

С.А. ФЕДОТОВ, В.И. ГОРЕЛЬЧИК, В.В. СТЕПАНОВ,
В.Т. ГАРБУЗОВА

РАЗВИТИЕ БОЛЬШОГО ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ В 1975 ГОДУ ПО СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Большое трещинное Толбачинское извержение, начавшееся 6 июля 1975 г. (Федотов и др., 1976б); предвлялось и сопровождалось множеством вулканических землетрясений и интенсивным вулканическим дрожанием. Неполные сейсмологические данные об извержении были в сжатой форме опубликованы ранее (Федотов и др., 1976а). В настоящей статье приводятся и обсуждаются результаты детальных сейсмологических исследований механизма и развития Большого трещинного Толбачинского извержения в 1975 г.

Наиболее сильные землетрясения, предвлявшие и сопровождавшие извержение, регистрировались всеми 15 региональными сейсмическими станциями Института вулканологии ДВНЦ АН СССР. Основную же массу землетрясений зарегистрировали шесть ближайших к месту извержения станций: Ключи (Клч), Козыревск (Кзр), Апахончич (Апх), Эссо, Кроноки (Крн), Крутоберегово (Крб). Дополнительные наблюдения вели четыре временные станции: Толбачик (Тлб), Плотина (Плт), Левый Толбачик (ЛТ) и Прорыв (Пр) (рис. 1). Сейсмические каналы имели столообразную амплитудно-частотную характеристику в диапазоне периодов $0,2 \div 0,9$ с и увеличение от 10 000 до 100. Увеличение снижалось из-за сильного вулканического дрожания, уровень которого на ближайших к новым вулканам станциях превышал 10 мк.

При обработке землетрясений использовались палетки изохрон, построенные с помощью поля времен, рассчитанного В.И. Горельчик (Горельчик, Степанов, 1976) для скоростного разреза в районе Ключеской группы вулканов с учетом данных ГСЗ (Аносов и др., 1974). Местоположение наиболее сильных землетрясений определялось для контроля раздельно по близким и удаленным станциям, по комбинациям троек станций, а также графически по способу Вадати. Глубина очага оценивалась дополнительно по способу теоретических годографов, по истинным углам выхода, а также по обменным волнам. Ошибки определения координат преимущественно составляли $\pm 5 \div \pm 10$ км по эпицентру и $\pm 5 \div \pm 15$ км по глубине. Для землетрясений с четкими вступлениями объемных волн и малыми $S-P$ на ближайших полевых станциях реальная точность определения координат была выше. Так, на станциях Толбачик, Прорыв и Левый Толбачик разность времен вступления поперечной и продольной волн изменялась, как правило, в пределах от 1 до 4 (иногда до $5 \div 6$) с, что уже само по себе достаточно определенно свидетельствовало о положении фокусов землетрясений в пространстве.

В 1973–1974 гг. в районе будущего извержения отмечалась несколько повышенная по сравнению с предыдущими (1964–1971) годами сейсмическая активность в земной коре и верхней мантии. К юго-западу от вулкана Плоский Толбачик, в зоне развития ареального вулканизма, были зарегистрированы землетрясения энергетических классов $K_{S,1,2}^{\Phi 68} = 10 \div 12$ на глубинах 0–25 км и выше

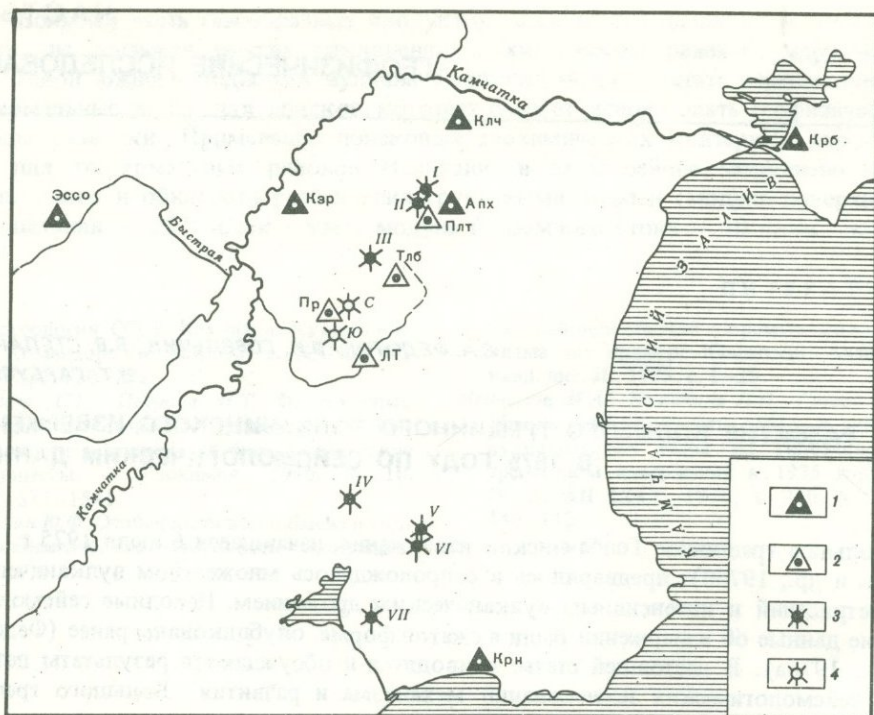


Рис. 1. Схема расположения сейсмических станций в районе извержения

1-2 — сейсмические станции: 1 — постоянные, 2 — временные; 3 — действующие вулканы: I — Ключевской, II — Безымянный, III — Плоский Толбачик, IV — Кизимен, V — Комарова, VI — Гамчен, VII — Кроноцкий; 4 — центры извержения 1975 г.: С — Северный прорыв, Ю — Южный прорыв

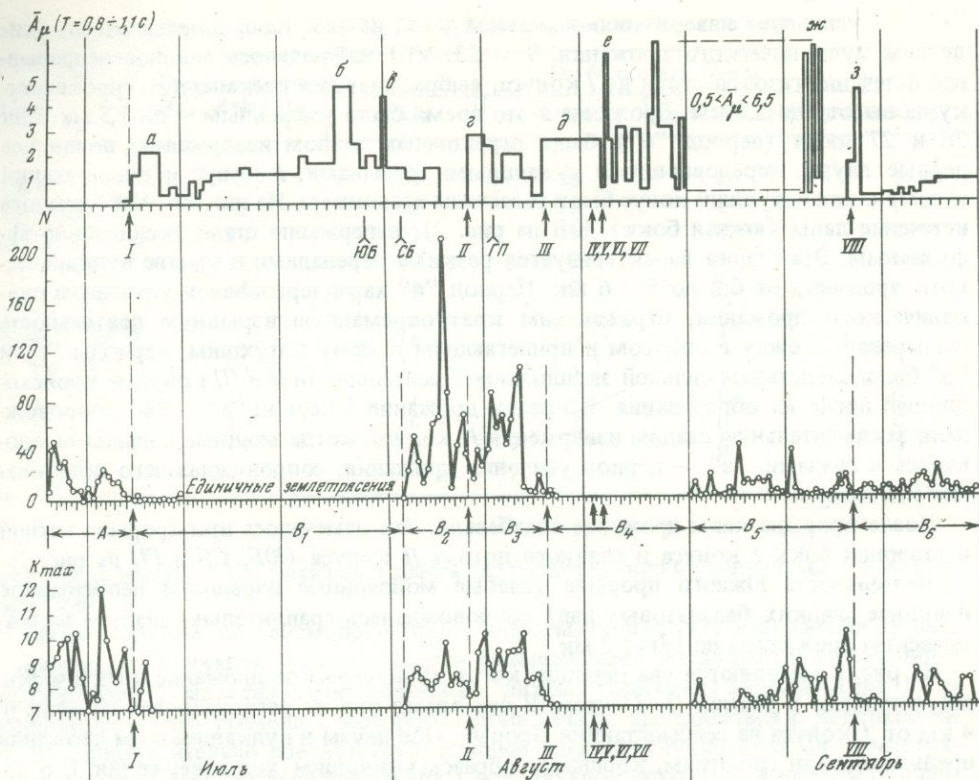
150 км. $K_{S 1,2}^{68}$ — энергетический класс землетрясений, определенный по волнам S по номограмме С.А. Федотова (Федотов, 1972). $K_{S 1,2}^{68} = 4,6 + 1,5M$, где M — магнитуда, определенная по поверхностным волнам.

Материалы полевой ст. Толбачик, которая периодически работала у юго-восточного подножия вулкана Плоский Толбачик, показывают, что в этом районе происходили вулканические землетрясения I типа¹ с глубиной очага, вероятно, не более 10 км. Так, в 1971 г. за 60 дней работы станции было записано 6 землетрясений с $K_S \leq 6,5$ и $S-P \leq 4,0$ с, в 1972 г. — 12 таких землетрясений за 70 дней, в 1973 г. — 10 за 60 дней и в 1974 г. — 17 землетрясений за 40 дней. 15 августа 1974 г. в 10 км юго-западнее кратера Плоского Толбачика на глубине 5 ÷ 10 км было зарегистрировано землетрясение с $K_S = 7$ ($M = 1,5$). 18 мая 1975 г. в 7 км к юго-востоку от кратера произошло еще одно землетрясение с $K_S = 7$ и глубиной 5–10 км.

С июня 1975 г., во время подготовки и развития Большого трещинного Толбачинского извержения, сейсмическая активность в районе вулкана Плоский Толбачик, к юго-западу, югу и востоку от него возросла по сравнению с предыдущими годами на несколько порядков.

В июне—сентябре 1975 г. в районе извержения наблюдались три больших роя вулканических землетрясений и сильное вулканическое дрожание. В первом рое 27 июня — 5 июля было 300 землетрясений энергетических классов $K_S \geq 7$ (макс-

¹ В настоящее время большинство исследователей к вулканическим относят землетрясения, пространственно и генетически связанные с вулканической деятельностью. Вулканические землетрясения I типа связываются с процессами в магматическом очаге и канале вулкана. Они соответствуют землетрясениям А-типа по классификации Т. Минаками (Minakami, 1960), по характеру записи похожи на обычные тектонические землетрясения с четкими вступлениями объемных волн P и S и могут происходить не только накануне, но и в промежутках между извержениями (Токарев, 1966, Горельчик, 1973).



Р и с. 2. Графики изменения во времени амплитуды вулканического дрожания (по данным с/ст Толбачик), числа N и максимального энергетического класса землетрясений K_{\max} (по данным с/ст Ключи) при Толбачинском извержении

Объяснение условных обозначений см. в тексте

симальное $K_S = 11,5, M = 5$), 2–17 августа – около 1400 ($K_S^{\max} = 10$), а 1–17 сентября – 280 таких землетрясений ($K_S^{\max} = 10$). На рис. 2 показан характер изменения во времени сейсмической активности, предвалявшей (период A) и сопровождавшей (период B) извержение. Графики распределения числа N и максимального энергетического класса K^{\max} вулканических землетрясений построены по 12-часовым интервалам по материалам ст. Ключи ($\Delta = 75\text{--}80$ км), а график изменения средней амплитуды вулканического дрожания \bar{A} в микронах – по материалам ст. Толбачик ($\Delta = 15$ км). Как видно на рис. 2, образование трещин, на которых во время извержения выросли крупные шлаковые конусы $I, II, III, VIII$ (их относительные высоты – 330, 290, 140 и 110 м¹), предвалялось роями землетрясений, которые начинались за 5–10 дней до прорывов магмы и газов на поверхность. Рои землетрясений отмечались на фоне уменьшения энергии либо при полном отсутствии вулканического дрожания, а сами прорывы происходили на спаде числа (N) и энергии (K^{\max}) вулканических землетрясений, при этом снова усиливалось вулканическое дрожание. Образованию I конуса (начало извержения – период A) предшествовала наиболее длительная и наиболее интенсивная по уровню выделенной сейсмической энергии подготовка. По этому рою были верно предсказаны место и время начала извержения. В дальнейшем по характерному спаду числа землетрясений в конце роев были предсказаны времена возникновения II, III и $VIII$ конусов.

Динамика извержения хорошо коррелируется с ходом графика изменения средней амплитуды вулканического дрожания² (рис. 2). Период

¹ Высота $VIII$ конуса к концу 1976 г. увеличилась до 160 м.

² Подробное о вулканическом дрожании см. статью В.И. Горельчик, В.В. Степанова и В.П. Ханзутина в настоящем сборнике.

"а" — усиление извержения в самом его начале, сопровождавшееся усилением вулканического дрожания. 9 — 23. VIII наблюдалось мощное непрерывное истечение газовой струи из I конуса, выбрасывавшей раскаленную пирокластику на высоту до 2,5 км. Дрожание в это время было умеренным — до 1,5 мк. Дни 26 и 27 июля (период "б") были переломным этапом извержения: появились первые паузы, чередовавшиеся с мощными взрывами, I конус и прилегающий к нему с юга потухший конус были расщелены трещинами. Из них 29. VII началось истечение лавы (южная бокка, ЮБ на рис. 2), извержение стало взрывно-эффузивным. Эта стадия характеризуется резкими перепадами в уровне вулканического дрожания от 0,2 до 5 ÷ 6 мк. Период "в" характеризовался усилением вулканического дрожания, отражающим кратковременную взрывную деятельность на перевале между I конусом и прилегающим к нему потухшим, периоды "г" и "д" были следствием сильной взрывной деятельности II и III конусов, происшедшей после их образования. Всплески дрожания в период "е" — "ж" сопровождали заключительную стадию извержения II конуса, когда мощные взрывы чередовались с паузами. "з" — период усиления дрожания, сопровождавшего образование VIII конуса.

После прорыва лавы дрожание ослабевало. Это отмечалось при прорыве южной и северной бокк I конуса и главного потока II конуса (ЮБ, СБ и ПП на рис. 2).

Деятельность Южного прорыва (слабые монотонные взрывы и непрерывное излияние жидких базальтовых лав) сопровождалась сравнительно слабым вулканическим дрожанием до 1,0–1,2 мк.

На рис. 2 выделяются два периода, когда вулканическое дрожание практически отсутствовало в течение 2–3 суток. В это время оно не регистрировалось даже в 4 км от I конуса на сейсмостанции Прорыв. Обе паузы в вулканическом дрожании предшествовали событиям, коренным образом менявшим ход извержения. С 6 по 9. VIII происходило постепенное затухание деятельности I конуса и шла сейсмическая подготовка (рой землетрясений) образования II конуса. Вторая пауза в дрожании (с 15 по 17. IX) совпадает по времени с прекращением извержения на Северном прорыве и интенсивной сейсмической активностью (рой землетрясений) к югу от Северного прорыва, в месте образования будущего VIII конуса. По-видимому, в эти периоды приток магмы по существующим каналам прекращался (излияние лавы в это время из Южной и Северной бокк I конуса, вероятнее всего, происходило из приповерхностных магматических котлов), формировались новые пути ее продвижения к поверхности Земли (рой землетрясений), давшие начало новым центрам извержения.

На карте (рис. 3), характеризующей сейсмическую обстановку накануне извержения, представлены все землетрясения I роя, начиная с 8-го энергетического класса и выше, а также отдельные, более слабые землетрясения. Всего в рое было обработано 217 землетрясений. Как видно на рис. 3, эпицентры землетрясений с $K_S \geq 8$ образуют вытянутую в меридиональном направлении область, имеющую в плане размеры ~ 20 × 10 км, внутри которой располагаются три первых конуса извержения. Глубина очагов землетрясений изменялась от 15 ÷ 20 км (возможно, 30 км) до 0 и выше ур. моря. При этом, по-видимому, можно говорить об общей тенденции к уменьшению глубины очагов землетрясений со временем.

Распределение числа землетрясений I роя с $K_S \geq 8$ (7,5) по энергии и глубине очага приведено в таблице.

Наиболее сильные землетрясения с $K_S = 11,5$ и $11,1$ ($M \approx 5$) и глубиной очага 10 ÷ 20 км были зарегистрированы 2. VII. Эпицентр сильнейшего из них находится на оси зоны шлаковых конусов, протягивающейся к юго-западу от вершинной кальдеры Плоского Толбачика, и практически совпадает с I конусом, т.е. местом, где начиналось извержение. Вместе с землетрясениями с $K_S = 12,5$, предварявшими извержение вулкана Шивелуч в 1964 г., это самые сильные события, отмеченные в роях вулканических землетрясений за весь период инструментальных сейсмологических наблюдений за вулканами Камчатки (с 1949 г.). Протяженность разрывов в очагах подобных землетрясений достигает, по оценкам В.М. Зобина (см. его статью в настоящем сборнике), 5 ÷ 8 км. Примерно такую же длину по горизон-

Распределение землетрясений I роя с $K_S \geq 8$ (7,5) по энергии, глубине и во времени

Период наблюдений	Энергетический класс $K = \lg E$ Дж	Глубина очага, H , км			
		$H \leq 0$	$0 < H \leq 5$	$5 < H \leq 10$	$10 < H \leq 20$ (30?)
27. VI ÷ 2.	8	18	38	2	2
VII. (до 07 ^h 43 ^m)	9	5	13	2	1
	10	3	4	0	2
	11	0	2	2	1
	12	0	0	0	1
2.VII(с 07 ^h 52 ^m)	8	16	9	2	0
- 5. VII	9	13	5	1	0
	10	1	1	0	0
	11	0	1	0	0
	12	0	0	0	0

тали могла иметь 2.VII питающая дайка (ее размеры могли увеличиться в последующие дни).

Таким образом, по сейсмологическим данным, подготовка извержения Новых Толбачинских вулканов сопровождалась интенсивными подвижками (и трещинообразованием), захватившими, возможно, нижние горизонты земной коры. Если предположить, что уровень, с которого магма начала продвигаться к поверхности Земли, приблизительно соответствует нижним оценкам глубины очагов землетрясений, а также зная продолжительность I роя, можно попытаться в первом приближении рассчитать скорость подъема магмы. При максимальной глубине фокусов землетрясений 10 ÷ 20 или 15 ÷ 30 км полученные значения скорости лежат в пределах 50–100 или 100–150 м/час соответственно.

После I роя землетрясений, наступило затишье, в течение которого наблюдались единичные землетрясения (фаза *B*, см. рис. 2). Наиболее сильные из землетрясений этого периода с $K_S \geq 9$ располагались в районе I конуса на глубине не свыше 5 км (рис. 4). Конец этой фазы совпал с прорывом 28.VII южной, а 2.VIII-северной бокк I конуса. В это же время (с 28. VII) были зарегистрированы первые землетрясения с $K_S \geq 8$ и глубиной очага 0 ÷ 5 км не из района извержения непосредственно, а к востоку и юго-востоку от кратера Плоского Толбачика. Тогда же, 28.VII, было замечено значительное растрескивание дна кратера Плоского Толбачика (см. статью А.И. Фарберова в наст. сборнике), явившееся предвестником последовавших с конца августа обвалов и образования новой вершинной кальдеры.

Карта эпицентров II роя землетрясений, который длился с 2 по 17.VIII, представлена на рис. 4. Для этого роя полностью обработаны все землетрясения с $K_S \geq 9$ и часть 8-го и 7-го энергетических классов.

Подавляющее число землетрясений роя имело глубину очагов 0–5 км и лишь некоторые в начале роя – глубину 5–10 км. Рой можно рассматривать как наложение двух роев со 2 по 9.VIII (B_2) и с 10 по 17. VIII (B_3), в конце которых на расстоянии 750 м друг от друга возникли 9. VIII и 17. VIII II и III конусы, соответственно. По всей вероятности, образование питающих каналов II конуса началось на глубине не свыше 10 км, а III конуса – еще ближе к поверхности.

Интенсивность сейсмической подготовки образования II и III конусов была приблизительно одинаковой: в рое 2–9. VIII было зарегистрировано 2 землетрясения с $K_S = 10$ и 13 землетрясений с $K_S = 9$, а в рое 10–17. VIII – 1 землетрясение с $K_S = 10$ и 22 землетрясения с $K_S = 9$. Но в обоих случаях выделявшаяся сейсмическая энергия была более чем на порядок меньше энергии I роя. Как и в I рое, наиболее сильные землетрясения (все события 10 и большинство 9 энергетических классов) в августе тяготели к району Северного прорыва. Очаги более слабых землетрясений с $K_S \leq 8$ и частично с $K_S = 9$ были рас-

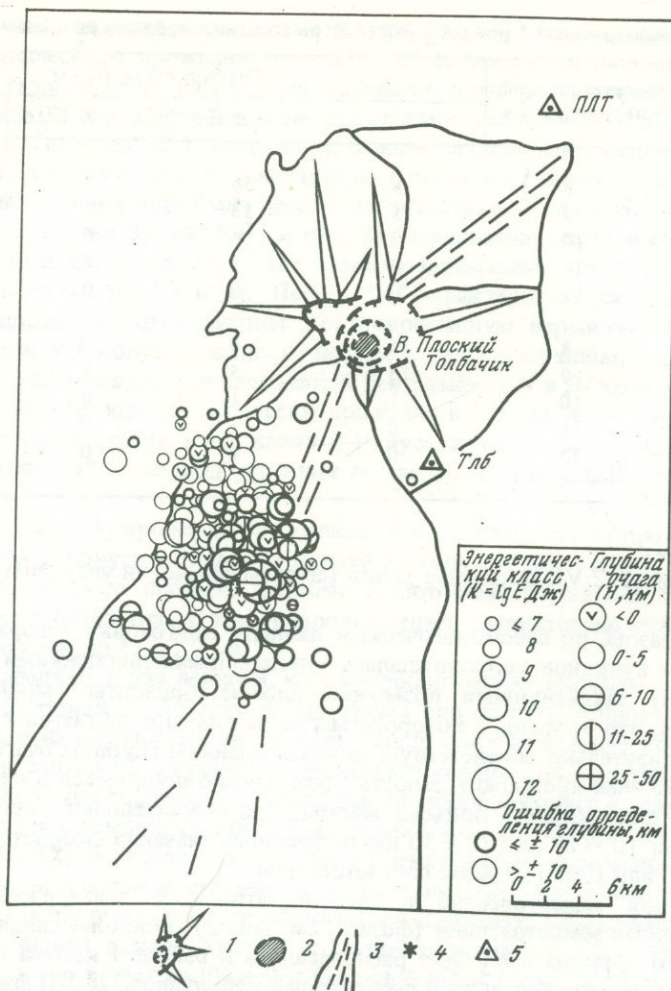
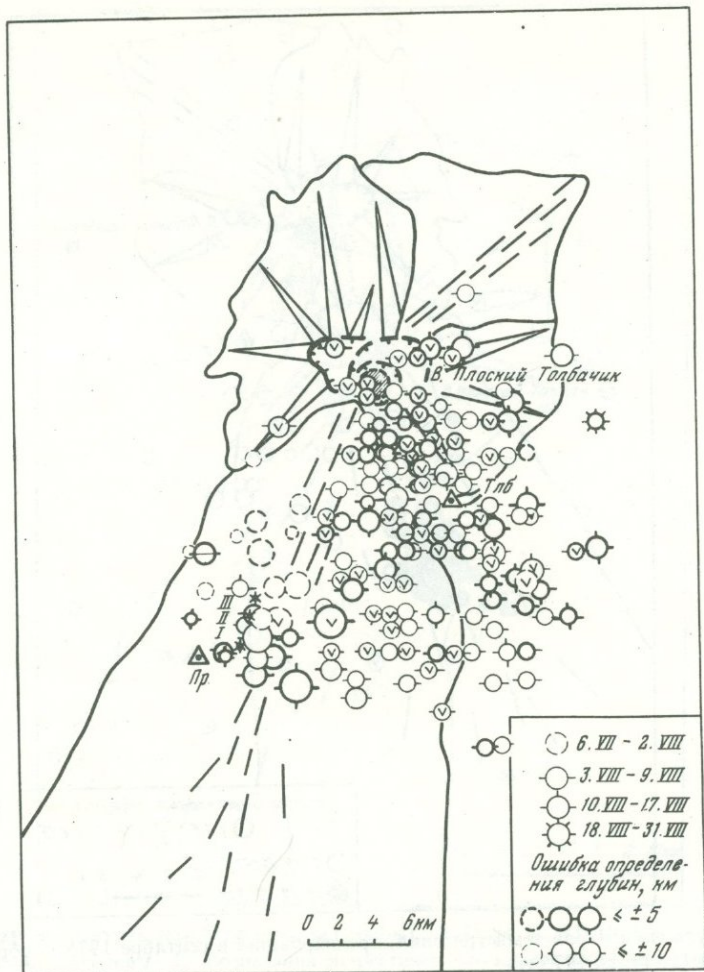


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений, предваривших извержение (I рой)

1 — постройки вулканов Плоский и Острый Толбачики; 2 — провал кратера Плато Толбачика; 3 — зона развития ареального вулканизма; 4 — центры извержения 1975 г.; 5 — сейсмические станции

средоточены на значительной площади $\sim 400 \text{ км}^2$ и располагались между центрами извержения и вершиной Плоского Толбачика или к югу и юго-востоку от нее. Количество землетрясений из этой области (называемой Толудской эпицентральной зоной) приблизительно в $5 \div 10$ раз превосходило число землетрясений, непосредственно предваривших образование II и III конусов. Таким образом, рой землетрясений 2–17 августа был сложным, состоявшим как из землетрясений, связанных с образованием питающих каналов II и III конусов на глубинах 0–10 и 0–5 км, так и из землетрясений, вызванных многочисленными подвижками в районе вершины Плоского Толбачика и к югу от нее на глубинах 0–5 км и выше ур. моря. При этом уровень сейсмичности в Толудской эпицентральной зоне изменялся синхронно с ходом извержения: накануне образования II и III конусов сейсмическая активность усиливалась, а после их рождения ослабевала.

В течение второй половины августа происходило грандиозное обрушение вершинного кратера Плоского Толбачика, в результате которого образовался провал, имевший в сентябре диаметр 1600 м, глубину около 5000 м и объем $0,3 \text{ км}^3$. Объем пеплов, шлака и лав, изверженных II и III конусами, превышает $0,6 \text{ км}^3$ (Федотов и др., 1976б). Судя по сейсмологическим данным, рой землетрясений 2–17.VIII с его подвижками южнее Плоского Толбачика, образование провала и



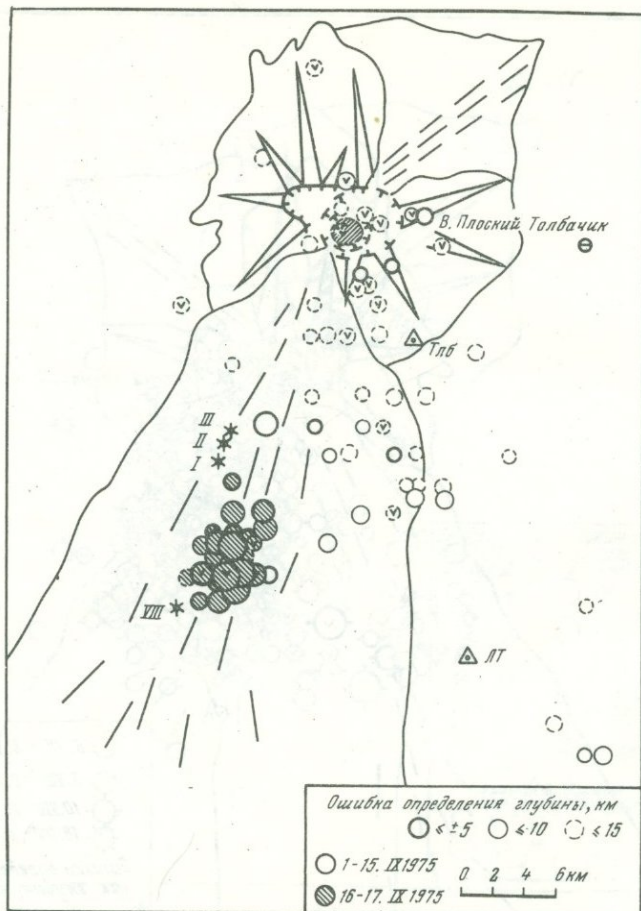
Р и с. 4. Карта эпицентров землетрясений, сопровождавших извержение с 6.VII по 31.VIII. 1975 г.

Условные обозначения 1-5, обозначения энергетического класса и глубины очага землетрясений см. на рис. 3; I, II, III - центры извержения 1975 г.

изменение в ходе извержения (прекращение 9.VIII деятельности I конуса, возникновение рядом с ним II и III конусов 9 и 17. VIII) были взаимосвязанными событиями, которым можно дать следующее объяснение.

Вулкан Плоский Толбачик обладает характерными чертами базальтовых вулканов гавайского типа: провальная вершинная кальдера с лавовым озером, отходящие от нее "рифтовые" зоны, в которых происходят многочисленные побочные извержения. Наличие вершинной кальдеры, как правило, свидетельствует о существовании под подобными вулканами неглубоких (первые километры) периферических магматических резервуаров, соединяющихся с более крупными очагами в нижних слоях коры, где базальтовая магма накапливается при поступлении из зоны генерации (Федотов, 1976).

Известно, что при извержениях гавайских вулканов часто происходит перетекание базальтов вдоль рифтов из лавовых озер и, возможно, неглубоких периферических очагов в центры извержения, которые располагаются на расстояниях до нескольких десятков километров от вершины вулкана. Строение Плоского Толбачика и пространственное распределение землетрясений II роя позволяют предположить, что начавшаяся в конце июля - первых числах августа сейсмическая активизация в районе кратера Плоского Толбачика к югу и к юго-востоку от него бы-



Р и с. 5. Карта эпицентров землетрясений, предвалявших в сентябре 1975 г. образование Южного прорыва (1–17. IX 1975 г.)

Условные обозначения 1–5, обозначения энергетического класса и глубины очага землетрясений см. на рис. 3; I, II, III, VIII – центры извержений 1975 г.

ла связана с оттоком магмы из неглубокого периферического очага под Плоским Толбачиком. Параллельно (и, по-видимому, в связи) с изменением характера и прекращением деятельности I конуса и образованием новых питающих даек II и III конусов часть магмы из периферического очага Плоского Толбачика могла продвигаться на глубинах до нескольких километров вдоль рифта в район Северного прорыва. Вопрос же о том, мог ли происходить в это время отток магмы из периферического очага вглубь вдоль питающего канала Плоского Толбачика, остается пока неясным.

Поскольку объем изверженных продуктов II и III конусов в два с лишним раза превышал объем одновременно развивавшейся провальной кальдеры, то, по-видимому, магматические очаги в нижних слоях коры или слое, переходном от коры к мантии, оставались основным источником магм Северного прорыва. Внедрение вдоль рифта характерных высокоалюминиевых субщелочных лав периферического очага Плоского Толбачика могло быть одной из причин изменения состава лав, которое произошло в последнюю стадию деятельности Северного прорыва.

22–23. VIII (в спокойную фазу B_4) в 700–150 м западнее кратеров II и III конусов возникли малые конусы IV, V, VI, VII. Последние три представляли собой лавовые котлы, расположенные на появившихся днем ранее зияющих трещинах растяжения. Отсутствие землетрясений указывает на локальное и приповерх-

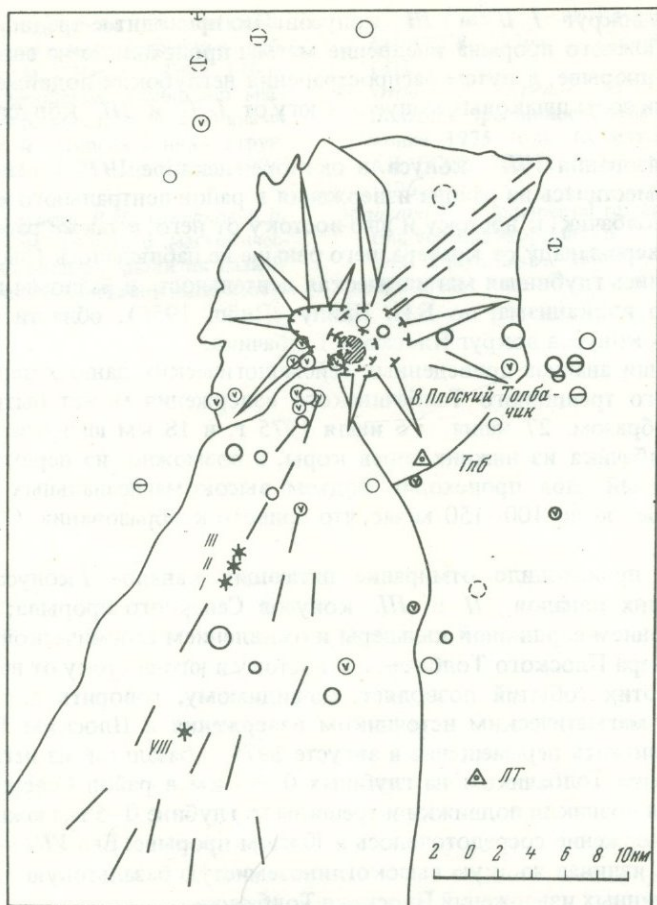


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений за период с 17. IX до 31. XII 1975 г.

Условные обозначения 1–5, обозначения энергетического класса и глубины очага землетрясений см. на рис. 3; I, II, III, IV – центры извержений 1975 г.

ностное происхождение явления. Возможно, что его причиной было внедрение неглубокого силла, ответвившегося от питающего канала II конуса.

С 1. IX 1975 г. начинается новый рой землетрясений, завершившийся образованием Южного прорыва. Землетрясения этого роя обработаны полностью начиная с $K_S \geq 8$ и частично по более слабым событиям (рис. 5). Как мы видим, эпицентральная зона III роя землетрясений также захватывает большую территорию от Плоского Толбачика до района извержения, причем по времени первая половина роя приходится на землетрясения в Толудской эпицентральной зоне. Землетрясения по-прежнему неглубокие, $0 \div 5$ км, лишь отдельные на востоке от кратера Плоского Толбачика имели глубину очага $5 \div 10$ км, $K_S^{\max} = 9$. Первые землетрясения в районе извержения, точнее в районе Северного прорыва, возникают 9–12. IX, т.е. тогда, когда из II конуса начали изливаться лавы промежуточного состава. Показательно, что максимум активности III роя землетрясений приходится на 16–17. IX, на время сразу после прекращения работы II конуса 15. IX (см. рис. 5). Очаги неглубоких землетрясений ($K_S^{\max} = 10$) распространяются в эти два дня на юго-запад от Северного прорыва, и в торцевой части возникшей эпицентральной зоны 17. VIII в 20^h (по Гринвичскому времени) происходит образование VIII конуса Южного прорыва. Такое расположение очагов предваряющих землетрясений и места прорыва отличается от распределения землетрясений в двух предыдущих роях, когда источники наиболее сильных событий

располагались вокруг *I*, *II* и *III* конусов. Это приводит к предположению о том, что в случае Южного прорыва внедрение магмы происходило не снизу вверх, как на Северном прорыве, а путем распространения неглубоких подвижек и трещин в сводовой части зоны шлаковых конусов к югу от *I*, *II* и *III* конусов на глубинах $0 \div 5$ км.

После образования *VIII* конуса, в октябре—декабре 1975 г. сейсмическая активность переместилась из района извержения в район центрального кратера вулкана Плоский Толбачик, к востоку и юго-востоку от него, а также распространилась к северу и северо-западу от кратера, чего раньше не наблюдалось (рис. 6). По-видимому, оживились глубинная магматическая деятельность и разломы по всей области ареального вулканизма, по Б.И. Пийпу (Пийп, 1956), области региональных зон шлаковых конусов вокруг Плоского Толбачика.

На основании анализа приведенных сейсмологических данных вероятный механизм Большого трещинного Толбачинского извержения может быть представлен следующим образом. 27 июня — 6 июля 1975 г. в 18 км юго-западнее вершины Плоского Толбачика из нижних слоев коры, а возможно, из переходного между корой и мантией слоя происходил подъем высокомагнезиальных базальтов со средней скоростью до 100—150 м/час, что привело к образованию *I* нового конуса 1975 г.

В августе происходило отмирание питающих каналов *I* конуса и образование питающих каналов *II* и *III* конусов Северного прорыва, сопровождавшееся обрушением вершинной кальдеры и оживлением сейсмической деятельности в районе кратера Плоского Толбачика, к востоку и юго-востоку от него. Очевидная зависимость этих событий позволяет, по-видимому, говорить о существовании связи между магматическим источником извержения и Плоским Толбачиком, а также предположить перемещение в августе 1975 г. базальтов из неглубокого очага под Плоским Толбачиком на глубинах $0 \div 5$ км в район Северного прорыва. 1—17 сентября возникли подвижки и трещины на глубине $0-5$ км южнее *I*, *II*, *III* конусов и извержение сосредоточилось в Южном прорыве. Его *VIII* конус до декабря 1976 г. изливал жидкую высокоглиноземистую базальтовую лаву, характерную для вершинных извержений Плоского Толбачика.

Несмотря на большое число разнообразных сейсмологических данных, ряд существенных сторон механизма извержения остается неясным. Например, вопрос о том, куда произошел основной отток $0,3 \text{ км}^3$ базальтов из новой вершинной кальдеры Плоского Толбачика — на небольшой глубине в район извержения вдоль рифта, в толщу вулканической постройки на юго-восток и восток или вглубь, в питающий промежуточный очаг, существование которого можно ожидать в нижних слоях коры или переходном слое (на глубине $20 \div 30$ или $20-40$ км). Не исключено, что базальты растекались во всех эти направлениях.

Большое трещинное Толбачинское извержение закончилось 10. XII 1976 г. Тщательное изучение полных данных о землетрясениях 1975—1976 гг. и их сопоставление с изменениями хода извержения могут уточнить прежние представления и дать новые сведения о магматических очагах Большого трещинного Толбачинского извержения.

ЛИТЕРАТУРА

- Аносов Г.А., Балеста С.Т., Иванов Б.В., Утнасин В.К. Основные черты тектонического строения Ключевской группы вулканов (Камчатка) в связи с ее глубинной структурой. — Докл. АН СССР, 1974, т. 219, № 5, с. 1192—1195.
- Горельчик В.И. Сейсмические проявления вулканической деятельности. Автореферат канд. дис., М., 1973, 23 с.
- Горельчик В.И., Степанов В.В. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки в 1971—1972 гг. — В сб.: Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток, 1976, с. 108—118.
- Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом. — Труды Лабор. вулканол., 1956, т. II, 308 с.
- Токарев П.И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М., "Наука", 1966. 118 с.

- Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М., "Наука", 1972. 116 с.
- Федотов С.А. О механизме глубинной магматической деятельности под вулканами островных дуг и сходных с ними структур. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 5, с. 25–37.
- Федотов С.А., Горельчик В.И., Степанов В.В. Сейсмологические данные о магматических очагах, механизме и развитии базальтового трещинного Толбачинского извержения в 1975 г. на Камчатке. — Докл. АН СССР, 1976а, т. 228, № 6, с. 1407–1410.
- Федотов С.А., Хренов А.П., Чирков А.М. Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 года (Камчатка). — Докл. АН СССР, 1976б, т. 228, № 5, с. 1193–1196.
- Minakami T. Fundamental research for predicting volcanic eruptions (p. I). — Bull. Earthq. Res. Tokyo Univ., 1960, v. 38, part 4, p. 497–544.