

УДК 551.21(551.645)

Е. К. МАРХИНИН, Ю. А. АНИКИЕВ, В. М. ГРАННИК,
В. К. ГРАБКОВ, А. И. АБДУРАХМАНОВ, Б. И. ВАСИЛЬЕВ,
П. С. ДОЛГАНОВА, Н. Н. ЛЕОНОВ, Г. С. ШУТОВА,
А. Н. ЗЕМЦОВ, А. А. ТРОНЬ, Ю. П. ТРУХИН,
Р. А. ШУВАЛОВ

ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА ТЯТЯ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ В ИЮЛЕ 1973 ГОДА

14 июля 1973 г. началось извержение вулкана Тятя, расположенного в северной части о. Кунашир. В статье изложены предварительные результаты исследования извержения, а также приведены некоторые количественные оценки объема и массы извергнутого материала, количества газов, совершивших работу вулканических взрывов, тепловой энергии извержения и общей кинетической энергии взрывов. В итоге установлены следующие особенности извержения: его чисто взрывной характер, многоочаговость, преобладание пепла среди ювенильного материала.

Настоящая статья отражает самые общие результаты изучения извержения вулкана Тятя в северной части о. Кунашир в июле 1973 года. При изучении извержения большое внимание было уделено пирокластическим отложениям, балансовому соотношению продуктов извержения, их геохимии, вулканическим газам и возгонам и некоторым другим вопросам. Этот материал после лабораторного изучения найдет отражение в специальных статьях. Авторы же ставили своей целью дать только первое предварительное сообщение об извержении.

Наблюдения за ходом извержения

После периода покоя, длившегося более 160 лет, 14 июля 1973 г. началось крупное извержение вулкана Тятя. Возможно, что толчком для него явились два сильных землетрясения 17 и 24 июня. Начало извержения было одновременно замечено в трех местах, расположенных у подножья вулкана: у устья р. Птичьей, в поселках Урвитово и Круглово. Согласно сообщениям очевидцев, приблизительно в 12 час 10 мин сразу после землетрясения, сопровождавшегося подземным гулом, с середины северного склона вулкана поднялся столб плотного пепла. Пепловая туча быстро набрала высоту. Это отметило большинство наблюдателей у устья Птичьей и в Урвитово (рис. 1). Другие наблюдатели обратили внимание на то, что пепловый столб поднимался и над восточным склоном. Вскоре пепловая туча накрыла названные поселки. В густом пеплопаде не было видно даже вытянутой руки. Пепел был электризован. Очевидцы отмечают, что некоторые пепловые частицы опускались на предметы светящимися искорками, похожими на светлячки. Почти непрерывно пепловые тучи прорезались молниями.

Наблюдение за вулканическими взрывами из-за сплошной пепловой завесы, распространявшейся на многие километры, было практически невозможно. Радиосвязь с Урвитово оказалась прерванной. Немедленно принятые меры эвакуации населения с подножья вулкана

с помощью морских судов были сильно затруднены плохой видимостью.

В ночь с 14 на 15 июля к месту извержения из Южно-Курильска направилось научно-исследовательское судно «Геофизик» с целью провести наблюдения с борта судна и высадить группу вулканологов в районе эвакуированных населенных пунктов Круглово и Урвитово вблизи от места извержения. Научно-исследовательский коллектив возглавила член-корреспондент АН СССР Е. А. Радкевич, а группу вулканологов — доктор геолого-минералогических наук Е. К. Мархинин. Сразу же по выходе из Южно-Курильской бухты наблюдатели на судне увидели черную пепловую тучу, двигавшуюся от вулкана Тятя в восточном направлении. Туча эта непрерывно пронизывалась молниями, большинство которых распространялось вдоль тучи горизонтально. Вертикальные молнии преобладали только в клубах пепла, поднимавшегося над жерлом. С 5 час 03 мин до 5 час 20 мин «Геофизик» находился в зоне интенсивного пеплопада при скорости 12—14 узлов. За это время судно оказалось покрытым густым слоем пепла. В 5 час 20 мин судно вышло в область просвета в бухте Спокойствия, приблизительно напротив Круглово. Однако вулкан и берег не просматривались, и вокруг замкнутой области просвета находились области пеплопада. Через некоторое время судно опять было застигнуто сильным пеплопадом и вышло из него только в десятом часу, обходя п-ов Ловцова.

Когда «Геофизик» вошел в пролив Екатерины, он поднял с воды стаю морских птиц — буревестников, бакланов, топорков, чаек, уток, — которые, очевидно, были согнаны с прибрежных скал пепловыми тучами. Беспорядочная многотысячная стая птиц направилась в сторону

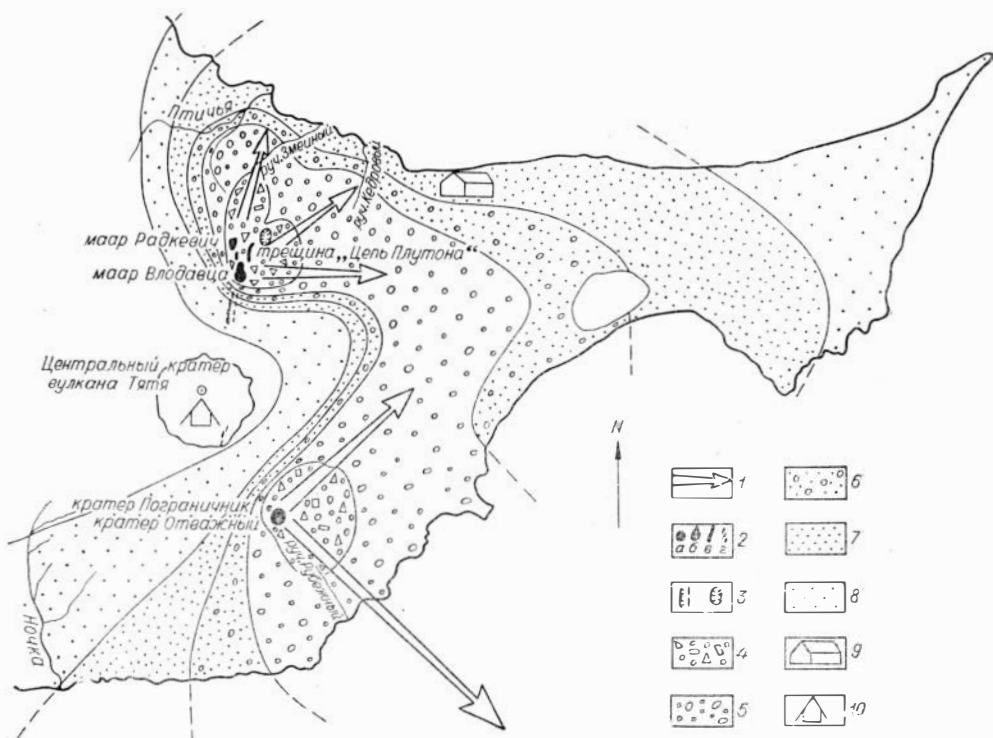


Рис. 1. Схема расположения кратеров, мааров, трещин и зон распространения изверженного материала.

1 — направления взрывов и преимущественного распространения выбрасываемого материала; 2 — кратеры (а), маары (б), трещины с воронками взрыва (в) и другие трещины разрыва (г); 3 — воронки взрыва предыдущих извержений; 4 — зоны поражения леса каменным, шлаковым и горячим пепловым материалом; 5 — зона пепла, лапиллей и шлаковых бомбочек с толщиной слоя более 30 см; 6 — зона пепла и крупнозернистого материала с толщиной слоя 15—30 см; 7 — зона пепла и мелкозернистого материала с толщиной слоя 3—15 см; 8 — зона пепла с толщиной слоя менее 3 см; 9 — пос. Урвитово — главная база экспедиции; 10 — лагерь экспедиции в кальдере вулкана Тятя.

мыса Докучаева. Хотя берег в районе п-ова Ловцова с корабля был виден, сам вулкан Тятя и его окрестности скрывала густая пепловая пелена. Пос. Урвитово пепловая туча то накрывала, то отходила от него в сторону на склоны вулкана. Порывы ветра поднимали в разных местах побережья столбы пепла, создавая впечатление дыма от лесных пожаров или выходов вулканических газов. Лишь с 18.00 можно было различить отдельные постройки поселка, а главное — мощные клубы темно-серого пепла, выбивавшиеся из жерла, расположенного на восточном склоне вулкана и казавшиеся совсем рядом. Их высота была не менее 8 км. В 18 час. вблизи Урвитово с судна высадились группа вулканологов в составе 9 человек. Толщина слоя пепла здесь достигала 5 см.

16—17 июля из Урвитово Е. К. Мархининым, В. М. Гранником и Ю. А. Аникиевым был совершен маршрут к действующему жерлу. Сначала маршрут проходил через смешанный лес. Травяная растительность была полностью засыпана пеплом. Под тяжестью пепла ветви пихт опустились и прижались к стволам. Многие лиственные и хвойные деревья или их ветви оказались сломанными. Бамбук в подлеске лег под пеплом. Из-под пепла пробивались лишь отдельные дужки его стеблей. Время от времени попадались трупы птиц. На участников маршрута беспрерывно падал пепел.

В средней части руч. Кедрового мощность пепловых осадков на почве достигала 30—35 см. Ручьи оказались погребенными под пеплом. По мере движения вперед пепел становился все более грубозернистым. Начали попадаться куски шлака размером до 10 см. В верхней части северного склона вулкана пепла было мало, а на высоте около 1000 м он практически отсутствовал. Участники восхождения подошли к жерлу сверху с подветренной стороны (с северо-запада). Ночь они провели неподалеку от действующего кратера, в непосредственной близости от пепловой тучи, часто пронизывавшейся молниями. Грохот взрывов слышался почти непрерывно. Сильные же взрывы происходили раз в минуту и приводили к резкому увеличению пеплового столба.

Одновременно с первой группой к восточному кратеру с юго-востока подошла группа в составе Б. И. Васильева, Н. Н. Леонова, В. К. Грабкова, Г. И. Христофорова и А. И. Ромашова, высадившаяся у юго-восточного подножья вулкана с экспедиционного судна «Отважный». Эта сторона была более опасной из-за того, что большая часть раскаленного материала выбрасывалась в юго-восточном направлении и в том же направлении дул ветер. Этой группой было отмечено падение бомб на расстоянии до 2 км от кратера и было предложено назвать новый кратер «Отважным» (рис. 2).

16 июля извержение вулкана с самолета наблюдал А. И. Абдурахманов. По его данным, взрывы на середине восточного склона вулкана происходили в двух близко расположенных кратерах, что фиксировалось столбами пепла, которые выше смешивались в одну газопопелловую тучу.

16 июля, вечером, в район пос. Тятино, расположенного у ЮВ подножья вулкана, выехали на вездеходе ГАЗ-47 Ю. П. Трухин, А. И. Абдурахманов, В. И. Бейдеров, Е. Т. Дудинская, Р. А. Шувалов и др. Следов пеплопада ими обнаружено не было. 17 июля этой группой был отмечен небольшой пеплопад в районе руч. Ночки, а 18 июля близ устья руч. Рубежного зафиксировано выпадение легких пористых лапиллей. С 19 по 22 июля при восхождении на сомму вулкана Тятя со стороны Ночки они отметили слой пепла толщиной в несколько мм в нижней части склона вулкана. В то же время выше по склону пепла не было.

Рано утром 18 июля группа вулканологов, находящихся в Урвитово, зафиксировала котловины взрывов, расположенные на северном

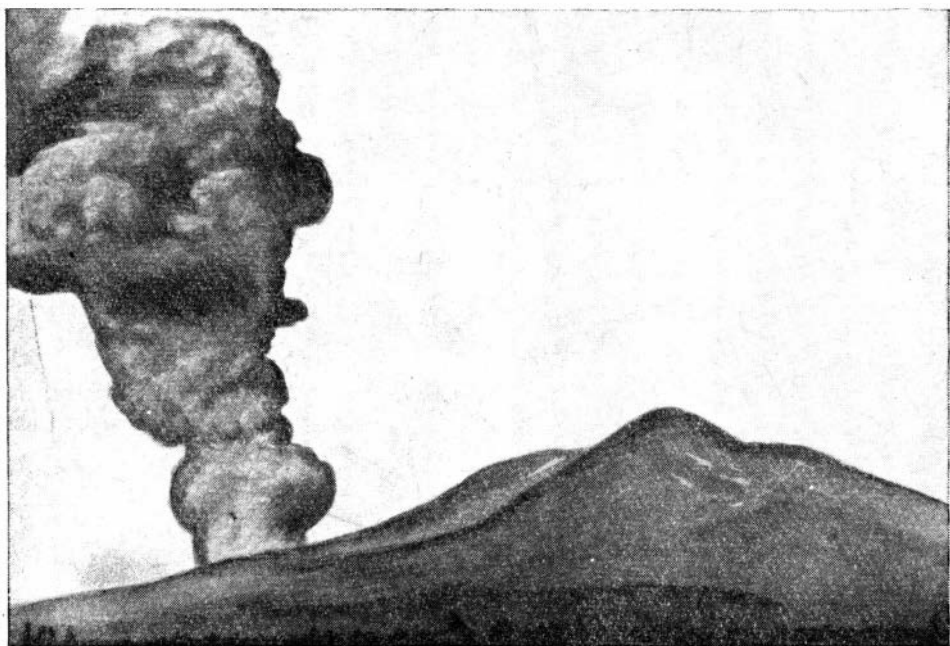


Рис. 2. Вулкан Тятя (общий вид). Столб пепла поднимается из кратера «Отважный».

склоне вулкана, в бассейне р. Птичьей и руч. Змеиног. Издали они были заметны по мощным клубам белого пара.

Наблюдения за деятельностью активного конуса производились с соммы вулкана в период 22—27 июля Ю. П. Трухиным, Р. А. Шуваловым, А. И. Абдурахмановым, В. И. Бейдеровым, Е. Т. Дудинской; 24 и 25 июля из Круглово — В. М. Гранником; в ночь с 24 на 25 июля с парохода из бухты Спокойствия — Е. К. Мархининым, Ю. А. Аникиевым и др. Было установлено действие одновременно или попеременно двух жерл, объединяемых одним шлаковым конусом диаметром порядка 300 м и высотой в несколько десятков метров. Направления выбросов не всегда были вертикальными; более того, разные жерла выбрасывали раскаленный материал под разными углами к горизонту. Высота полета вулканических бомб достигала 1 км. Взрывы происходили практически ежесекундно, но было отмечено постепенное уменьшение интенсивности извержения, выразившееся в уменьшении частоты взрывов, высоты полета вулканических бомб и количества выбрасываемого пепла. Резкий спад в деятельности конуса наступил 26—27 июля. В ночь с 26 на 27 июля были ясно видны зоны падения раскаленных камней. Основной разброс камней и вулканических бомб происходил по направлениям большого диаметра кратера (на СВ и ЮЗ).

Зона эффективного разброса камней составляла 1—1,5 диаметра кратера «Отважный», хотя отдельные куски выбрасывались и на большие (до 2,5 диаметров) расстояния. Видимо, такой асимметрией выбросов можно объяснить седловидную форму кратера, наблюдавшуюся 28 июля, когда северо-восточная его часть была значительно выше юго-западной. Судя по размерам кратера, скорость выброса раскаленного пылевого облака составляла ~ 100 м/с, что хорошо согласуется со скоростью выбрасываемых камней (60—70 м/с).

По наблюдениям одиночных взрывов 27 июля, ночным наблюдениям и данным непосредственного осмотра 28 июля установлено два активных центра на дне кратера (рис. 3).

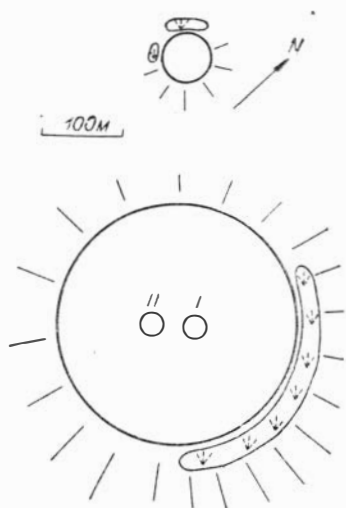


Рис. 3. Схема кратеров «Отважный» и «Пограничник» (вверху). Пунктиром обозначены фумаролы. I и II—активные центры на дне кратера «Отважный»

центрах. Колебания породы в активном центре I (см. рис. 3) наблюдались непосредственно 28 июля и сопровождались аналогичным звуком. В нем же была видна раскаленная лава, жидкая масса колебалась и бурлила от прохождения газов, временами происходили всплески жидкой массы на высоту 1—2 м.

Активный центр II характеризовался кольцеобразными структурами шлака диаметром в несколько метров и выделениями паров.

Во время ночных наблюдений за цветом пылевого облака был сделан вывод, что его температура непосредственно вблизи жерла составляла 400—500° С.

Во время спуска к кратеру «Отважный» в интервале 12—18^h 27 июля сильные взрывы происходили через 15—20^м, 28 июля в интервале 9—12^h — через 40^м—1^h, с 12 до 18^h — приблизительно через 1,5—2,5^h.

27 июля не наблюдалось определенной связи между взрывами, сопровождавшимися взрывной волной, и выбросами пепла. Примерно в половине случаев эти явления происходили отдельно. На расстоянии 300—400 м вверх по склону от точки наблюдения избыточное давление во взрывной волне составляло приблизительно 50—100 г/см². По всему склону очень хорошо ощущались довольно сильные (4—5 баллов) толчки.

До взрывов кратер был относительно спокоен, после взрывов было слышно несколько затухающих во времени звуковых всплесков с нарастающими интервалами между ними. Звук, по-видимому, вызывался трением пластов шлака друг о друга и прохождением пара между частицами шлака при общих колебаниях породы в активных

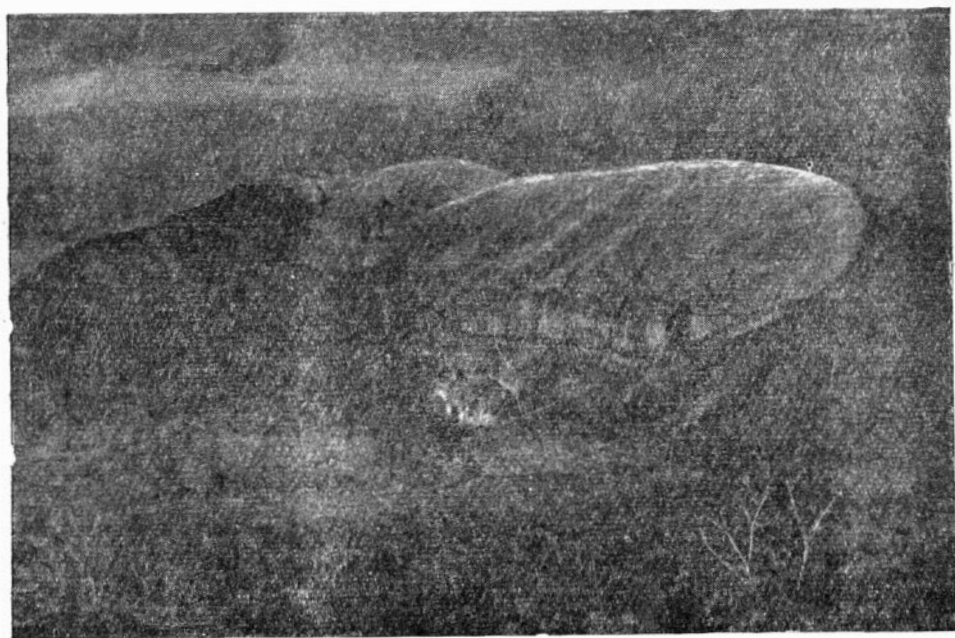


Рис. 4. Маар Влодавпа.

28 июля деятельность конуса прекратилась. На следующий день раскаленная лава еще была видна в трещинах, а фумарольная деятельность сосредоточилась в основном вдоль кромки конуса. Конус был сложен горячим шлаком, и температура его, особенно около малого жерла, на глубине нескольких см от поверхности превышала 350°C . Диаметр конуса составлял 300—350 м, высота колебалась в пределах 100—200 м. Приблизительно в 300 м от него и метров на 100 выше был обнаружен малый конус, названный «Пограничник» (см. рис. 3). Он закончил свою деятельность раньше конуса «Отважный», но 29 июля в трещинах еще светилась раскаленная лава. Диаметр его кратера был 50—70 м. Вероятно, этот конус оказался частично засыпанным выбросами конуса «Отважный».

Котловины взрывов (маары), расположенные на северном склоне вулкана Тятя, с 19 июля по 4 августа обследовались Е. К. Мархининым, В. М. Гранником, Ю. А. Аникиевым и Н. Н. Леоновым, а также В. К. Грабковым, Ю. П. Трухиным, А. И. Абдурахмановым и Р. А. Шуваловым. Верхний, больших размеров маар, названный мааром Влодавца, представляет собой обширную сужающуюся к северу котловину взрыва (рис. 4 и 5). В нескольких стах метров от него расположена другая котловина взрыва, названная мааром Радкевич (рис. 6 и 7).

Особенный интерес представляют собой расположенные в соседстве с маарами огромные трещины разрыва, крупнейшая из которых названа «Цепью Плутона» (рис. 8). Длина ее приблизительно 300 м, ширина — несколько метров. Во многих местах она осложнена небольшими воронками взрыва. На всем протяжении из трещины выделялись горячие вулканические газы.

В юго-восточной части соммы вулкана Тятя также образовалась система разрывных трещин шириной до 1,5 м и длиной в сотни метров,

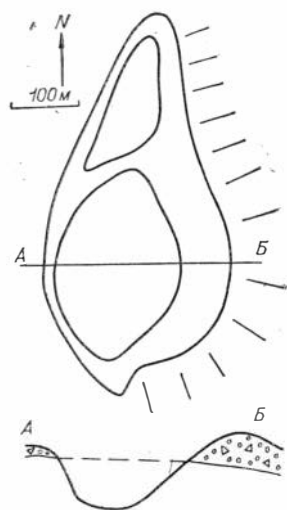


Рис. 5. Схема маара Влодавца.



Рис. 6. Маар Радкевич.

которая по простиранию совпадает с «Цепью Плутона». Направления взрывов, образовавших маары, хорошо фиксируются простиранием полос крупных камней (до 20 тонн весом), нацело уничтоживших вековой лес (см. рис. 1), и ободранной только с одной стороны корой деревьев с вознесенными обломками камней. Камни были выброшены с массой горячего пеплового материала, о чем свидетельствуют обожженные пеплом деревья и мощный слой горячего, насыщенного газом пепла в окрестностях котловин взрыва. Размеры и взаимное расположение мааров, трещины и шлаковых конусов, направления взрывов, площади зон сплошного поражения удалось уточнить благодаря облету вулкана на вертолете 8 августа,

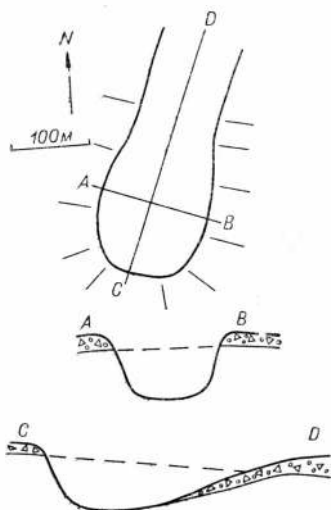


Рис. 7. Схема маара Радкевич.

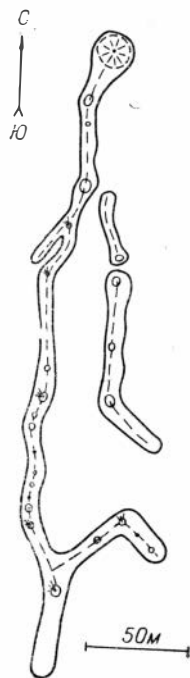


Рис. 8. Схема трещины «Цепь Плутона».

в котором участвовали Е. К. Мархинин, Ю. А. Аникнев, Р. А. Шувалов и А. Ф. Шкунков.

Изучение хода и результатов извержения позволило установить такую последовательность событий. Первый самый сильный взрыв образовал маар Влодавца. Вслед за этим сильные взрывы привели к возникновению продолговатой котловины и маара Радкевич. Внутреннее напряжение в этом секторе вулкана вызвало образование «Цепи Плутона» и других трещин разрыва; одновременно прорыв произошел в районе кратеров «Отважный» и «Пограничник», и в дальнейшем извержение локализовалось здесь.

Некоторые количественные оценки

Оценки объема и массы изверженного каменного материала были произведены разными способами и разными лицами. Тем не менее они дали очень сходные результаты.

Е. К. Мархинин и Ю. А. Аникнев были очерчена площадь распространения основной массы пепла (рис. 9), ограниченная условной линией, за которой толщина слоя пепла не должна была превышать 0,005 м. Площадь распространения пепла была разбита на несколько участков, для которых определена наиболее вероятная средняя его мощность.

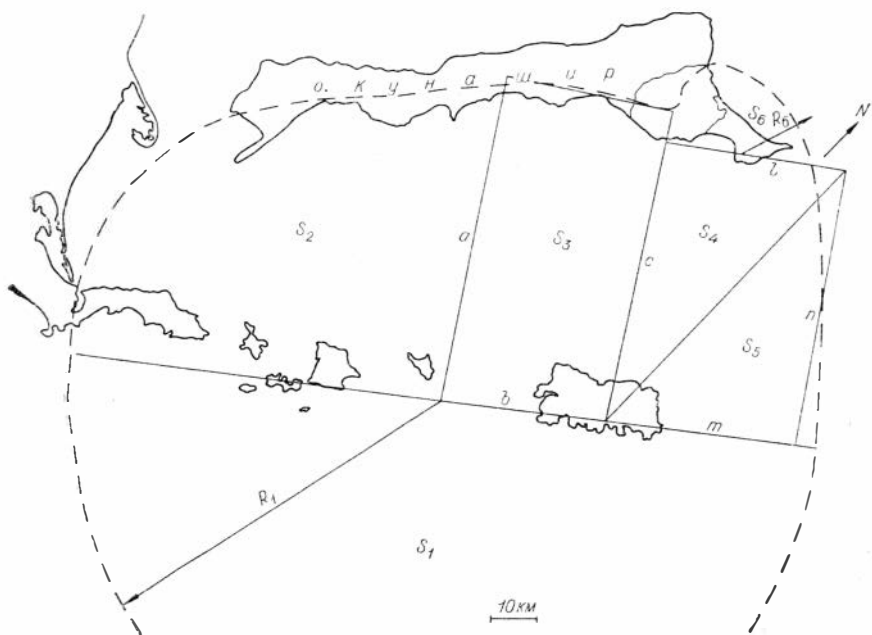


Рис. 9. Схема зон распространения пепла.

Участок 1. Его площадь условно принята эквивалентной площади полукруга с радиусом $R_1 = 8 \cdot 10^4$ м. Средняя мощность слоя пепла $d_1 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_1 = \frac{\pi R_1^2}{2} = \frac{3,14 \cdot 8^2 \cdot 10^8}{2} = 1,01 \cdot 10^{10} \text{ м}^2;$$

$$V_1 = S_1 \cdot d_1 = 1,01 \cdot 10^{10} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 2,52 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Участок 2. Его площадь условно принята эквивалентной площади четверти круга с радиусом $R_2 = 8 \cdot 10^4$ м. Средняя мощность пепла на этом участке $d_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_2 = \frac{\pi R_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 8^2 \cdot 10^8}{4} = 5 \cdot 10^9 \text{ м}^2;$$

$$V_2 = S_2 \cdot d_2 = 5 \cdot 10^9 \text{ м}^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 1,5 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Участок 3. Его площадь условно принята эквивалентной площади прямоугольника со сторонами $7,5 \cdot 10^4$ м и $3,58 \cdot 10^4$ м. Средняя мощность слоя пепла $d_3 = 5 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_3 = a \cdot b = 7,5 \cdot 10^4 \cdot 3,58 \cdot 10^4 = 2,68 \cdot 10^9 \text{ м}^2;$$

$$V_3 = S_3 \cdot d_3 = 2,68 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1,35 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Участок 4. Его площадь условно принята эквивалентной площади прямоугольного треугольника с катетами:

$$c = 4 \cdot 10^4 \text{ м}; l = 6,75 \cdot 10^4 \text{ м}.$$

Мощность слоя пепла d_4 принята равной $7 \cdot 10^{-2}$ м.

$$S_4 = \frac{c \cdot l}{2} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 6,75 \cdot 10^4}{2} = 1,35 \cdot 10^9 \text{ м}^2;$$

$$V_4 = S_4 \cdot d_4 = 1,35 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^{-2} = 9,5 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Участок 5. Его площадь эквивалентна площади прямоугольного треугольника с катетами: $m=4 \cdot 10^4$ м; $n=6,75 \cdot 10^4$ м. Мощность слоя пепла $d_5=3 \cdot 10^{-3}$ м.

$$S_5 = \frac{m \cdot n}{2} = \frac{4 \cdot 10^4 \cdot 6,75 \cdot 10^4}{2} = 1,35 \cdot 10^9 \text{ м}^2;$$

$$V_5 = S_5 \cdot d_5 = 1,35 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Участок 6. Его площадь эквивалентна площади полукруга радиуса $R_6=1,57 \cdot 10^4$ м. Мощность слоя пепла $d_6=1,2 \cdot 10^{-1}$ м.

$$S_6 = \frac{\pi R_6^2}{2} = \frac{3,14 \cdot (1,57)^2 \cdot 10^8}{2} = 3,86 \cdot 10^8 \text{ м}^2;$$

$$V_6 = S_6 \cdot d_6 = 3,86 \cdot 10^8 \cdot 1,2 \cdot 10^{-1} = 4,63 \cdot 10^7 \text{ м}^3.$$

Суммарный объем пепла, выпавшего на поверхность суши и океана составляет: $V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 = 2,52 \cdot 10^7 + 1,5 \cdot 10^7 + 1,35 \cdot 10^7 + 9,5 \cdot 10^7 + 0,4 \cdot 10^7 + 4,63 \cdot 10^7 = 2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$.

По предварительным данным П. С. Долгановой и Г. С. Шутовой, пепел, выпавший на суше, на склонах и у подножья вулкана, имеет в среднем следующий гранулометрический состав (вес. %):

>10 мм	10—7 мм	7—5 мм	5—3 мм	3—2 мм	2—1 мм	1—0,5 мм	0,5—0,25 мм	<0,25 мм
0,90	0,96	0,88	1,62	2,56	13,76	7,04	14,22	58,26

Ю. А. Аникиев произвел расчет объема материала, выпавшего из пепловой тучи кратеров юго-восточного склона за весь период извержения. Исходные данные: 15 июля 1973 г. в течение 17 мин судно «Геофизик» находилось в зоне пеплопада из пепловой тучи вулкана Тятя (рис. 10). За это время на 1 м^2 открытых поверхностей судна выпало

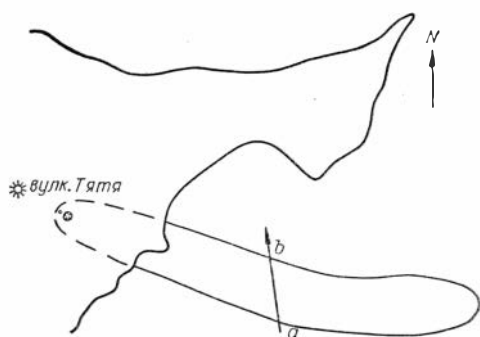


Рис. 10. Проекция пепловой тучи на экране локатора судна «Геофизик».

a — точка входа судна в тучу; b — точка выхода судна из тучи.

2790 г. пепла. Средняя его плотность составляла $1,3 \text{ г/см}^3$. Пепловая туча была хорошо видна на экране навигационного прибора судна «Геофизик». Площадь проекции тучи на поверхность суши и океана составила 66 км^2 (см. рис. 10). Судно «Геофизик» проходило в средней части тучи. Интенсивность извержения за весь период оставалась на одном уровне. Исходя из этого, считаем замеренную интенсивность пеплопада средней для всего периода извержения, которое началось 14 июля в 12 ч и закончилось 27 июля в 19 ч. Вулкан функционировал 319 ч.

Расчет: объем материала, выпавшего на 1 м^2 поверхности судна за 17 мин

$$V_1 = \frac{2790}{1,3} = 2140 \text{ см}^3;$$

объем материала, выпавшего за час на 1 м^2 поверхности

$$V_2 = \frac{2140 \cdot 60}{17} = 7,63 \cdot 10^3 \text{ см}^3;$$

объем материала, выпавшего на всю поверхность под тучей в течение часа

$$V_3 = 7,63 \cdot 10^3 \cdot 6,6 \cdot 10^7 = 5 \cdot 10^3 \text{ м}^3;$$

объем всего материала за весь период извержения

$$V = 5 \cdot 10^5 \cdot 3,19 \cdot 10^2 = 15,95 \cdot 10^7 = 1,6 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

А. Н. Земцов и А. А. Тронь для оценки объема материала, выброшенного юго-восточным кратером, использовали замеры общей толщины слоя изверженного материала (включая шлаки и пепел), произведенные в четырех точках:

Точки	Расстояние от кратера (км)	Толщина слоя (м)
Верховье руч. Крутого	3,0	1,300
Мыс Крупнойрово	4,9	1,000
СВ. берег оз. Круглого	14,6	0,140
О. Шикотан	60,0	0,005

Так как известно, что довольно компактная пепловая туча во время извержения разворачивалась ветром в различных направлениях, угол сектора выпадения изверженного материала был принят равным 90° .

По мере удаления от кратеров количество материала, выпавшего на единицу площади, уменьшалось. Если допустить, что количество частиц на единицу длины компактной тучи оставалось постоянным, то количество материала, выпавшего на единицу площади, пропорционально $\frac{1}{R^2}$, так как по мере увеличения расстояния R то же самое количество материала выпадало на большую площадь.

Представляя толщину слоя изверженного материала (включая шлаки и пепел) в виде $d = \frac{a}{R} \cdot 2$, где R — расстояние от кратера, a — интенсивность разброса вещества (независимо от того, происходит ли это мгновенно или в течение длительного времени), получим ориентировочное значение $a = 22 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. Разброс величины a для различных точек не превосходит 2,5 раз, причем в случае зависимостей $\frac{a}{R}$, $\frac{a}{R^2}$, $\frac{a}{R^4}$ он на несколько порядков больше, что является сильным аргументом в пользу того, что на рассматриваемых расстояниях ($\sim 100 \text{ км}$, см. ниже) количество частиц на единицу длины тучи на разных R не подвержено значительным изменениям. На больших расстояниях, очевидно, устойчивая структура тучи разрушается, и она разносится атмосферными течениями. В силу этого исследовавшийся сектор был ограничен радиусом 100 км , что примерно в 1,5 раза больше расстояния до о. Шикотан, где наблюдался сильный и устойчивый пеплопад.

Так как модель имеет оценочный характер, количество частиц, выпадавших на единицу площади при постоянном значении R , считалось не зависящим от угла направления тучи в пределах взятого сектора.

Весь сектор был разбит на 2 района при расстояниях $0-3$ и $3-100 \text{ км}$. Для второго района общий объем изверженного материала определяется по формуле:

$$V = \frac{\pi}{2} \int_{3 \cdot 10^2}^{10^3} \frac{a}{R^2} \cdot R dR,$$

что при $a = 22 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ дает $V = 130 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Первый район, в котором происходило насыщение материала из кратера и образование самого кратера, был приближен следующим контуром, одинаковым для всех углов внутри сектора (рис. 11). Объем подобного тела вращения составляет $V = 54 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Отсюда общий объем материала, изверженного внутри сектора, составляет

$$V = 130 \cdot 10^6 + 54 \cdot 10^6 = 1,84 \cdot 10^8 \text{ м}^3.$$

При расчетах не был учтен объем материала, изверженного вне сектора. Однако выбросы на юго-запад были гораздо слабее, о чем говорит значительно меньшая высота юго-западной кромки основного кратера, а подавляющее большинство мелких фракций склона и пепла ветром были отнесены внутрь сектора. Поэтому вполне можно считать,

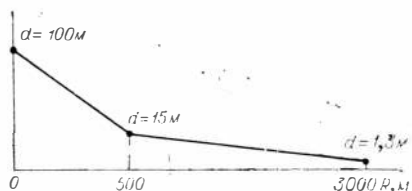


Рис. 11. Сечение сектора теоретической модели распространения изверженного материала.

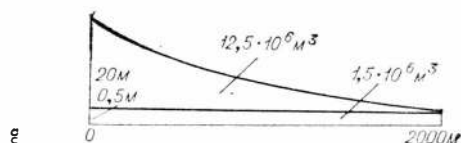


Рис. 12. Сечение тела вращения, принятое для подсчета изверженного материала из маара «Влодавца».

что вне сектора выпало не более 10% материала. Тогда общий объем выброшенного материала $V_0 = 2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$.

Расчет объема материала, выброшенного из маара Влодавца, показал следующее. Наблюдавшаяся толщина насыпного слоя, хорошо аппроксимируется зависимостью вида $d = \frac{a}{R^2}$ (все величины в м), причем для a получено значение $4,7 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Интегрирование производилось на расстояниях от 2 до 20 км по сектору с углом раскрытия 45° , что соответствует геометрической картине разброса. Объем изверженного материала вне 2-километровой зоны (в которой выброс заметно изменил рельеф местности) равен:

$$V = \frac{3,14}{4} \cdot 4 \cdot 7 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{20 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3} = 8,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Внутри этой зоны был принят упрощенный профиль (рис. 12) и угол раскрытия увеличен до 90° , так как здесь происходил баллистический выброс больших кусков породы в большем угле. Объем подобного тела вращения равен $14 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Общий объем изверженной при взрыве породы составляет около $22 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

Учитывая, что объем собственно маара составляет $(7—10) \cdot 10^6 \text{ м}^3$ (часть материала после взрыва вернулась в воронку), получаем долю ювенильных материалов около $(12—15) \cdot 10^6 \text{ м}^3$, т. е. около 55—70%.

Объем маара Радкевич без насыпного конуса составляет $4 \cdot 10^5 \text{ м}^3$. Объем выброшенного ювенильного материала по аналогии с мааром Влодавца должен составлять $(5—6) \cdot 10^5 \text{ м}^3$. В целом, объем выброшенного материала равен $\sim 1 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Объем всего каменного материала, выброшенного маарами, составляет $0,23 \cdot 10^8 \text{ м}^3$, ювенильного — не менее $0,1 \cdot 10^8 \text{ м}^3$. Наиболее вероятная цифра общего количества изверженного каменного материала $2,2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$, или $3,3 \cdot 10^8$ тонн. Подавляющая часть его ювенильная.

Остановимся теперь на оценке количества газов, совершивших работу вулканических взрывов и высвободившихся из магмы в процессе извержения.

Существует зависимость между скоростью выброса вулканических продуктов U и количеством газа, производящего работу взрыва, X (в процентах от массы ювенильных продуктов взрыва), выражающаяся формулой Е. К. Мархинина:

$$U = \sqrt{8 \cdot 10^7 X (2X^{0,3} - 1)},$$

так как U по наблюдениям колебалась в пределах 90—150 м/с, мы можем X в среднем принять равным 1,5%. Тогда общее количество

высвободившегося из магмы при извержении газа составит $3,3 \cdot 10^8 \cdot 15 \times 10^{-3} = 5 \cdot 10^6$ т. Объем его при атмосферном давлении равен приблизительно 5 км^3 .

Оценка тепловой энергии извержения может быть приблизительно сделана по формуле $Q = c \cdot \Delta t \cdot m$, где c — удельная теплоемкость, Δt — разность температур материала до и после извержения, m — масса изверженного материала.

$$Q = 0,2 \text{ кал/град} \cdot 10 \text{ град} \cdot 3,3 \cdot 10^{14} \text{ г} = 6,6 \cdot 10^{16} \text{ кал} = 28 \cdot 10^{23} \text{ эрг.}$$

Общая кинетическая энергия взрывов может быть приблизительно оценена по формуле $E = \frac{m \cdot u^2}{2}$. При $u = 10^4 \text{ см/с}$

$$E = \frac{3,3 \cdot 10^{14} \cdot 10^8}{2} = 1,65 \cdot 10^{22} \text{ эрг.}$$

Как показывает расчет, энергия взрывов, образовавших маары, на порядок меньше. Объем выброшенного материала примем равным $7 \cdot 10^{12} \text{ см}^3$. При значении плотности пород $\rho = 2 \text{ г/см}^3$ масса выброса

$$M = \rho V = 14 \cdot 10^{12} \text{ г.}$$

Обломки породы были в среднем выброшены на расстояние 2 км ($l = 2 \cdot 10^5 \text{ см}$). Считая, что выброс произошел под оптимальным углом

$$\alpha = 45^\circ, \text{ воспользуемся формулой } l = \frac{u_0^2 \sin 2\alpha}{g},$$

где g — ускорение свободного падения. Тогда в нашем случае

$$u_0^2 = 2 \cdot 10^5 \cdot 10^3;$$

$$E_{\text{кин}} = \frac{M \cdot u_0^2}{2} = \frac{14 \cdot 10^{12} \cdot 2 \cdot 10^8}{2} = 14 \cdot 10^{20} \text{ эрг} = 1,4 \cdot 10^{21} \text{ эрг.}$$

Заключение

Характерными чертами извержения являются его чисто взрывной характер; многоочаговость и образование кратеров на разных склонах вулкана; преобладание пепла среди ювенильного материала.

Основные результаты извержения сводятся к изменению рельефа, выразившемуся в образовании мааров на северном склоне объемом не менее $7 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, образованию шлаковых конусов на восточном склоне объемом $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ и выносу $\sim 2 \cdot 10^8 \text{ м}^3$ пеплового материала, покрывшего площадь не менее $20\,000 \text{ км}^2$.

Извержение не причинило существенного ущерба населенным пунктам, но привело к гибели леса на площади приблизительно 20 км^2 .

СахКНИИ ДВНЦ
Ново-Александровск

Поступила в редакцию
15 апреля 1974 г.

E. K. Markhinin, Yu. A. Anikiev, V. M. Grannik,
V. K. Grabkov, A. I. Abdurakhmanov, B. I. Vasilyev,
P. S. Dolganova, N. N. Leonov, G. S. Shutova,
A. N. Zemtsov, A. A. Tron, Yu. P. Trukhin and R. A. Shuvalov

ERUPTION OF TYATYA VOLCANO IN KURIL ISLES IN JULY OF 1973

Eruption of the Tyatya volcano located in northern part of the island Kunashir began in July 14th, 1973. The paper reports the preliminary results obtained during the eruption with some quantitative estimates of the volume and mass of the erupted material, amount of gases participating in volcanic explosions, heat energy of eruption and total kinetic energy of explosions. The following peculiarities of eruption have been established such as its pure explosive nature multiple centers of eruption, predominance of ash among the juvenile material.