

ВОЛЫНЕЦ О. Н., ХРЕНОВ Д. П., ФЛЕРОВ Г. Б.,
ЦЮРУПА А. И., ВАНДЕ-КИРКОВ Ю. В.

**О МЕСТЕ И ВРЕМЕНИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВКРАПЛЕННИКОВ
ПЛАГИОКЛАЗА ЭФФУЗИВОВ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ
ПРОДУКТОВ СОВРЕМЕННЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ
КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ**

Статистическое изучение составов и морфологии плагиоклазов из пород разных фаций глубинности показывает, что кристаллизация большей части вкрапленников плагиоклаза четвертичных лав Камчатки происходит в приповерхностных условиях (Волынец, Колосков, 1973). Имеются данные о том, что при побочных извержениях базальтовых вулканов — Ключевского (1945, 1966, 1974 гг.), Алаид (1972 г.), Тятя (1973 г.) — количество и состав вкрапленников в вулканитах закономерно изменяются с изменением режима извержения (Пийп, 1956; Кирсанов, Важеевская, 1971; Авдейко и др., 1974; Хренов, 1974, 1976а, б; Хренов, Флеров, 1974; Кирсанов и др., 1975; Волынец, Колосков, 1976). Для андезитовых и андезито-дацитовых вулканов (Безымянный, Карымский) направленное изменение количественно-минералогического состава плагиоклаза чаще фиксируется в серии последовательных извержений одного эруптивного цикла (Богоявленская и др., 1971, 1976; Дубик, Волынец, 1972; Иванов, 1970; Дубик и др., 1972). Химический состав вулканитов при этом остается практически постоянным. По мнению большинства перечисленных авторов, эти данные свидетельствуют о приповерхностном уровне кристаллизации по крайней мере части вкрапленников.

В настоящее время, однако, отсутствует работа, в которой суммировались бы признаки, служащие указанием на место и время кристаллизации вкрапленников, полученные на основе изучения продуктов современных извержений. Данная статья в какой-то мере восполнит этот пробел. В ее основу положены результаты изучения количества, размеров и состава вкрапленников плагиоклаза в лавах современных извержений некоторых вулканов Курило-Камчатской зоны: Алаида (А. П. Хренов, Г. Б. Флеров, Ю. В. Ванде-Кирков), Тяти (А. П. Хренов), Карымского (А. П. Хренов, Ю. В. Ванде-Кирков), Толбачика (О. Н. Волынец, А. И. Цюрупа, Г. Б. Флеров и Ю. В. Ванде-Кирков).

Побочное извержение вулкана Алаид в 1972 г. Олимпийский прорыв.

Извержение началось 18 июня 1972 г. и продолжалось 85 суток. I этап — взрывчатый (вулканского типа) — длился 4 дня. Из шести кратеров, образующих цепочку длиной 2 км, в результате мощных взрывов было выброшено 0,1 км³ ювенильного пепла, бомб и резургенного материала, сорванного по пути движения лавы. II этап — взрывчато-эффузивный (стромболианского типа) — длился 25 суток. В его начале интенсивная взрывчатая деятельность привела к формированию на месте одной из нижних воронок шлакового конуса, из которого излились две первых порции лавового потока. К концу этапа взрывчатая дея-

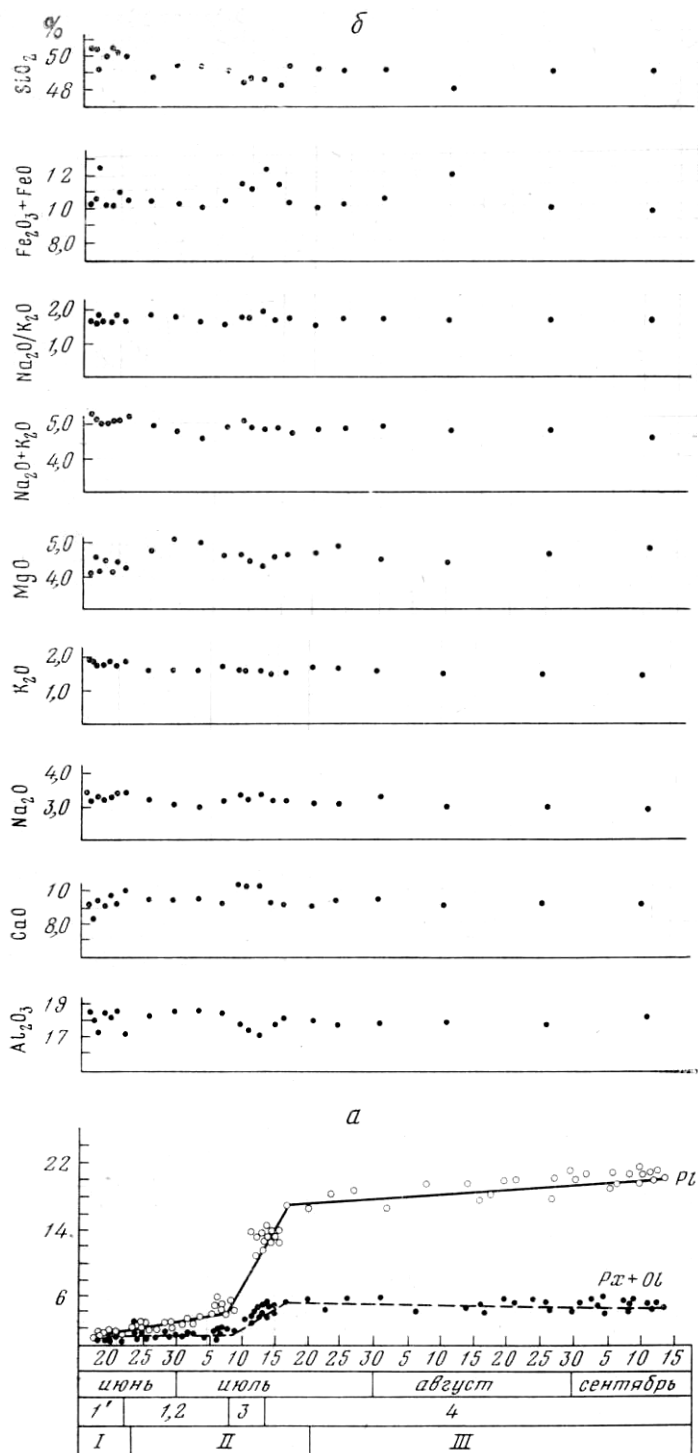


Рис. 1. Вариации количественно-минералогических (а) и химических (б) составов пород в ходе побочного извержения вулкана Алаид в 1972 г. (Олимпийский прорыв). 1' — начало извержения, 1—4 — порции потока; I—III — этапы. Точки — отдельные измерения

тельность ослабла и излилась третья порция более подвижных газонасыщенных лав. В ходе III, эффузивного этапа, продолжавшегося 56 суток, происходило излияние четвертой порции лавового потока. Суммарный объем ювенильного материала составил $0,2 \text{ км}^3$ (Авдейко и др., 1974).

Твердые вулканические продукты извержения (лавы, бомбы, шлаки и пеплы) представлены глиноземистыми субщелочными базальтами (Авдейко и др., 1974), типичными для вулкана Алаид. Содержание вкрапленников в бомбах и лавах и структуры пород последовательно изменяются в ходе извержения. При этом содержание вкрапленников плагиоклаза и темноцветных минералов синхронно изменяется соответ-

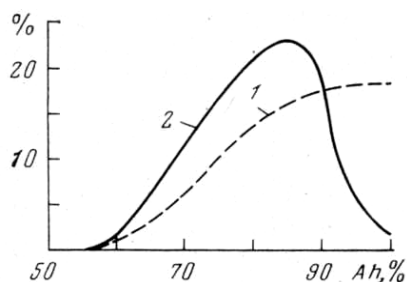


Рис. 2. Вариации составов вкрапленников плагиоклаза в первой (1) и четвертой (2) порциях лавового потока базальтов Олимпийского прорыва. Оптические определения: по ординате — относительная частота встречаемости, по абсциссе — состав плагиоклаза

ственно от 1 до 20 и от 1 до 5—7% (рис. 1). Нарастание количества вкрапленников в породах во времени происходит неравномерно. До начала излияния порции 3 потока темп накопления объема вкрапленников составлял по самым грубым оценкам $0,2—0,3\%$ в сутки, при излиянии порции 4 — $0,15—0,2\%$ в сутки, а в момент излияния порции 4, когда наблюдалась перестройка динамики извержения, характеризующаяся спадом эксплозивной активности и уменьшением расходов лавы, он увеличился до $0,9—1,1\%$ в сутки.

Химический состав пород остается практически постоянным (см. рис. 1) *, что, очевидно, указывает на отсутствие существенного перераспределения вкрапленников в магматической колонне.

Набор минералов-вкрапленников и микролитов в породах разных стадий извержения одинаков: плагиоклаз, пироксен, оливин, магнетит. Однако в базальтах взрывных воронок отмечены, кроме того, единичные вкрапленники амфибола и биотита, наличие которых указывает на относительно повышенное давление летучих в период кристаллизации первых порций расплава, участвовавших в извержении. Вкрапленники плагиоклаза имеют форму широких, слегка удлинённых таблиц размером от $0,2$ до $1,0$ мм (по наибольшему измерению) в ранних порциях лав, до $4,0—5,0$ мм — в поздних. По данным оптических и микрозондовых измерений, состав плагиоклаза в зональных кристаллах изменяется от An_{90-94} в ядрах до An_{56-74} в краевых зонах, причем состав внешних зон отвечает составу микролитов. Состав внешних зон зональных вкрапленников плагиоклаза в конечных порциях лав несколько беднее анортитовой частицей, чем в начальных, тогда как состав ядер остается практически одинаковым. В целом к концу извержения содержание анортита в валовом составе плагиоклаза уменьшается (рис. 2). Среди незональных вкрапленников выделяются идиоморфные кристаллы, сходные по составу с ядрами зональных вкрапленников, и корродированные вкрапленники состава An_{52-62} . Состав последних и их количество ($2—7\%$) в ходе извержения не меняются.

* Небольшое обогащение базальтов взрывных воронок SiO_2 и K_2O может быть с успехом объяснено процессом эманационной дифференциации вещества в поднимающейся магматической колонне (Хренов, Флеров, 1974).

Побочное извержение вулкана Тятя в 1973 г.

Это извержение было чисто эксплозивным. Оно началось 14 июля 1973 г. и длилось 14 дней. В течение первого (вулканского) этапа (14—25 июля) произошло образование двух взрывных кратеров (маары Радкевич и Влодавца) на северном склоне вулкана и кратеров Отважный и Пограничник на юго-восточном склоне. Извержение северных кратеров продолжалось несколько часов. Оно характеризовалось мощными газовыми продувками с выбросом $0,05 \text{ км}^3$ раскаленного резургентного ма-

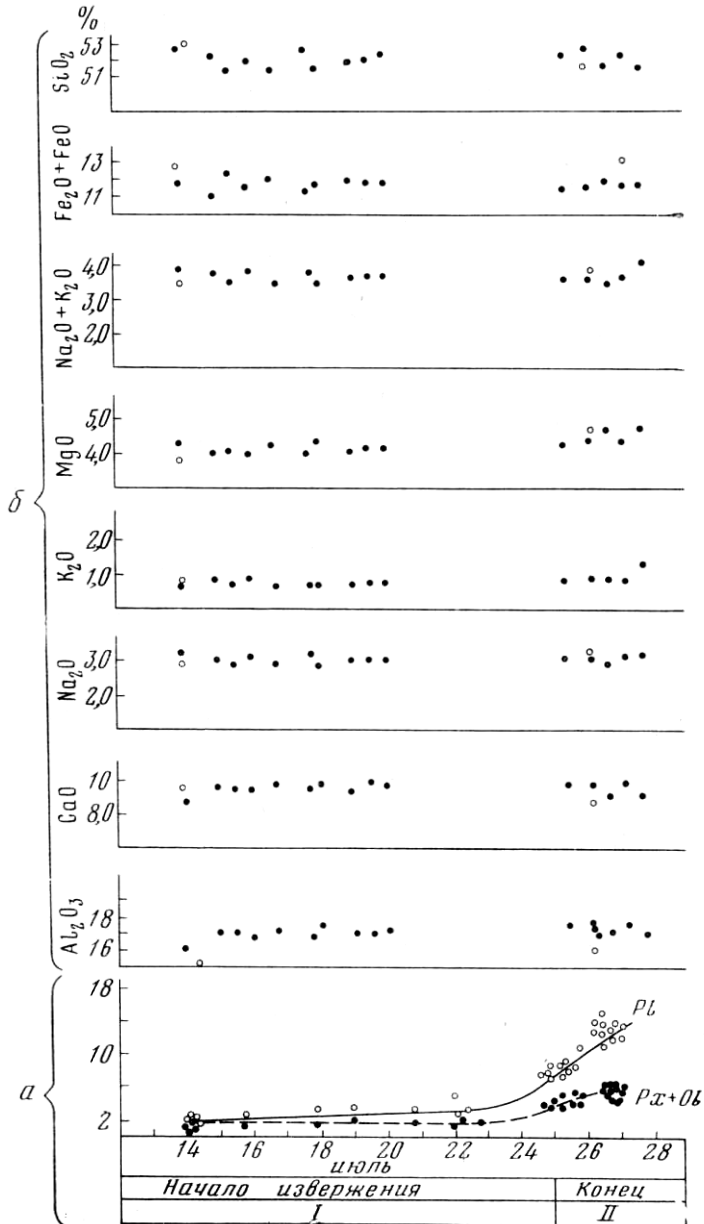


Рис. 3. Вариации количественно-минералогических (а) и химических (б) составов пород в ходе побочного извержения вулкана Тятя в 1973 г. Римские цифры — этапы; точки — отдельные измерения

териала и небольшого количества ювенильного материала (преимущественно маар Влодавца). В кратере Отважный в течение этого этапа извержения происходили сильные взрывы с выбросом ювенильного пепла, шлака и бомб. Над кратером постоянно поднимался газовой-пепловый столб на высоту 4—5 км. Второй этап извержения продолжался три дня. В это время из жерла, в котором образовалось лавовое озеро, происходило умеренное фонтанирование лавы на высоту 250—300 м (стромболианский тип извержения). К концу дня 27 июля поступление ювенильного материала сократилось, и 28 июля извержение полностью закончилось.

Общий объем ювенильного материала (пепла, шлаков и бомб), выброшенного при извержении, составил, как и в случае Олимпийского прорыва на вулкане Алаид, 0,2 км³. Состав вулканических пород отвечает глиноземистым базальтам умеренной щелочности, обычным для вулкана Тятя (Кирсанов и др., 1975).

Общая направленность изменений и количественно-минералогического состава, и структур пород в ходе извержения побочных кратеров вулкана Тятя сходна с таковой для Олимпийского прорыва, хотя размах вариаций несколько уже. Темп накопления объема вкрапленников на I этапе извержения составляет 0,15—0,30% в сутки, а в течение II этапа возрастает до 2—3% в сутки (рис. 3). Изменение количественно-минералогического состава пород не сопровождается изменением их химизма (рис. 3), что может указывать на отсутствие фракционирования кристаллов.

Вкрапленники представлены плагиоклазом, моноклинным пироксеном, оливином и магнетитом, а в самых первых продуктах извержения отмечены также редкие кристаллы амфибола. Содержание плагиоклаза возрастает во времени от 2—3 до 13—15%, моноклинного пироксена — от 1,0 до 2,5%, оливина — от 0,7 до 2%. Размеры вкрапленников плагиоклаза увеличиваются от 0,2—1,0 до 2,0—3,0 мм (в самой последней порций расплава — прижерловой фации — отмечаются отдельные вкрапленники плагиоклаза размером 10—20 мм), моноклинного пироксена и оливина — от 0,1—0,2 до 0,6—0,8 мм.

Ядра вкрапленников плагиоклаза в ранних порциях базальтов несколько богаче анортитовой составляющей, чем в последних (*An*₇₃₋₈₅ против *An*₇₅₋₇₆), тогда как для краевых зон вкрапленников и микролитов тенденция изменения состава обратная (соответственно *An*₆₈₋₇₂ против *An*₇₃₋₇₈). Зональность во вкрапленниках чаще всего ритмичная, но встречаются и незональные кристаллы. Среди последних по морфологии и составу резко выделяются корродированные переполненные включениями стекла зерна, имеющие состав *An*₆₅₋₇₀. Количество таких кристаллов невелико и не меняется в ходе извержения.

Извержение Карымского вулкана 1970—1971 гг.

Извержение Карымского вулкана возобновилось после трехлетнего периода покоя 11 мая 1970 г. Новый эруптивный цикл активности вулкана продолжался до 15 ноября 1971 г. В результате начальной (кульминационной) стадии длительностью менее 2 суток произошло извержение пемзовых раскаленных лавин объемом 0,008 км³. В ночь с 13 на 14 мая 1970 г. извержение приняло эффузивно-эксплозивный характер. Из кратера излился глыбовый андезито-дацитовый лавовый поток объемом 0,006 км³. С 15 мая активность вулкана стабилизировалась: пепловые выбросы на высоту до 1 км происходили регулярно 5—6 раз в сутки. Период умеренной эксплозивной деятельности продолжался до 16 июля 1971 г., когда извержение вновь приняло эффузивно-эксплозивный характер. Из внутрикратерного купола, сформированного за предыдущий период, началось излияние глыбового лавового потока объемом

0,015 км³, спустившегося двумя рукавами по северо-западному склону вулкана. Этим этапом, длившимся 172 дня, и закончился эруптивный цикл 1970—1971 гг. Общий объем изверженного материала составил 0,03 км³.

Продукты извержения — андезито-дациты — типичны для пород Карымского вулкана. В ходе этого и предыдущих извержений Карымского вулкана химический состав вулканитов остается практически постоянным (Иванов, 1970; Дубик и др., 1972).

Пемзы кульминационной стадии извержения представляют собой породы с пористостью 25%, содержащие не более 8% вкрапленников в пересчете на плотную породу. Основная масса пемз на 90% сложена вулканическим стеклом. В лавах следующих этапов извержения количество вкрапленников резко увеличивается. При этом в лавах потока 1970 г. количество вкрапленников изменяется от 15 в начале до 20—25% в конце, в лавах потока 1971 г. — в пределах 20—25%. Сходные закономерности наблюдались, судя по данным Б. В. Иванова (1970), в ходе предыдущего извержения Карымского вулкана 1962—1965 гг., когда в периоды пароксизмальных стадий (январь и май 1963 г.) содержание вкрапленников в породах составляло менее 10% по сравнению с периодами умеренной эксплозивно-эффузивной активности вулкана (16—20%).

Минералогический состав вкрапленников во всех типах пород извержения 1970—1971 гг. (как и в продуктах предыдущих извержений) одинаков: плагиоклаз (преобладающий минерал), моноклинный пироксен, ромбический пироксен, магнетит, единичные зерна оливина. В лавовом потоке 1971 г. наблюдалось уменьшение содержания анортита от начальных порций к конечным. Характерно проявление в плагиоклазах ритмичной зональности, причем количество зон велико.

Южный прорыв Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг.

Извержение на Южном прорыве Большого трещинного Толбачинского извержения (далее для краткости везде БТИ) продолжалось с 18.IX.1975 по 10.XII, 1976 г. в течение 450 дней, объем извергнутого материала достиг 0,45 км³ (Федотов и др., 1977). Извержение началось как трещинное, но в течение недели активный участок трещины укоротился и сформировался единый шлаковый конус, действовавший до конца процесса. Извержение было существенно эффузивным (коэффициент эксплозивности около 4 вес.%) и обнаружило большое сходство с извержениями гавайских вулканов, в частности, по морфологии потоков лав, широкому развитию лавовых труб и тумулусов (Федотов и др., 1977).

Эксплозивная деятельность, относительно сильная для данного извержения в начале, значительно ослабела в течение зимы 1975/76 г. Новая вспышка эксплозивной активности началась 6—9 апреля 1976 г. и продолжалась до середины мая. В ходе извержения наблюдались заметные колебания расходов лавы, причем три четко выраженных максимума приходятся на начало извержения — апрель и июль 1976 г. Мелкие пульсации расходов лавы и эксплозивной активности происходили постоянно, однако их корреляции между собой не установлено. Происхождение этих пульсаций связано, по-видимому, не только с глубинным процессом, но и с поверхностными явлениями — уровнем стояния лавы в теле конуса, набуханием и разгрузкой резервуаров в толще лавовых потоков и т. д. (Федотов и др., 1977).

Продукты извержения представлены субщелочными глиноземистыми базальтами — породами, достаточно широко развитыми в пределах Ключевской группы вулканов (Волынец и др., 1976). Базальты первой недели извержения и в значительно меньшей степени базальты следующих

двух месяцев отличаются от основной массы пород прорыва несколько более низким содержанием K_2O , Na_2O , Al_2O_3 и более высоким MgO и CaO . В дальнейшем (с декабря 1975 по декабрь 1976 г.) валовый химический состав пород практически не изменяется (Волинец и др., 1978).

Характерной структурной особенностью базальтов Южного прорыва является наличие крупных кристаллов (мегакристаллов) и сложных сростков плагиоклаза (Волинец, Колосков, 1976; Волинец и др., 1977), достигающих 10—20 и даже 30—40 мм по наибольшему измерению.

Мегакристаллы встречаются не только как вкрапленники в лавах, но и как кристалло-лапиллы. Важно подчеркнуть, что многие мегакристаллы имеют оплавленные и корродированные формы и обладают наряду с тонкой внутренней осциллярной зональностью широкими внешними каймами более кальциевого состава. Обычны также обломки мегакристаллов.

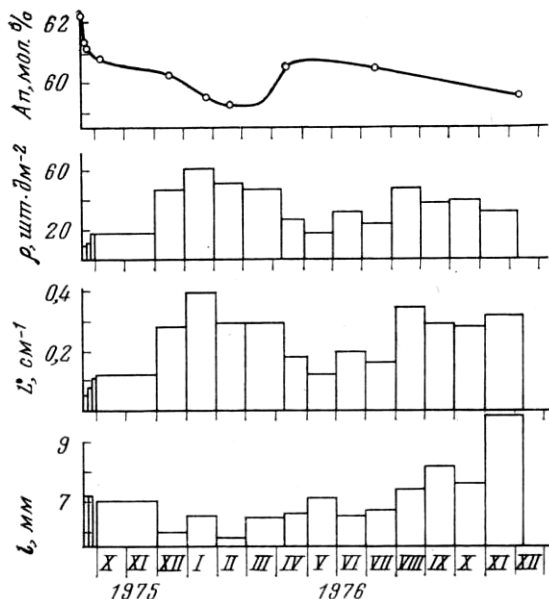


Рис. 4. Вариации состава (An), количества (p), удельной общей длины (L^0) и размеров (l) мегакристаллов плагиоклаза в ходе извержения Южного прорыва БТТИ. Вариации составов плагиоклазов нанесены по данным химических анализов мономинеральных проб. Римские цифры — месяцы

Температуры гомогенизации расплавных включений в мегакристаллах однородны и составляют, по предварительным данным В. М. Округина (ИВ ДВНЦ), $1080\text{—}1100^\circ$, а по данным Б. П. Романчева (ГЕОХИ), $1140\text{—}1150^\circ$. При этом, согласно материалам Б. П. Романчева, температурный интервал плавления вещества расплавных включений не превышает 40° , что указывает, по мнению этого исследователя, на очень небольшое давление в момент кристаллизации плагиоклаза.

Валовый химический состав мегакристаллов отвечает лабрадору An_{59-63} (по 10 образцам) и близок к составу плагиоклаза других мегаплагиофировых базальтов Ключевского дола, а по оптическим определениям колеблется от An_{50} до An_{86} . Содержание ряда малых элементов в мегакристаллах повышено. Так, среднее содержание K_2O в плагиоклазах базальтов Южного прорыва по данным определений на пламенном фотометре равно $0,64\%$ (из 14 проб), а по определениям на микрозонде— $0,50\%$ (из 3 проб) против $0,2\text{—}0,4\%$ (по результатам пламенной спектрофотометрии) в плагиоклазах близкого состава из иных, чем мегаплагиофировые, четвертичных лав Камчатки и Курильских островов (Во-

лынец и др., 1977). Соответственно среднее содержание Fe по данным микронзондовых определений составляет 0,62% (из 3 проб) против 0,48% (из 42 проб) (Леснов, Королук, 1977).

Количество мегакристаллов плагиоклаза в базальтах Южного прорыва изменяется в весьма широких пределах как в целом в ходе извержения, так и в отдельных синхронных во времени образцах бомб и лавовых потоков, характеризующих различные режимы истечения.

Для оценки вариаций содержания мегакристаллов непосредственно в штуфах были определены статистические параметры, перечисленные в табл. 1.

Для установления закономерностей изменчивости характеристик мегакристаллов во времени использовались данные по коллекциям, отобраным за определенные промежутки времени (недели и месяцы) из многих мест разных потоков. При этом S для каждой пробы составляла от 5—10 до 50—100 дм², а N — от 100—200 до 1200—1900. Приведенные оценки вычислялись для конкретных режимных проб, однородных в фациальном отношении. Они были предназначены в основном для характеристики различных морфологических типов потоков и режимов истечения лав, а также для сопоставления синхронно отобранных лав и бомб.

Количество мегакристаллов (рис. 4) в лавах, удаленных не более чем на 1,5 км от питающих бокк, было минимальным в первую неделю извержения, а также после апрельской и июльской активизации. Колебания среднего размера кристаллов в общем противоположны колебаниям их количества, хотя и не так отчетливы. Средний состав мегакристаллов плагиоклаза по данным химического анализа мономинеральных проб становится беднее анортитовой частицей с увеличением количества кристаллов по мере ослабления силы извержения. По данным оптических определений направленность изменений состава плагиоклазов в ходе извержения одинакова как для мегакристаллов, так и для мелких вкрапленников и микролитов. В пробах, относящихся к одному промежутку времени, но различающихся фациально, среднее содержание и размеры мегакристаллов также оказались различными: они больше в лавах, застывших на удалении 4—9 км от конуса, чем в лавах, отобранных близ конуса (табл. 2) *; больше в вязких боковых выжимках, чем в осевой активной части потока**; больше в лавах, чем в бомбах (рис. 5, 6).

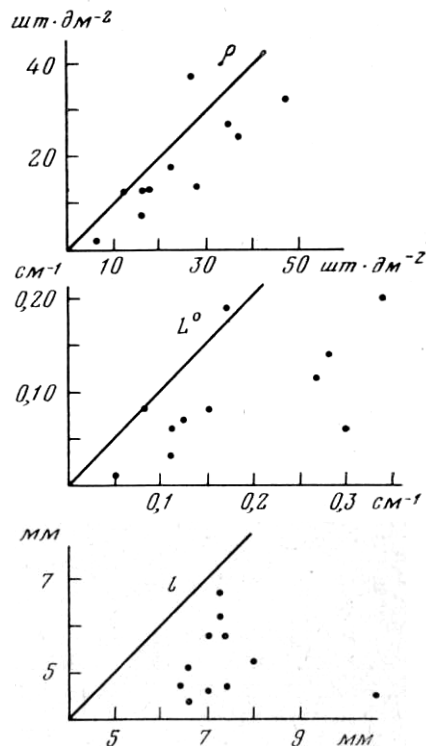


Рис. 5. Соотношение количества (p), удельной общей длины (LP) и размеров (l) мегакристаллов плагиоклаза в лавовых потоках (абсциссы) и бомбах (ординаты) Южного прорыва БТТИ

* Это справедливо также и для голоценовых потоков других конусов Толбачинской ареальной зоны.

** По данным опробования 23.IX.1975 г. значения p , L^0 и l равны соответственно для лавовых выжимок 18,4; 0,14; 7,5, а для осевой части потока — 10,9; 0,07; 6,2,

Таблица 1

**Статистические параметры оценки вариаций размеров и содержания
мегакристаллов плагиоклаза в базальтах Южного прорыва**

Параметры кристаллов	Первичные оценки (без учета пористости)	Приведенные оценки (с учетом пористости)
Удельное количество, шт·дм ⁻²	$\rho = \frac{N}{S}$	$\hat{\rho} = \frac{N}{\hat{S}}$
Средняя длина, мм	$l = \frac{L}{N}$	
Удельная длина, см ⁻¹	$L^0 = \frac{L}{S}$	$\hat{L}^0 = \frac{L}{\hat{S}}$

Условные обозначения: S — площадь опробованной поверхности; \hat{S} — она же, приведенная с учетом пористости; N — общее число кристаллов в выборке; L — сумма длин всех кристаллов в пробе.

Таблица 2

**Сравнительная характеристика количества и размеров мегакристаллов плагиоклаза
в образцах лавовых потоков, отобранных на разном удалении от их истоков**

Название извержения, дата отбора образца	Вблизи конуса (0,1—1,5 км)			В удалении от конуса (4—9 км)		
	ρ , шт. дм ⁻²	L^0 , см ⁻¹	l , мм	ρ , шт. дм ⁻²	L^0 , см ⁻¹	l , мм
Южный прорыв (БТТИ)						
23.IX.1975 г.	8,0	0,05	5,6	14,5	0,10	7,0
X—XI. 1975 г.	17,0	0,12	7,0	53,2	0,39	7,4
III.1976 г.	46,1	0,29	6,4	150,7	0,97	6,5
18—20.IV.1976 г.	26,2	0,15	5,6	63,6	0,42	6,7
Голоценовые шлаковые конусы						
Толбачинской ареальной зоны						
Звезда	10,7	0,04	3,7	22,0	0,13	5,8
Каменистая	<1	<0,01	—	35,0	0,15	4,2

Примечание. Обозначения параметров см. в табл. 1.

На рис. 7 показаны вариации распределения приведенных содержаний мегакристаллов по величине для лав различной морфологии и времени образования.

По общему количеству мегакристаллов рассмотренные пробы разделяются на три группы: с большим, средним и малым содержанием. Эти группы обособляются также по параметрам $\hat{\rho}$ и \hat{L}^0 (рис. 8). Большое количество мегакристаллов (пробы 1, 2 и 8) характерно для лав, длительное время пребывавших в полостях лавового поля — в лавовых трубах и структурах набухания. Эти лавы вязкие и нередко впервые появлялись на поверхности на удалении от 1,5 до 5 км от конуса. Количество мегакристаллов минимально в высокоподвижных лавах фонтанирующего лавового озера (проба 5) и горнитоса (проба 6). Промежуточное количество мегакристаллов (пробы 7, 9, 10, 11, 12 и 14) свойственно лавам с промежуточными свойствами. Таким образом, количество мегакристаллов прямо зависит от времени пребывания расплава в толще лавового поля.

Вариации содержаний мегакристаллов плагиоклаза в лавах не отражаются на валовом составе содержащих их пород. С декабря 1975 по декабрь 1976 г. валовый химический состав базальтов практически не изменялся, а содержание вкрапленников плагиоклаза в усредненных по интервалам времени пробах изменялось в 3—4 раза. Еще более нагляд-

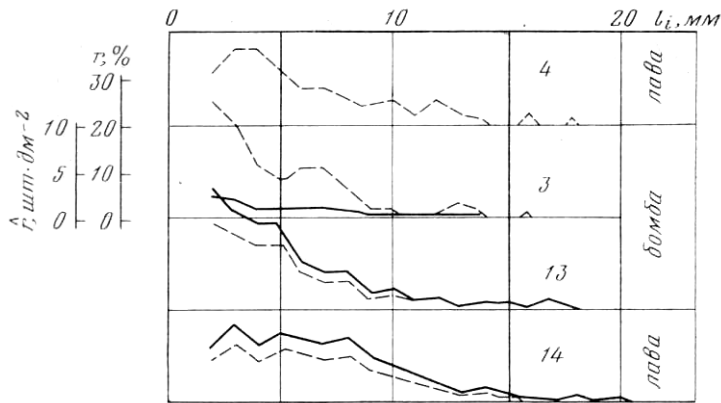


Рис. 6. Вариации количества мегакристаллов плагиоклаза по классам размерности в синхронных образцах лав и бомб Южного прорыва БТТИ. r — количество кристаллов каждого класса крупности в процентах от общего числа кристаллов; l_i — видимая длина кристалла в случайном сколе; \hat{N} — количество кристаллов каждого класса крупности на 1 дм^2 поверхности твердого вещества; пробы 3 и 4 — за 26 мая, 13 и 14 — за 29 августа 1976 г. Сплошная линия — для соотношения $\hat{N} - l_i$, пунктирная — для $r - l_i$

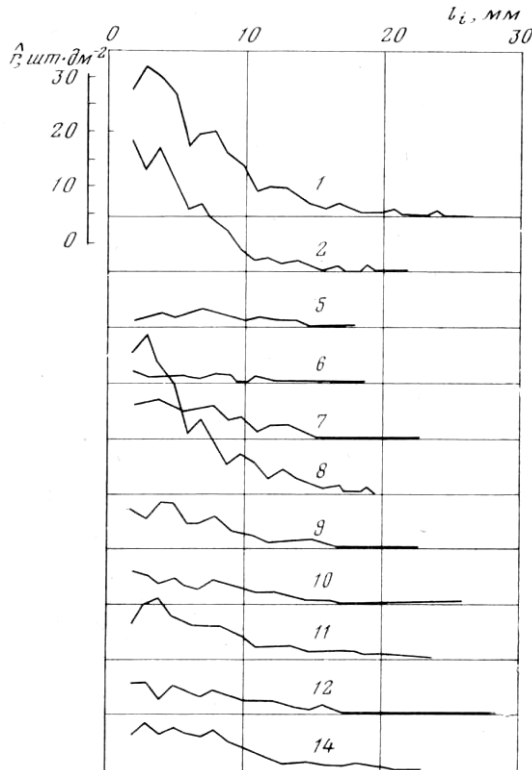


Рис. 7. Вариации количества мегакристаллов плагиоклаза по их размерности в лавах Южного прорыва БТТИ. Цифры у кривых — номера проб, отобранных в 1976 г.: 1 — март; 2 — начало мая; 5 — 31 мая; 6 — 9 июня; 7—22 июня; 8 — 26 июня; 9 — 13 августа; 10 — 17 августа; 11 — 22 августа; 12 — 25 августа; 14 — 29 августа; значения \hat{N} и l_i см. в под-писи к рис. 6

Проба № ⁹	\hat{p} шт·дм ²	\hat{L}^0 см ⁻¹	K ₂ O, %		Na ₂ O, %		CaO, %		Al ₂ O ₃ , %		
			2,0	2,2	3,4	3,8	8,2	9,0	16,5	17,5	18,5
1	189	1,24									
8	164	0,96									
11	76	0,58									
14	69	0,49									
9	63	0,44									
13	68	0,39									
7	56	0,38									
10	45	0,32									
5	25	0,14									
6	11	0,08									
3	10	0,05									

Рис. 8. Соотношения валовых химических составов пород и количества мегакристаллов плагиоклаза в них для базальтов Южного прорыва БТТИ \hat{p} — приведенное удельное количество вкрапленников; \hat{L}^0 — приведенная удельная длина; крестики — определение содержания каждого окисла в горной породе, слагающей данную пробу. Положение каждой пробы на рисунке определяется длиной вкрапленников (в масштабе \hat{L}^0)

но это видно на рис. 8, где представлена серия проб с чрезвычайно разными содержаниями вкрапленников, причем пробы, занимающие крайние положения, отличаются по параметрам \hat{p} и \hat{L}^0 в 20—25 раз. Несмотря на такие различия, какого-либо направленного изменения химизма пород в связи с вариациями содержания в них мегакристаллов не наблюдается. Это дает основание полагать, что заметного перераспределения мегакристаллов в расплаве (например, за счет фракционирования или различной концентрации кристаллов в струях потока, движущихся с разной скоростью) не происходило. Следовательно, можно достаточно уверенно полагать, что мегакристаллы плагиоклаза полностью или в значительной мере кристаллизовались из того самого объема вещества, в котором они находились.

Изложенные материалы свидетельствуют о весьма высокой скорости кристаллизации вкрапленников плагиоклаза в базальтовых расплавах Южного прорыва. Полагая, что первоначальные характеристики параметров распределения количества мегакристаллов плагиоклаза в синхронных образцах лав и бомб одинаковы, можно попытаться грубо оценить темп увеличения объема мегакристаллов в эффузивных условиях. На рис. 6 такой синхронной парой являются бомба (проба 13) и лава (проба 14) за 29 августа 1976 г. Образец лавы отобран в 1,5 км от истока открыто текущего лавового потока с поперечным сечением активной зоны 150 м² и расходом лавы 3 м³/с. Время прохождения материала пробы от жерла до пункта опробования даже при таких, далеко не самых благоприятных для лавовых потоков Южного прорыва условиях не превышает 21 ч. За этот промежуток времени доля мегакристаллов, судя по измерениям приведенной общей длины \hat{L}^0 , увеличилась от 0,39 (проба 13) до 0,49 см⁻¹ (проба 14) (см. рис. 8), а средняя длина — с 5,74 до 7,08 мм. Скорость роста мегакристаллов по вектору, параллельному их удлинению, равна, исходя из указанных данных, в среднем $1,8 \cdot 10^{-6}$ см·с⁻¹. На высокую скорость роста мегакристаллов плагиоклаза указывает

также целый ряд косвенных данных: уплощенная форма кристаллов, особенности их сростков, характер зональности, высокие содержания малых элементов, узкий интервал температур гомогенизации расплавов включений при крупных размерах кристаллов и т. д.

Обсуждение результатов и выводы

Подытожим имеющийся фактический материал.

1. Для некоторых рассмотренных выше современных извержений начальные порции вулканических продуктов почти не содержат вкрапленников. При увеличении количества вкрапленников в более поздних порциях лав содержание плагиоклаза и темноцветных минералов увеличивается синхронно. Объем вкрапленников растет за счет увеличения их количества и размеров.

2. Устанавливается отчетливая связь между динамикой извержений, количеством вкрапленников в вулканических продуктах и составом плагиоклазов. Изменение содержания вкрапленников происходит неравномерно. В периоды максимальной эксплозивной активности и максимальных расходов лавы содержание вкрапленников в вулканиках понижено, а плагиоклаз наиболее богат анортитовой частицей.

3. Для ряда извержений зафиксировано, что кристаллизация начальных порций расплава, появление которой на земной поверхности характеризуется обычно максимальной эксплозивной активностью, происходит при повышенном давлении летучих. На это указывает наличие водосодержащих темноцветных минералов в первых наименее раскристаллизованных порциях базальтов Олимпийского прорыва 1972 г. вулкана Алаид, (биотит и амфибол), первых порциях базальтов извержения вулкана Тятя в 1973 г. (амфибол), андезитах первых извержений эруптивного этапа 1955—1965 гг. вулкана Безымянного (амфибол). Позднее водосодержащие темноцветные минералы достаточно быстро исчезают, сменяясь ассоциациями безводных темноцветных минералов (см. Богоявленская и др., 1971, 1976).

4. В большинстве случаев вариации в содержании (а также размерах и составе) вкрапленников плагиоклаза (в отличие от микролитов) в самых разных образцах лав, бомб и шлаков, а также на фронте и в истоках одной порции лавового потока или в разрезах лавовых потоков незначительны (см. Hoffer, 1966). При излияниях жидких базальтовых лав (Южный прорыв БТТИ 1975—1976 гг.) устанавливается зависимость содержания и размеров вкрапленников плагиоклаза от длительности пребывания расплавов в недрах лавового поля до момента затвердевания. Увеличение количества вкрапленников фиксируется и в открыто текущих лавовых потоках по мере удаления их от истоков.

5. Несмотря на широкие вариации содержания вкрапленников для каждого конкретного извержения, химический состав лав разных по времени порций и разных морфологически потоков, а также синхронных пар «лава — бомба» остается практически постоянным.

6. Плагиоклазы вкрапленников вулкаников заметно отличаются от плагиоклазов глубинных плутонических и метаморфических пород широким проявлением ритмичной зональности (Rittman, 1963; Волынец, Колосков, 1973); наличием сложных сростков, обуславливающих проявление в плагиоклазах псевдосимметрий высоких порядков (Варданянц, 1950; Волынец, Колосков, 1976); наличием кристаллов с обильными включениями стекла, нередко имеющими скелетный облик (Фрих-Хар, 1977); более высоким уровнем содержания ряда редких и малых элементов (Sen, 1959, 1960; Волынец и др., 1977; Леонов, Королюк, 1977).

Четкая связь между количеством вкрапленников плагиоклаза в лавах и каждым из периодов усиления и ослабления активности извержения, субафировый характер первых порций расплавов и увеличение

объема вкрапленников в дальнейшем и, наконец, систематическое различие в содержании вкрапленников плагиоклаза в синхронных образцах лав и вулканических бомб определенно указывают на то, что большая часть вкрапленников плагиоклаза кристаллизуется в приповерхностных условиях в каналах вулканов в ходе извержений. Прямым указанием на приповерхностные условия кристаллизации мегакристаллов в лавах Южного прорыва БТТИ служит узкий температурный интервал плавления вещества расплавных включений, что свидетельствует о необходимости очень небольшого давления для полного растворения газовой фазы в расплаве. Наконец, сходство составов, содержания элементов-примесей, морфологических особенностей вкрапленников плагиоклаза эффузивов с плагиоклазами приповерхностных интрузий также косвенно указывает на их кристаллизацию на малых глубинах.

Сказанное не исключает возможности кристаллизации некоторой части вкрапленников плагиоклаза лав в более глубоких условиях. По-видимому, встреченные в небольшом количестве в продуктах извержений вулканов Алаид и Тятя корродированные лабрадоры (преобладают вкрапленники битовнит-анортита) могут рассматриваться как истинно интротеллурическая фаза.

Основываясь на установленной связи количества и состава вкрапленников плагиоклаза в лавах с динамикой извержения, в первую очередь с интенсивностью взрывной активности, можно предположить, что начало кристаллизации вкрапленников плагиоклаза происходит в вулканическом канале на уровне обособления самостоятельной газовой фазы. Выделение летучих в самостоятельную фазу и дальнейшее их расширение, по мнению Л. К. Грейтова (1949), сопровождается понижением температуры расплава. Известно, что рост пластинчатых кристаллов вызывается в основном торможением роста одной из граней; явление же торможения проявляется при докритических пересыщениях (Стрикленд-Констебль, 1971). Пластинчатые мегакристаллы внутрижерлового происхождения на Южном прорыве могут свидетельствовать о возникновении таких пересыщений и, следовательно, о понижении температуры в магме, находившейся в подводящем канале.

Так как максимальный темп расширения газов наблюдается у среза лавовых жерл, можно предположить, что основная часть вкрапленников плагиоклаза кристаллизуется непосредственно вблизи выхода лавы на поверхность. Верхняя граница кристаллизации вкрапленников плагиоклаза — собственно эффузивные условия. Кристаллизация вкрапленников в лавовых потоках происходит, по-видимому, лишь в жидких базальтовых лавах при извержениях гавайского типа, как это было показано Е. К. Устиевым (1961) для базальтов Анюйского вулкана и нами — для базальтов Южного прорыва БТТИ. Еще более значительная доля вкрапленников образуется при подобных извержениях во время стояния расплавов в резервуарах-накопителях в толще лавовых плато и при движении их по лавовым трубам. Однако и в этих случаях существенная часть вкрапленников плагиоклаза кристаллизуется до поступления расплава на поверхность, на что указывает наличие кристалло-лапиллей в пемзово-шлаковом материале, оплавление и дробление многих мегакристаллов в лавах, а также очень характерная для них обратная зональность.

Независимость вариаций количественно-минералогического и химического составов эффузивов определенно свидетельствует, что отмечающиеся в ходе извержения изменения объемного содержания вкрапленников не связаны с каким-либо процессом перераспределения вкрапленников в расплавах (например, за счет фракционирования или различной концентрации их в струях магматических расплавов, движущихся с разной скоростью). На это же указывает синхронное изменение содержаний вкрапленников плагиоклаза и темноцветных минералов в лавах в ходе

извержений и неравномерность этого процесса во времени. Таким образом, можно достаточно уверенно полагать, что вкрапленники полностью или в существенной мере кристаллизовались из того объема вещества, в котором они находились.

ЛИТЕРАТУРА

- Авдейко Г. П., Хренов А. П., Флеров Г. Б., Токарев П. И., Широков В. А., Меняйлов И. А., Чирков А. М., Волюнец О. П., Дубик Ю. М., Вергасова Л. П., Пономарев Г. П. Извержение вулкана Алаид в 1972 г.—Бюл. вулканол. ст., 1974, № 50, с. 64—80.
- Богоявленская Г. Е., Дубик Ю. М., Кирсанов И. Т. Кристаллизация андезитов в верхних частях вулканического канала.— В кн.: Вулканизм и глубины Земли. М., «Наука», 1971, с. 161—162.
- Богоявленская Г. Е., Иванов Б. В., Кирсанов И. Т., Максимов А. П. Зависимость кристаллизации лав вулкана Безымянного от механизма извержений.— В кн.: Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976, с. 118—127.
- Варданянц Л. А. Триадная теория двойниковых образований минералов. Ереван. Изд-во АН АрмССР, 1950, ИЗО с.
- Волюнец О. Н., Ермаков В. А., Кирсанов И. Т., Дубик Ю. М. Петрохимические типы базальтов Камчатки и их геологическое положение.— Бюл. вулканол. ст., 1976, № 52, с. 115—126.
- Волюнец О. Н., Колосков А. В. Некоторые петрологические критерии фации глубинности магматических образований.— Сов. геол., 1973, № 5, с. 134—140.
- Волюнец О. Н., Колосков А. В. Плагноклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. Новосибирск, «Наука», 1976, 134 с.
- Волюнец О. Н., Пополитов Э. И., Флеров Г. Б., Кирсанов И. Т. Состав и геохимические особенности плагноклазов четвертичных вулканических пород Камчатки и Курильских островов.— «Геохимия», 1977, № 5, с. 736—747.
- Волюнец О. Н., Флеров Г. Б., Андреев В. П., Пополитов Э. И., Абрамов В. А., Петров Л. Л., Шека С. А. Петрохимия, геохимия и вопросы генезиса пород Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг.— Докл. АН СССР, 1978, т. 238, с. 940—943.
- Грейтон Л. К. Предположение о вулканическом тепле. М., Госгеолиздат, 1949, 166 с.
- Дубик Ю. М., Волюнец О. Н. Влияние характера эруптивного процесса на кристаллизацию плагноклаза.— Бюл. вулканол. ст., 1972, № 48, с. 64—70.
- Дубик Ю. М., Огородов Н. В., Абдурахманов А. А., Хренов А. П., Токарев П. И., Фирстов П. П., Широков В. А., Лемзиков В. К. Начало нового эруптивного цикла активности вулкана Карымский в мае 1970 г.— Бюл. вулканол. ст., 1972, № 48, с. 3-20
- Иванов Б. В. Извержение Карымского вулкана в 1962—1965 гг. и вулкана Карымской группы. М., «Наука», 1970, 134 с.
- Кирсанов И. Т., Важевская А. А. Извержение кратеров Пийпа в 1966 г. и некоторые вопросы дифференциации лав на Ключевском вулкане.— В кн.: Вулканизм и глубины Земли. М., «Наука», 1971, с. 157—160.
- Кирсанов И. Т., Хренов А. П., Вакин Е. А. Действующие вулканы Камчатки и Курильских островов в 1973 г.— Бюл. вулканол. ст., 1975, № 51, с. 3—18.
- Леонов Ф. П., Королюк В. И. Первые данные о распределении изоморфной примеси железа в плагноклазах базит-гипербазитовых плутонов складчатых областей СССР.— Докл. АН СССР, 1977, т. 234, с. 922—924.
- Пийп Б. И. Ключевская сопка и ее извержение в 1944—1945 гг. и в прошлом.— Тр. лабор. вулканол., 1956, вып. 11, 310, с.
- Стрикленд-Констебль Р. Ф. Кинетика и механизм кристаллизации. Л., «Недра», 1971, 310 с.
- Устиев Е. К. Анюйский вулкан. М, ГОНТИ, 1961, 122 с.
- Федотов С. А., Мархинин Е. К., Ковалев Г. П., Цюрупа А. И., Слезин Ю. Б. Большое трещинное Толбачинское извержение на Камчатке. Южный прорыв 1975—1976 гг.— Докл. АН СССР, 1977, т. 237, с. 1155—1158.
- Фрих-Хар Д. И. Кристаллизация магматического стекла и некоторые вопросы петрогенезиса. М., «Наука», 1977, 120 с.
- Хренов А. П. Газонасыщенность как фактор кристаллизации магматических расплавов и динамики извержений.— В кн.: Геодинамика вулканизма и геотермального процесса. Петропавловск-Камчатский, 1974, с. 172.
- Хренов А. П. Сравнительная характеристика продуктов вулканической деятельности в зависимости от динамики извержения. Глубинное строение, магматизм и металлогения орогенных поясов. Владивосток, 1976, с. 127—128.
- Хренов А. П. Характер динамики и продукты извержения вулканов Алаид и Тятя (1972—1973 гг.).— Матер. IV научной конф. молодых специалистов и ученых Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 1976, с. 258—259.

- Хренов А. П., Флеров Г. Б.* Особенности дифференциации и кристаллизации базальтового расплава в вулканическом канале прорыва Олимпийский (вулкан Алайд).— В кн.: Геодинамика вулканизма и геотермального процесса. Петропавловск-Камчатский, 1974, с. 172—173.
- Hoffer J. M.* Compositional variations of plagioclase feldspar from a basalt lava flow.— Amer. Mineralog., 1966, v. 51, p. 807—813.
- Sen S. K.* Potassium content of natural plagioclases and the origin of antiperthites.— J. Geol., 1959, v. 67, p. 479—495.
- Sen S. K.* Some aspects of the distribution of barium, strontium, iron and titanium in plagioclase feldspars.— J. Geol., 1960, v. 68, p. 638—665.
- Pittman E. D.* Use of zoned plagioclase as indicator of provenance.— J. Sediment Geol., 1963, v. 33, p. 380—386.

Институт вулканологии
ДВНЦ АН СССР

Поступила.
10.VIII.1978 г.