

О.Н. ВОЛЫНЕЦ, В.Л. ИВАНОВА, И.Т. КИРСАНОВ,
Г.В. КУТЫЕВА, Г.Б. ФЛЕРОВ

**О СТРУКТУРНОМ СОСТОЯНИИ ПЛАГИОКЛАЗОВ
ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИТОВ КУРИЛО-КАМЧАТСКОГО
РЕГИОНА И ПОЛНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НИХ**

Введение. В течение двух последних десятилетий представление о резком различии в структурном состоянии плагиоклазов интрузивных и вулканических пород было сильно поколеблено. Появились многочисленные данные, показывающие широкую распространенность плагиоклазов с промежуточной упорядоченностью как в интрузивных (гипабиссальных и приповерхностных), так и в вулканических породах. Более того, в ряде случаев было показано, что в субвулканических интрузиях могут встречаться совместно и "высокие" и "низкие" плагиоклазы (Феоктистов, Ущаповская, 1972). "Низкие" же плагиоклазы были обнаружены по данным оптических измерений и в вулканических породах (Balconi, Zezza, 1963; Ванде-Кирков, 1974; 1975).

Очевидно, что оценка преобладающих структурных типов плагиоклазов различных геологических объектов, в том числе и молодых лав, является на сегодня важной задачей. Попытка провести такую оценку для плагиоклазов четвертичных и раннекайнозойских лав Курило-Камчатского региона и предпринята в настоящей статье на основе рентгеновского и ИКС-методов. Другая задача работы заключается в сравнительной характеристике структурного состояния плагиоклазов вулканитов и ассоциирующих с ними полнокристаллических включений интрузивного облика. Цель такого сравнения — получение дополнительной информации для суждения о генезисе включений и характере термального воздействия магматических расплавов на породы включений. Кроме того, эти материалы будут служить существенным дополнением к вышедшей недавно монографии о плагиоклазах четвертичных эффузивов Камчатки (Волынец, Колосков, 1976), поскольку в ней содержатся данные только об оптической упорядоченности плагиоклазов лав.

Исходный материал и методика исследования. Исходным материалом для работы послужила коллекция вкрапленников плагиоклазов из четвертичных лав Камчатки и Курил, а также коллекция плагиоклазов из включений интрузивного облика в вулканитах этого региона. Следует отметить, что часть изученных включений родственна вулканитам, другая — явно ксеногенна по отношению к ним. Одни включения совершенно не изменены, тогда как другие подверглись интенсивной перекристаллизации и даже частичному плавлению (Волынец, Колосков, 1976; Волынец, Богоявленская, 1973 и др.). Состав лав, из которых отобраны плагиоклазы, равно как и состав включений, меняется в широких пределах: соответственно от базальтов до липаритов и от троктолитов до гранитов. При этом состав изученных плагиоклазов колеблется от An_{90-94} до An_{32-34} . Для сравнения привлекаются данные по вкрапленникам плагиоклаза в раннекайнозойских базальтовых порфиритах и спилитах Северной Камчатки. Составы плагиоклазов определены в большинстве случаев по результатам полных или частных анализов мономинеральных проб. Массовые оптические изменения составов плагиоклазов широко использовались при интерпретации материалов по ИК-спектрам плагиоклазов.

Рентгеновские характеристики плагиоклазов были получены в лаборатории физико-химических методов ДВГИ ДВНЦ АН СССР В.Л. Ивановой и в лаборатории рентгено-структурного анализа ЛГУ Г.В. Кутыевой и И.Е. Каменцевым. Во всех случаях съемка производилась на Cu -излучении при режиме 35 kv, 12 mA со скоростью $0,5^\circ$ в минуту. Большинство определений было выполнено на дифрактометре УРС-50 ИМ и небольшая часть на дифрактометре ДРОН-1. Во всех случаях определялись угловые расстояния между рефлексами (131) и $(\bar{1}31)$, а для некоторых кальциевых плагиоклазов также и параметры: $V = 2\theta_{(\bar{1}11)}^0 - 2\theta_{(\bar{2}01)}^0$ и $\Gamma = 2\theta_{(131)}^0 + 2\theta_{(220)}^0 - 4\theta_{(\bar{1}31)}^0$. Для определения структурного состояния плагиоклазов использовались диаграммы, связывающие состав плагиоклазов с вышеуказанными величинами угловых расстояний. Поскольку имеется несколько вариантов диаграммы, предложенных разными авторами (Smith, Yoder, 1956; Smith, Gay, 1958; Slemmons, 1962; Vambauer e. a., 1967), причем положение граничных кривых для "высоких" и "низких" плагиоклазов по данным разных авторов несколько различается, в работе приведено три варианта диаграммы. Кроме того, для ряда кальциевых плагиоклазов была использована также диаграмма К.Ф. Шейдеггера (Scheidegger, 1973), связывающая параметры V и Γ плагиоклазов, на которой выделены линии регрессии для плагиоклазов разного генезиса.

Следует заметить, что большинство изученных плагиоклазов заметно, а нередко и сильно, зональны причем в породах могут присутствовать и разные генерации кристаллов, отвечающие составу отдельных зон. Поэтому следует отдавать себе отчет, что полученные рентгеновские данные отвечают некоторым усредненным характеристикам валовых мономинеральных проб плагиоклаза конкретных пород. Попытка восполнить этот пробел, т.е. получить данные о составе и степени упорядоченности отдельных зон и генераций плагиоклаза в каждой пробе, была предпринята на основе изучения ИК-спектров образцов. ИК-спектры поглощения плагиоклазов были сняты в лаборатории физико-химических методов ДВГИ Г.А. Нарновым на спектрофотометре UR-20. Проба запрессовывалась в таблетку бромистого калия в отношении 1:300, частоты выверялись по калибровочному графику, построенному по спектрам поглощения полистирола, пиридина и толуола.

Состав и упорядоченность плагиоклазов определялись по диаграмме С. Хафнера и Ф. Лавеса (Hafner, Laves, 1957), дополненной данными В.Л. Ивановой (1975) о разноупорядоченных андезинах и модернизированной ею же в области высококальциевых (анортитовых) плагиоклазов. Вместо единой кривой, проведенной С. Хафнером и Ф. Лавесом в среднем для всех анортитов, были построены две кривые, нижняя из которых соответствует разноупорядоченным мегакристаллам анортита в выбросах вулкана Везувий, а верхняя — упорядоченным плагиоклазам из сланцев (Hafner, Laves, 1957). Для плагиоклазов основное An_{20} пока возможно только качественное ("высокий", "промежуточный", "низкий") определение степени упорядоченности плагиоклазов. Поскольку при построении "высокотемпературной" ветви кривой в области средних — основных плагиоклазов (Иванова, 1975) использовались и синтетические плагиоклазы и плагиоклазы молодых неизмененных вулканитов, "высокие" плагиоклазы по ИКС — данным отвечают не "синтетическим" или "отожженным", а "вулканическим" или "пирокластическим" плагиоклазам по рентгеновским данным.

Состав плагиоклазов по ИК-спектрам для кальциевых (An_{60-100}) разностей определялся с точностью $\pm 5-10\%$ An, поэтому полученные данные в большинстве случаев корректировались с результатами оптических определений состава плагиоклазов. Интерпретация сомнительных пиков в настоящей работе не приводится. В каждом случае среди общего набора генераций плагиоклазов, полученных по ИКС-данным, выделены преобладающие фазы.

Результаты наблюдений. Рентгеновские характеристики плагиоклазов лав и включений показаны на рис. 1 и 2. Как следует из рис. 1, вкрап-

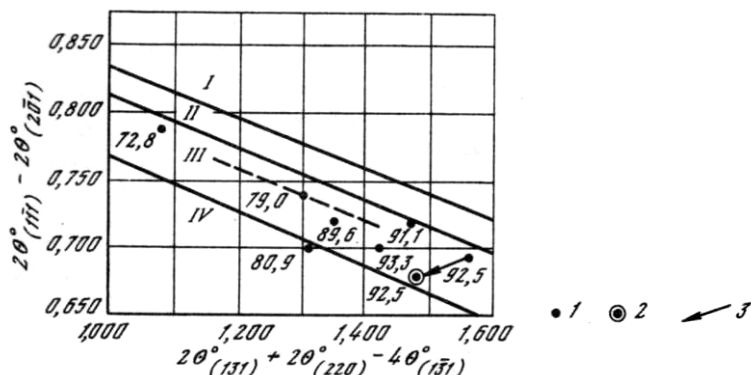


Рис.1. Состав – степень упорядоченности по результатам измерения угловых расстояний $2\theta_{(131)} - 2\theta_{(\bar{1}31)}$ и $2\theta_{(131)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(\bar{1}31)}$

1 – в плагиоклазах четвертичных вулканитов Камчатки и Курил; 2 – полнокристаллических включений в них; 3 – спилитов и базальтовых порфиритов Северной Камчатки. Положение кривых для упорядоченных (нижние кривые), неупорядоченных (верхние кривые) плагиоклазов дано: а – по Smith I.V., Yoder A.S., 1956; б – по D.B. Slemmons, 1962; в – I.V. Smith, Gay, 1958

ленники плагиоклазов из четвертичных лав Камчатки не отличаются по степени рентгеновской упорядоченности от плагиоклазов включений в вулканитах, причем и те, и другие характеризуются промежуточным или близким к высокотемпературному структурным состоянием. При этом, судя по диаграмме Д.Б. Слеммонса (рис. 1,б), андезины имеют индекс упорядоченности от 0 до 30, обычно 10–30, тогда как в лабрадорах верхний предел индекса упорядоченности увеличивается до 50. Оценить структурное состояние кальциевых плагиоклазов (с An. 75–80%) по диаграмме типа рис. 1 нельзя, однако на диаграмме К.Ф. Шейдеггера (см. рис. 2) несколько кальциевых плагиоклазов, для которых были получены параметры В и Г, попадают в область "вулканических" "пирокластических" и даже "синтетических" плагиоклазов. Это обстоятельство, а также тот факт, что все изученные высокоосновные плагиоклазы характеризуются сходным значением величины $2\theta_{(131)} - 2\theta_{(\bar{1}31)}$, позволяет распространить представление о слабоупорядоченном структурном состоянии и на все исследованные высококальциевые плагиоклазы.

В большинстве случаев структурное состояние плагиоклазов: лав и включений не соответствует таковому синтетических плагиоклазов (см. рис. 1–2), и в целом их нужно рассматривать не как "высокие", а как "промежуточные", хотя и с низким индексом упорядоченности. С целью проверки поведения подобных плагиоклазов при отжиге один из образцов высококальциевых плагиоклазов К=676 — из оливин-анортитового включения вулкана Камбального, состав $(An_{92.5}Ab_{7.2}Or_{0.3})$ нагревался при $T = 1050^\circ C$ в атмосфере чистого гелия в течение 15 мин. Состав образца по рентгеновским и ИКС-данным до и после нагревания An_{90-95} . Структурное состояние по рентгеновским данным до нагревания отвечает "пирокластическому" на диаграмме К.Ф. Шейдеггера, после нагревания — приближается к "синтетическому" (см. рис. 2). По ИКС-данным до нагревания — "промежуточный", после нагревания — "высокий", типа мегакристаллов Везувия (Hafner, Laves, 1957).

В отличие от плагиоклазов четвертичных лав плагиоклазы раннекайнозойских базальтовых порфиритов и спилитов характеризуются низкотемпературным структурным состоянием (индекс упорядоченности по Д.Б. Слеммонсу 90–100).

ИКС-данные о структурном состоянии плагиоклазов в общем согласуются с результатами, полученными рентгеновскими методами (рис 3). Среди не-

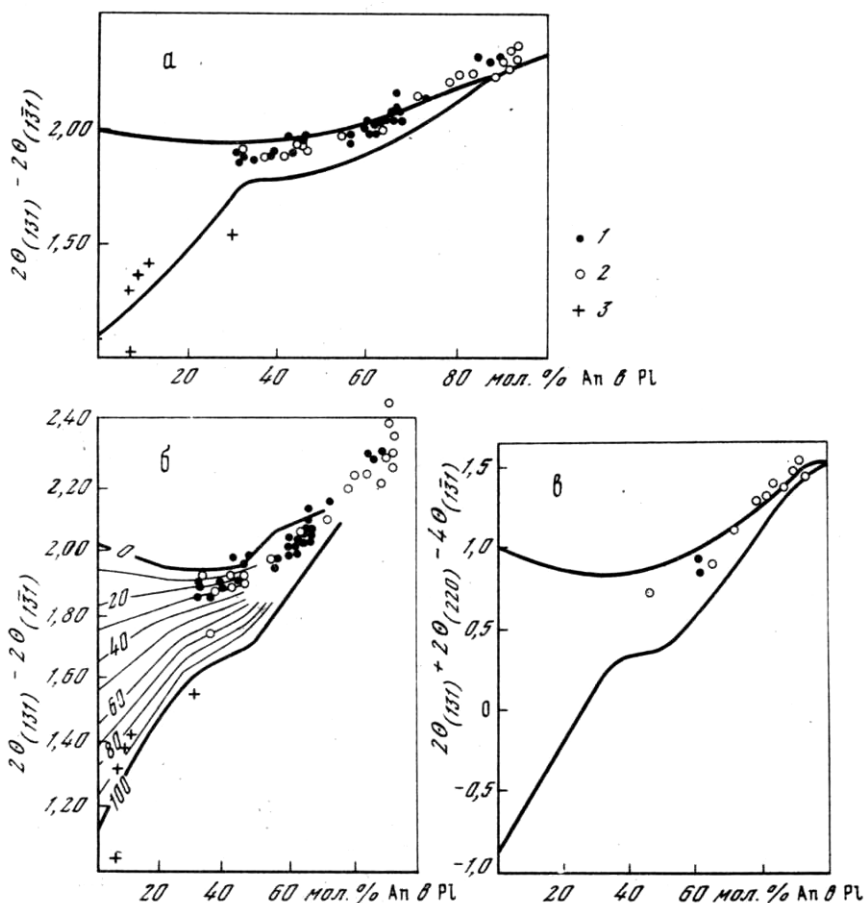


Рис. 2. Соотношение параметров В и Г для кальциевых плагиоклазов I – IV — линии регрессии для плагиоклазов разного генезиса: I — plutonic and metamorphic; II — volcanic; III — pyroclastic; IV — synthetic (по Scheidegger, 1973).

1 — природные плагиоклазы включений и лав; 2 — искусственно отожженные плагиоклазы; 3 — направления смещения параметров плагиоклазов при отжиге. Вблизи фигуративных точек плагиоклазов указаны составы их в мол. % An

скольких изученных плагиоклазов лав преобладают "высокие" разности, хотя встречаются и "промежуточные". Плагиоклазы базальтовых порфиритов и спилитов характеризуются "низким" или приближающимся к таковому структурным состоянием (индекс упорядоченности 0,75–1,0). Плагиоклазы включений в основном "высокие", тогда как "промежуточные" заметно более редки. Однако среди некоторых высококальциевых плагиоклазов троктолитов и габбро встречаются и "низкие" разности. Единичные генерации "низких" плагиоклазов отмечены на фоне доминирующих "высоких" плагиоклазов в трех образцах частично расплавленных включений диорит-гранитного ряда.

Обсуждение результатов. Проведенное исследование структурного состояния плагиоклазов вкрапленников четвертичных лав Камчатки и Курил на основе рентгеновского и ИКС-методов определенно свидетельствует о слабой упорядоченности как валовых проб плагиоклазов, так и отдельных генераций их (преобладающие значения индекса упорядоченности по Д.Б. Слеммонсу 0,1–0,3). Ни в одном случае среди плагиоклазов лав не были встречены "низкие" плагиоклазы. Полученные данные хорошо согласуются с выполненными ранее одним

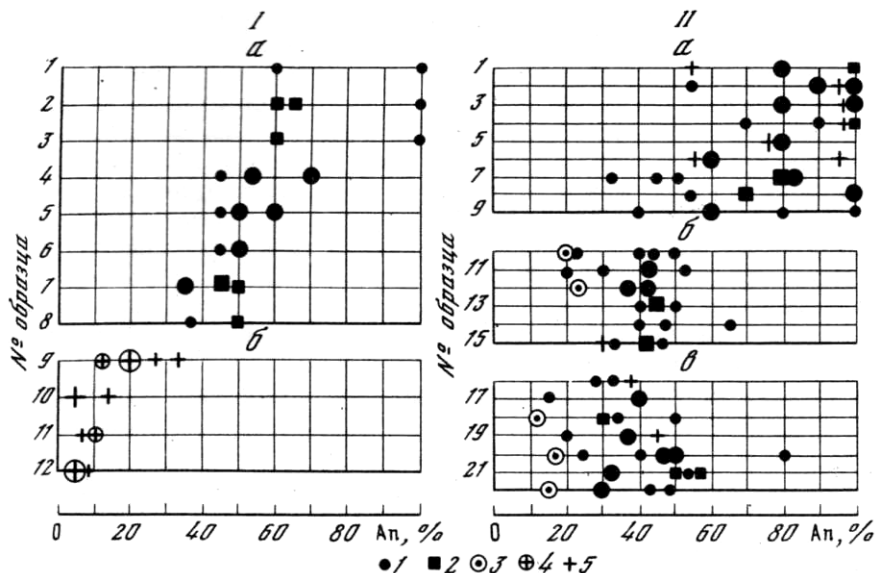


Рис. 3. Диаграмма ИКС – упорядоченности плагиоклазов лав и включений I — лавы: а – четвертичные базальты и андезиты, б – раннекайнозойские спилиты и базальтовые порфиристы; II — включения: а – троктолиты и габбро, б – диориты, в – гранодиориты и граниты. Включения (образцы): 1 – 10 и 18–22 — родственные лавам; 11–17 — ксеногенные; 11–22 — частично плавленные. Остальные включения не изменены. 1 – "высокие" плагиоклазы; 2–4 – "промежуточные" плагиоклазы: без расшифровки степени упорядоченности; 3 – с индексом упорядоченности 0,3 – 0,5; 4 – с индексом упорядоченности 0,75 – 0,95; 5 – "низкие" плагиоклазы. Крупными значками показаны преобладающие фазы

из авторов настоящего сообщения оптическими определениями степени упорядоченности плагиоклазов четвертичных лав Камчатки по методу Марфунина (Волынец, Колосков, 1976), а также с результатами аналогичных оптических определений упорядоченности плагиоклазов молодых вулканитов некоторых других регионов (Uruno, 1963; Burri, 1974 и др.).

Вместе с тем наши данные заметно отличаются от результатов оптического определения степени упорядоченности плагиоклазов четвертичных лав Камчатки и Курил, полученных Ю.В. Ванде-Кирковым (1975), на основе предложенной им же диаграммы (Ванде-Кирков, 1974). Согласно данным этого автора, для анортитов и битовнитов наблюдается существование полностью неупорядоченных, полностью упорядоченных и всех промежуточных форм, тогда как для лабрадоров и андезинов характерно постепенное уменьшение степени упорядоченности в сторону более натровых плагиоклазов вплоть до значения 0,0–0,2 в андезинах. Следует заметить, что судя по приводимым в указанной работе (Ванде-Кирков, 1975) диаграммам, сосуществование разноупорядоченных (от "высоких" до "низких") плагиоклазов наблюдается в ряде случаев для лабрадоров, а иногда и для андезитов. К сожалению, в работе Ю.В. Ванде-Киркова не проведена статистическая обработка данных по упорядоченности, так что в случае объектов, для которых наблюдается сосуществование разноупорядоченных форм плагиоклазов, остается неясным, какой структурный тип плагиоклаза преобладает.

Можно предложить следующее объяснение причин наблюдаемых отличий результатов, полученных нами и Ю.В. Ванде-Кирковым. Как уже говорилось, рентгеновские характеристики дают усредненную картину структурного состояния

плаггиоклазов отдельных образцов. В случае присутствия в лавах генераций плаггиоклазов с разной степенью упорядоченности указанные характеристики будут отражать структурное состояние преобладающей фазы. Определить степень упорядоченности отдельных генераций плаггиоклазов можно кроме оптических ИКС-методами, Однако ИКС-данных для плаггиоклазов лав пока мало. Тем не менее анализ материалов, полученных рентгеновским и ИКС-методом для плаггиоклазов включений, может проиллюстрировать, как будет сказываться на рентгеновских характеристиках наличие в пробах разноупорядоченных плаггиоклазов. Так, изученные высококальциевые плаггиоклазы включений габбро и троктолитов, судя по диаграмме К.Ф. Шейдегера (см. рис. 2), характеризуются слабоупорядоченным структурным состоянием. Однако, как уже отмечалось, по ИКС-данным (см. рис. 3), в большинстве указанных образцов наряду с преобладающими "высокими" плаггиоклазами и более редкими "промежуточными" присутствуют и "низкие" плаггиоклазы. Аналогично среди андезинов и лабрадоров включения диорит-гранитного ряда на фоне доминирующих "высоких" плаггиоклазов отмечаются и "промежуточные", а в трех случаях и "низкие" плаггиоклазы, хотя по рентгеновским данным степень упорядоченности плаггиоклазов не превышает обычно 0,3 (по Д.Б. Слеммонсу). Таким образом, даже присутствие "низких" генераций плаггиоклазов не меняет рентгеновской упорядоченности валовых проб плаггиоклазов, в случае, если такие генерации присутствуют в подчиненном количестве по отношению к преобладающим слабоупорядоченным фазам.

Итак, судя по рентгеновским, а также имеющимся на сегодня ИКС-данным, среди плаггиоклазов четвертичных лав Камчатки и Курил преобладают слабоупорядоченные "промежуточные" разности. Если "низкие" плаггиоклазы и присутствуют в лавах, роль их должна быть весьма ограничена, К сходному заключению пришел ранее К. Uruno (1963), согласно данным которого, преобладающие значения степени упорядоченности свежих вулканических пород равны 0,2.

Совершенно иная картина наблюдается для плаггиоклазов раннекайнозойских базальтовых порфиритов и спилитов Северной Камчатки, которые, судя по рентгеновским данным, характеризуются "низким" структурным состоянием. Очевидно, что условия образования плаггиоклазов в этих породах резко отличаются от условий образования вкрапленников плаггиоклазов четвертичных лав. Действительно, геологический возраст сам по себе слабо сказывается на изменении степени упорядоченности плаггиоклазов. Так, слабо упорядоченные плаггиоклазы характерны, например, для палеозойских и мезозойских эффузивов Урала (Говорова, 1963), мезозой-кайнозойских вулканитов Камчатки (Вольнец, 1967; Фаворская и др., 1965), третичных вулканических пород Австралии (Bahat Dov, 1969), кайнозойских базальтов плато Колумбия-Ривер (Hoffer, 1968) и т.д. Кажется очевидным, что кристаллизовавшиеся из расплавов плаггиоклазы эффузивных пород, если они не подверглись каким-либо наложенным процессам, должны характеризоваться преимущественно слабоупорядоченным структурным состоянием. Сохранение таких слабоупорядоченных плаггиоклазов (и в лавах, и в интрузивных породах) объясняется обычно высокой скоростью падения температуры при становлении магматических тел, вызывающей закалку вещества. Высокая скорость охлаждения расплавов, изливающихся в подводных условиях (а именно такой генезис имеют изученные базальтовые порфириты и спилиты) не вызывает сомнений. Таким образом, напрашивается предположение о немагматическом (метасоматическом или метаморфическом) происхождении вкрапленников плаггиоклаза раннекайнозойских базальтов порфиритов и спилитов Северной Камчатки, причем в условиях медленного изменения температуры во времени. Высказанное предположение хорошо согласуется с рядом наблюдений, имеющихся в геологической литературе, согласно которым переход высокотемпературных плаггиоклазов в низкотемпературные может быть обусловлен либо гидротермальным метаморфизмом в приповерхностных условиях (Lewis, Slemmons, 1962), либо региональным метаморфизмом на уровне фации зеленых сланцев (Noble, 1966).

Особый интерес вызывает сходство рентгеновских характеристик и степени упорядоченности плагиоклазов четвертичных вулканитов Камчатки и Курил и ассоциирующих с ними включений интрузивного облика. "Эффузивная" степень рентгеновской упорядоченности плагиоклазов практически всех включений, независимая от степени проявления термального метаморфизма и условий их образования (родственные им ксеногенные разности), свидетельствует о том, что первым и наиболее ранним проявлением процесса взаимодействия включение — расплав является отжиг минералов включений и, как следствие, приобретение ими свойств, аналогичных свойствам минералов лав. Сходные данные об отжиге полевых шпатов включений в лавах неоднократно приводились в геологической литературе. Так, Л.Н. Индолевым и Ю.А. Ждановым (1967), например, было показано, что полевые шпаты из включений гранитов в дайках основных пород еще до начала плавления переходят в менее упорядоченное состояние.

Полученные результаты показывают, что такая характеристика, как степень рентгеновской упорядоченности плагиоклазов включений, вряд ли может быть использована при решении вопроса о родственном эффузивном или ксеногенном по отношению к ним генезисе включений.

Данные ИК-спектроскопии не противоречат сделанным выводам. Действительно, преобладание во всех включениях, независимо от их генезиса "высоких" плагиоклазов определенно свидетельствует об отжиге. С другой стороны, отмеченные в ряде включений генерации "низких" плагиоклазов не могут служить указанием на генезис включений, поскольку встречаются как в родственных лавам практически неизменных включениях (габбро и троктолиты вулканов Алайд и Тао-Русыр), так и в явных ксенолитах (частично плавленые гранодиориты и диориты вулкана Хангар).

Таким образом, изучение структурного состояния плагиоклазов может дать важную информацию об условиях кристаллизации магматических расплавов и характере переработки магматических пород при различных метаморфических процессах.

Авторы благодарны Г.А. Нарнову, проводившему съемку ИК-спектров поглощения плагиоклазов, а также С.А. Щеке и Ю.В. Ванде-Киркову, сделавшим ряд ценных замечаний при обсуждении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- Ванде-Кирков Ю.В.* Новый вариант диаграммы для определения средних — основных плагиоклазов на Федоровском столике. — Бюл. вулканол. станций, 1974, № 50
- Ванде-Кирков Ю.В.* Вариации модального состава и степени упорядоченности плагиоклазов в эффузивах среднего и основного состава. — Бюл. вулканол. станций, 1975, № 51
- Вольнец О.Н.* Плагиоклазы. — В кн.: Оптические и петрохимические исследования магматических образований Центральной Камчатки. М., "Наука", 1967.
- Вольнец О.Н., Богоявленская Г.Е.* Гранитоидные включения в четвертичных лавах Камчатки. — В кн.: Вопросы магматизма, метаморфизма и оруденения Дальнего Востока (материалы совещания). Владивосток, 1973.
- Вольнец О.Н. Колосков А.В.* Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. Новосибирск, "Наука", 1976.
- Говорова А.В.* Высокотемпературные плагиоклазы в палеозойских эффузивах Урала. — В сб.: Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала, т. 2. Свердловск, 1963.
- Иванова В.Л.* Петрология гранитоидов района месторождения Восток-2. Автореф. канд. дис. Владивосток, Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1975.
- Индолев Л.Н., Жданов Ю.Я.* Термальный метаморфизм полевых шпатов из ксенолитов гранита в дайках основных пород. — Зап. Всесоюз. мин. об-ва, 1967, вып. 3.
- Фаворская М.А., Волчанская И.К., Фрих-Хар Д.И.* и др. Магматизм ЮВ Камчатки и его связь с процессами тектонической активизации. М., "Наука", 1965.
- Феоктистов Г.Д., Ущановская З.Ф.* Об упорядоченности плагиоклазов в трапповых силлах юга Сибирской платформы. — Докл. АН СССР, 1972, т. 202, № 6.
- Bahat Dov.* High temperature plagioclases from the tertiary volcanic rocks of central Victoria, — Proc. Roy. Soc. Victoria, 1969, v. 83, № 1.