci.*, 1969, vol. 267-A, p. 407-443.
206. *Simpson E.W.* The Okonjeje igneous complex, south-west Africa. — *Trans. Geol. Soc. S. Afr.*, 1954, vol. 57, p. 125-127.
207. *Singh S.K., Bonardi M.* Mossbauer resonance of arfvedsonite and aegirine-augite from the Joan Lake agpaite complex, Labrador. — *Lithos*, 1972, vol. 5, N 3, p. 217-225.
208. *Sorensen A.* The Illimanssag batholith. — *Medd. Gronland*, 1958, bd. 162, N 3, s. 1-48.
209. *Stephenson D.* Alkali clinopyroxenes from nepheline syenites of the South Greenland. — *Lithos*, 1972, vol. 5, N 3, p. 187-201.
210. *Subramanian A.P.* A petrographic study of the alkaline rocks at Sivamalai. — *Proc. Ind. Acad. Sci.*, 1949, vol. 30, p. 121-128.
211. *Sundius S.N.* The optical properties of manganese-poor grunerites and cummingtonite compared with those of manganese members. — *Amer. J. Sci.*, 5th Ser., 1931, vol. 21, N 338, p. 26-31.
212. *Sutherland D.S.* Sodic amphiboles and pyroxenes from fenites in East Africa. — *Contribs Mineral. and Petrol.*, 1969, vol. 24, N 2, p. 114-135.
213. *Tyler R.C., King B.C.* The pyroxenes of the alkaline igneous complexes of eastern Uganda. — *Miner. Mag.*, 1967, vol. 36, p. 5-21.
214. *Taylor S.R.* Trace element abundances and chondritic Earth model. — *Geochim. et cosmochim. acta*, 1964, vol. 28, p. 1989-1998.
215. *Venkayya E.* A new occurrence of mahadevite. — *Proc. Ind. Acad. Sci. A.*, 1949, vol. 30, N 74, p. 11-19.
216. *Vore G.W.* Association of strong polarized cations with weak polarized anions as a main reason element distribution: Composition of minerals and crystal gross. — *J. Geol.*, 1959, vol. 65, N 2, p. 215-228.
217. *Warren B.E.* The structure of tremolite. — *Ztschr. Kristallogr.*, 1929, Bd. 72, N 1, S. 6-15.
218. *Warren B.E., Bragg W.L.* The structure of diopside. — *Ztschr. Kristallogr.*, 1928, Bd. 69, N 168, S. 26-31.
219. *Whittaker E.I.W.* The structure of Bolivian Crocidolite. — *Acta crystallogr.* 1949, vol. 2, pt 5, p. 312-317.
220. *Zussman I.* The crystal structure of actinolite. — *Acta crystallogr.*, 1955, vol. 8, p. 301-308.
221. *Yagi K.* Petrochemical studies on the alkalic rocks of the Morutu district, Sakhalin. — *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1953, vol. 64, p. 769-810.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Глава первая	
Основные черты кристаллохимии пироксенов, амфиболов и слюд и основа их систематики . . . . .	8
Глава вторая	
Химический состав ПТМ в породах магматических комплексов, содержащих нефелиновые сиениты . . . . .	21
Карело-Кольская щелочная провинция . . . . .	22
Южно-Украинская провинция . . . . .	47
Закавказская провинция . . . . .	54
Уральская провинция . . . . .	55
Туркестан-Алайская провинция . . . . .	64
Тянь-Шаньская провинция . . . . .	78
Щелочные массивы Казахстана . . . . .	80
Провинция Кузнецкого Алатау . . . . .	83
Саянская провинция . . . . .	84
Тувинская провинция . . . . .	91
Провинция Енисейского края . . . . .	93
Северо-Байкальская провинция . . . . .	97
Витимская провинция . . . . .	99
Маймеч-Котуйская провинция . . . . .	105
Алданская провинция . . . . .	107
Дальневосточная провинция . . . . .	112
Чукотская провинция . . . . .	116
Скандинавская провинция . . . . .	117
Щелочные массивы Центральной Европы . . . . .	120
Щелочные массивы Западной Африки . . . . .	122
Провинция Восточно-Африканской рифтовой зоны . . . . .	125
Гренландская провинция . . . . .	132
Южно-Канадская провинция . . . . .	137
Щелочные массивы США . . . . .	138
Бразильская провинция . . . . .	143
Провинция Юго-Восточной Индии . . . . .	144
Глава третья	
Редкие, рассеянные элементы и фтор в породообразующих темноцветных минералах . . . . .	146
Глава четвертая	
Эволюция составов пироксенов, амфиболов и слюд в щелочных магматических комплексах . . . . .	207
Глава пятая	
Типохимизм породообразующих темноцветных минералов щелочных пород . . . . .	219
Породообразующие темноцветные минералы необычного состава . . . . .	233
Распределение компонентов между сосуществующими породообразующими темноцветными минералами . . . . .	239
Заключение . . . . .	245
Литература . . . . .	247

2р. 80 к.

3985

