

551.2
B886

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р
С И Б И Р С К О Е О Т Д Е Л Е Н И Е
И Н С Т И Т У Т В У Л К А Н О Л О Г И И

ВУЛКАНЫ И ИЗВЕРЖЕНИЯ

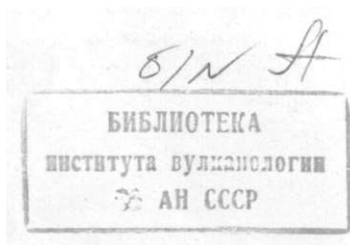


ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1969

Сборник содержит статьи о вулканах и извержениях на Камчатке и Курильских островах. Наибольший интерес из них представляют статьи о гигантском направленном взрыве на вулкане Шивелуч 12 ноября 1964 г. и об извержениях вулканов Безымянного (1965 г.) и Карымского (1962—1965 гг.). В книге приводятся данные о строении и составе лав вулканов Гамченской группы на Камчатке. На основании изучения продуктов извержения устанавливается гавайский тип извержения в прошлом на конусе Медвежий.

Дается новый материал об извержениях последних лет на Камчатке, выявляются масштабы и роль направленных вулканических взрывов и приводятся сведения о малоизвестных вулканах Камчатки и Курильских островов.

Ответственный редактор
член-корреспондент АН СССР
Г. С. ГОРШКОВ



Г. С. Горшков, Ю. М. Дубик

НАПРАВЛЕННЫЙ ВЗРЫВ НА ВУЛКАНЕ ШИВЕЛУЧ

Введение

12 ноября 1964 г. произошло кратковременное, но чрезвычайно мощное и очень интересное по характеру извержение вулкана Шивелуч. Это самый северный среди действующих вулканов Камчатки; он расположен на левом берегу р. Камчатки, приблизительно в 50 км к северо-северо-западу от пос. Ключи, в котором находится Вулканологическая станция.

Вулкан Шивелуч впервые упоминается С. П. Крашенинниковым (1755). Он был бегло изучен в 1829 г. А. Эрманом (Erman, 1848), который определил состав лавы вулкана как амфиболовый андезит, а Абих привел первый химический анализ лавы из образца Эрмана (Abich, 1841). Под влиянием идей А. Гумбольдта о «кратерах поднятия» Эрман рассматривал Шивелуч как огромное одноактное «вздутие».

В 1897 г. вулкан Шивелуч был посещен К. И. Богдановичем (Bogdanowitsch, 1904), который полностью присоединился к взглядам А. Эрмана, рассматривая Шивелуч как моногенный (в понимании Штюбеля) вулкан. Геологический (Конради и Келль, 1925) и зоологический (Шмидт, 1916; Державин, 1916) отряды Камчатской экспедиции Географического общества в 1909—1911 гг. изучили вулкан подробнее; они работали на так называемой Кратерной вершине, где сосредоточена современная активность. К сожалению, сколь-нибудь подробного описания материалов геологического отряда опубликовано не было.

Коллекции К. И. Богдановича и С. А. Конради были обработаны А. Н. Заварицким (1935). Это было первое петрографическое описание лав Шивелуча.

В 1944 г. вулкан был посещен Б. И. Пийпом, который дал схему его строения и первую попытку анализа доисторических извержений, используя метод тефрохронологии. Б. И. Пийп (1948) разделял точку зрения о моногенном происхождении главного массива Шивелуча.

В 1937/38 и 1946—1948 гг. Шивелуч изучался А. А. Меняйловым (1955). В отличие от предшествующих авторов он рассматри-

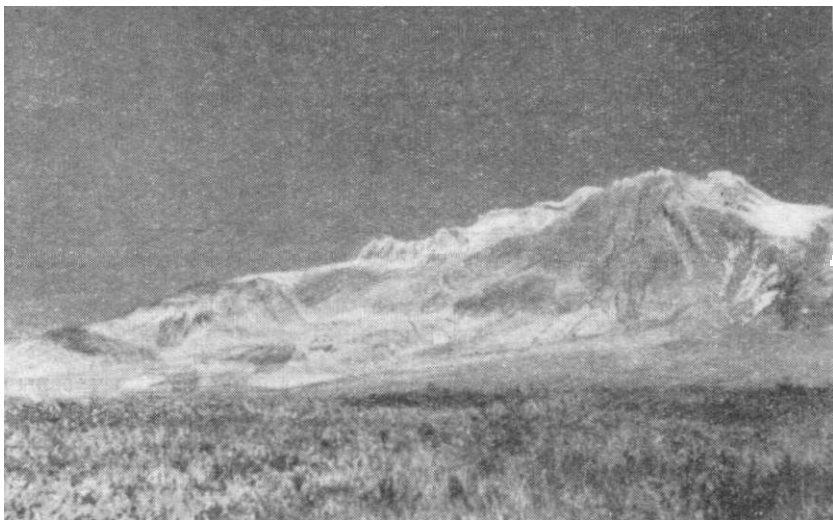


Рис. 1. Главная (направо) и Кратерная (налево) вершины вул

валглавную вершину Шивелуча как полигенный стратовулкан. В 1948—1951 гг. этот вулкан исследовал Г. С. Горшков (1953), который, независимо от А. А. Меняйлова, пришел в общем к такому же заключению.

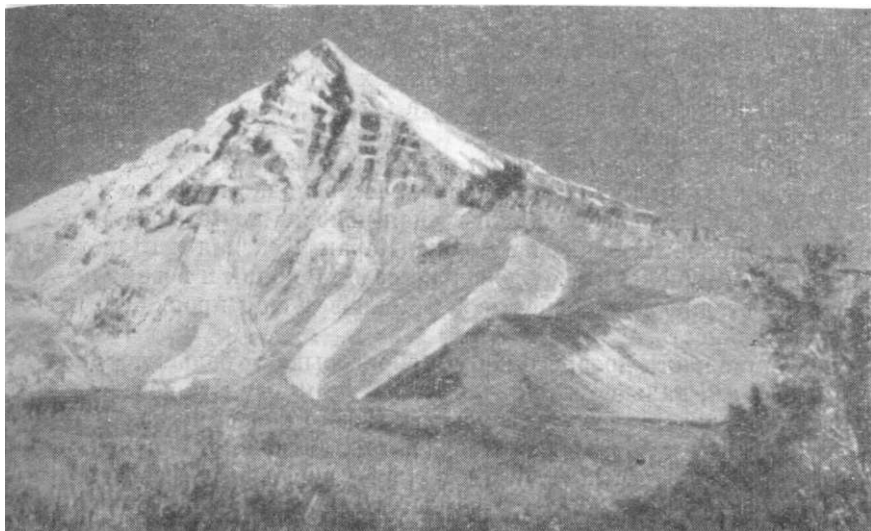
Г. С. Горшков продолжил изучение вулкана Шивелуч в 1954—1957 гг., однако результаты работ опубликованы не были. Предварительное сообщение об извержении 1964 г. было сделано Б. И. Пийпом и Е. К. Мархининым (1965). Детально последствия извержения изучались Ю. М. Дубиком (1964—1966) совместно с Г. С. Горшковым (1965).

Строение вулканического массива

Вулкан Шивелуч возвышается в виде изолированного массива среди болот и озер Центральной Камчатской депрессии. На севере основание вулкана спускается к притокам рек Маимли и Еловки; на западе и юге его окружают озера и заболоченные долины рек Еловки и Камчатки, а на востоке он граничит с отрогами хр. Кумроч.

Диаметр основания вулкана составляет по меньшей мере 40 км, площадь — более 1200 км².

Массив Шивелуча довольно сильно разрушен и не имеет привычной для вулкана конической формы. При наблюдении с юго-



кана Шивелуч. Вид с юго-запада, 1949 г. Фото Г. С. Горшкова

востока выделяются две вершины, разделенные седловиной: северная, более высокая (3335 м) Главная вершина, и южная, более низкая (2700 м) Кратерная вершина — арена современной активности (рис. 1).

Главная вершина и западный сектор массива на правом берегу р. Байдарной являются частями древнего конуса. Они разделены широкой и глубокой долиной, по которой с седловины между Главной и Кратерной вершинами спускается большой ледник Тюшева.

В гигантском обрыве южной стены Главной вершины хорошо видно внутреннее строение древнего конуса. Нижняя половина вулкана сложена грубыми пластами рыхлого материала, в состав которого входят преимущественно обломки пород фундамента — различные старые лавы, метаморфические сланцы и др. В верхней части пирокластической свиты лежат несколько прослоев вулканических бомб свежей лавы. Верхняя половина состоит из мощных (до 30—40 м) потоков роговообманкового андезита; подчиненное положение занимают андезито-базальты и базальты (нормальные и роговообманковые), формирующие среднюю часть лавового разреза. Пропластки пирокластики здесь весьма маломощны, и отдельные лавовые потоки отделяются один от другого маломощной «лавовой мореной», формирующей обычно подошву и кровлю вязких лавовых потоков.

В западном секторе древнего конуса в обрывах правого берега р. Байдарной выше пирокластической толщи залегают менее мощ-

ные (20 м и менее) потоки андезито-базальтовых и базальтовых лав с прослоями слабо сцементированных туфов и рыхлой пирокластики. Эта часть массива рассечена многочисленными дайками базальтового состава.

У подножия восточной части массива возвышается старый, сильно сглаженный купол — Сёмкорок. На западном склоне с севера на юг расположена меридиональная цепочка из четырех экструзивных куполов: Сопочка на склоне, Каран, Красная и Шероховатая. Все эти куполы имеют довольно свежий облик и возникли в последнюю стадию деятельности, а Каран все еще проявляет газовую деятельность.

Уцелевшие части древнего конуса обрисовывают большую, диаметром до 7 км, кальдеру, широко открытую к югу. На северо-западе гребня кальдеры есть также вырез. В формировании кальдеры играли роль как чисто вулканические, так, возможно, и вулканотектонические процессы. Посткальдерная деятельность сосредоточилась в северо-западной части депрессии, где расположена Крайняя вершина. Восточный и юго-восточный склоны ее сложены весьма мощной монолитной лавовой массой, характер поверхности и внутреннее строение которой позволяют считать это лавовое образование остатком эффузивного (экзогенного) купола. Другая часть, возможно этого же купола, прижата к истокам р. Байдарной в западной части кальдеры. По всей вероятности, формирование эффузивного купола закончилось мощным, направленным к югу взрывом, и от купола сохранились только две изолированные части. Купол был асимметричным; к югу и юго-востоку его лавы протягивались на 4—5 км, а к северу — на 2—3 км. После взрыва остался удлиненный, открытый к югу кратер размером приблизительно 3 X 4 км. Вся последующая деятельность (не считая цепочки куполов на внешнем западном склоне старого конуса) сосредоточилась в этом кратере, из которого было выжато несколько экструзивных (эндогенных) куполов. Все куполы (и экструзивные, и эффузивный) сложены роговообманковыми андезитами.

Сейчас, после извержения 1964 г., сохранились остатки самого большого и высокого купола — «Четвертая вершина»¹. Это западная часть очень большого купола (восточная была некогда уничтожена очень мощным взрывом). На гребне его лежат три слоя пемзы прежних извержений.

К югу от Четвертой вершины до ноября 1964 г. располагались еще два экструзивных купола, вершины которых также были покрыты пемзой. Западные склоны их были сложены «брекчиевой корой» и упирались во внутреннюю стенку старого эффузивного купола. Восточные части были как бы оборваны; они были очень круты, почти отвесны, в них обнажалась монолитная лава.

¹ Название дано в 1909 г. Н. Г. Келлем; ранее местными жителями он назывался Карын, а современный Карн ранее был безымянным.

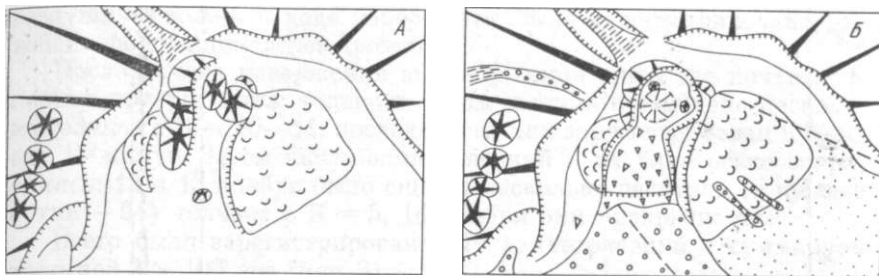


Рис. 2. Схема строения Кратерной вершины до (А) и после (Б) извержения 1964 г.

Условные обозначения см. на рис. 7

К востоку от Четвертой вершины также было два купола: Центральный и крайний восточный — Суелич, который образовался в ходе извержений 1944—1950 гг. Оба купола были совершенно свободны от пемзы. Кратерная вершина получила свое название в 1909 г., когда участники экспедиции Географического общества приняли за кратер полукольцевое понижение между обрывом Четвертой вершины и внешним склоном купола Центрального.

Теперь на месте этих четырех куполов образовался открытый к югу большой взрывной кратер шириной 2 км (рис. 2).

Южная часть вулканического массива представляет собой довольно плоскую поверхность, полого спускающуюся к долине р. Камчатки. В бортах глубоких крутых долин, прорезающих эту часть массива, вскрыты слои рыхлых вулканогенных пород, среди которых обнажаются взрывные отложения, пирокластические и грязевые потоки прежних извержений, иногда с остатками древесной растительности.

Сейсмическая подготовка

Извержение 1964 г. не было неожиданным, оно предвлялось длительной и довольно характерной сейсмической подготовкой. Первые, очень слабые землетрясения были отмечены еще в январе; до апреля было отмечено 10 толчков 6—9-го энергетических классов. В первой декаде мая произошел четкий рой землетрясений, и было высказано предположение о возможном извержении (Токарев, 1964). Затем наступил довольно длительный спад сейсмической активности, на фоне которого 25 июля произошло одно из наиболее сильных землетрясений с $K = 11$.

Во второй половине октября началось новое усиление сейсмической активности, уже непосредственно предшествующее извержению. С 24 октября землетрясения происходили ежедневно, а чис-

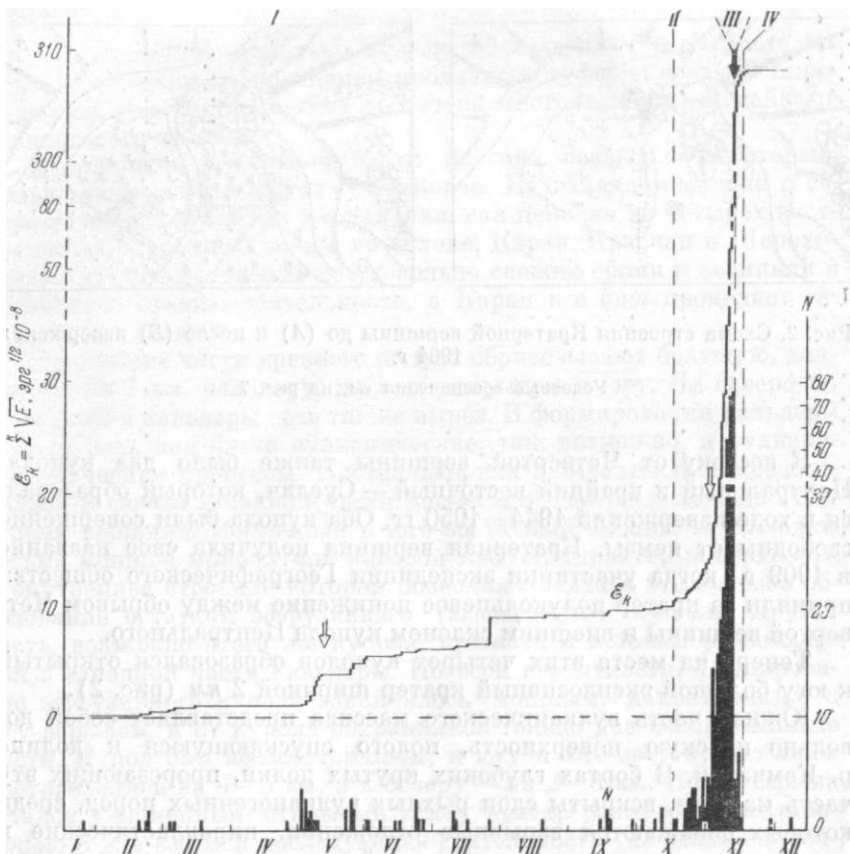


Рис. 3. График сейсмической активности вулкана Шивелуч в 1964 г.

E — накопление условных деформаций, N — число землетрясений за сутки с $h \geq 6$ (Токарев, 1967)

ло и энергия их непрерывно возрастали. За последние сутки перед извержением было отмечено 73 землетрясения 8—13-го энергетических классов; за 7 часов до извержения землетрясения происходили практически непрерывно, и запись их на сейсмограммах ближайших станций слилась в непрерывные колебания. Некоторые землетрясения ощущались в Ключах и Козыревске (на расстоянии соответственно 50 и 80 км) с силой 3—4 балла и сопровождалась подземным гулом.

Наиболее сильными были землетрясения в 7 часов 07 минут и в 7 часов 13 минут 12 ноября. С первым из них был связан гигантский взрыв, уничтоживший куполы Кратерной вершины и оставивший кратер диаметром более 2 км. Взрыв вызвал мощную

воздушную волну, в ходе извержения было зарегистрировано интенсивное вулканическое дрожание.

После начала извержения землетрясения сразу же почти полностью прекратились; только в самом конце его отмечено несколько толчков с $K = 10-11$, последний из них зарегистрирован в 8 часов 15 минут. Затем число землетрясений и их сила резко сократились: 12 и 13 ноября было еще по несколько десятков (в первые сутки — 64) толчков с $K = 5$, 16 ноября они прекратились.

Всего было зарегистрировано 479 землетрясений с суммарной энергией 2×10^{20} эрг (рис. 3).

Таким образом, по сейсмическим данным можно выделить следующие четыре стадии:

- 1) стадия предварительной сейсмической подготовки — с начала 1964 г. до первой половины октября;
- 2) стадия непосредственной сейсмической подготовки — с 17—21 октября до 12 ноября;
- 3) пароксизмальное извержение 12 ноября 1964 г.;
- 4) постэруптивная стадия ослабления сейсмической деятельности — с 12 до 16 ноября 1964 г.

Извержение

Каких-либо внешних изменений в деятельности вулкана Шивелуч перед извержением отмечено не было. Оно было очень кратковременным и произошло в темное время суток, поэтому наблюдения очевидцев дают только самое общее представление о его характере. Начало извержения с «огненными явлениями» разные очевидцы относят к разному времени — от 3—4 до 7 часов.

Несомненно, что пароксизмальный взрыв произошел в 7 часов 07 минут (и в 7 часов 13 минут?), однако не исключена возможность, что предварительные, более слабые взрывы начались еще ночью. В этой связи можно отметить, что на микробарограммах начиная с 1 часа до 7 часов 12 ноября отмечено 10 «клевков», которые могли быть вызваны либо прохождением поверхностных волн наиболее сильных землетрясений, либо относительно слабыми взрывами на вулкане.

Рассказы очевидцев рисуют захватывающую картину извержения. В полутьме была видна нависшая над долиной р. Камчатки пепловая туча высотой 10—15 км. Яркие и широкие молнии расходились от ее центра к краям. Продолжительный гул и мощные раскаты грома были слышны во всех окрестных поселках — в Ключах, Козыревске, Лазо, Крахче. В западной части массива, ниже его вершины, «пробивался узкий столб пламени». Эруптивная туча к этому времени закрыла пятую часть небосвода и, быстро расширяясь и клубясь под действием западного ветра, двинулась в сторону Тихоокеанского побережья. К 8 часам извержение пошло на



Рис. 4. Мощное выделение газов из нового кратера в 13 часов
12 ноября 1964 г.

(Аэрофото Ю. М. Дубика)

убыль, отмечались лишь редкие лавины у подножия вулкана. Вершина в течение еще нескольких часов была закрыта густыми выделениями пара. В середине дня сотрудники Института вулканологии (в том числе один из авторов — Ю. М. Дубик), совершавшие облет вулкана на самолете, обнаружили на месте Кратерной вершины огромный взрывчатый кратер (рис. 4) и широкий язык пирокластического покрова к югу от него (рис. 5). Вся местность совершенно преобразилась (рис. 6); базовый домик Ключевской вулканостанции, находившийся в 7 км от кратера, был уничтожен.

Собственно, на этом извержение и закончилось, но эруптивная туча, нагруженная вулканическим песком и пеплом, продолжала двигаться на юго-восток.

В 8 часов 30 минут пронизываемая молниями пепловая туча нависла над поселком Усть-Камчатск. Начался пеплопад, в воздухе ясно ощущался запах серы. Треск и грохот грозовых разрядов не прекращались в течение 2 час. Наступила темнота, окрестности освещались лишь красными отблесками молний. Атмосфера была настолько насыщена электричеством, что телефонная и радиосвязь с другими поселками нарушилась. Многие жители Усть-Камчатка видели тихие электрические разряды — «огни святого Эльма». Пеплопад продолжался в течение 3 час.; пепел лег слоем в 3 см, количество пепла, выпавшего на 1 м², достигло 28 кг.



Рис. 5. Южный склон вулкана Шивелуч через 6 час после главного взрыва
В правой части — отложения направленного взрыва, в левой — пирокластические
потоки
(Фото Ю. М. Дубика)



Рис. 6. Кратерная вершина и долина р. Каменской до (а) и после извержения

Фото Г. С. Горшкова
(снято о одной и той же точки)

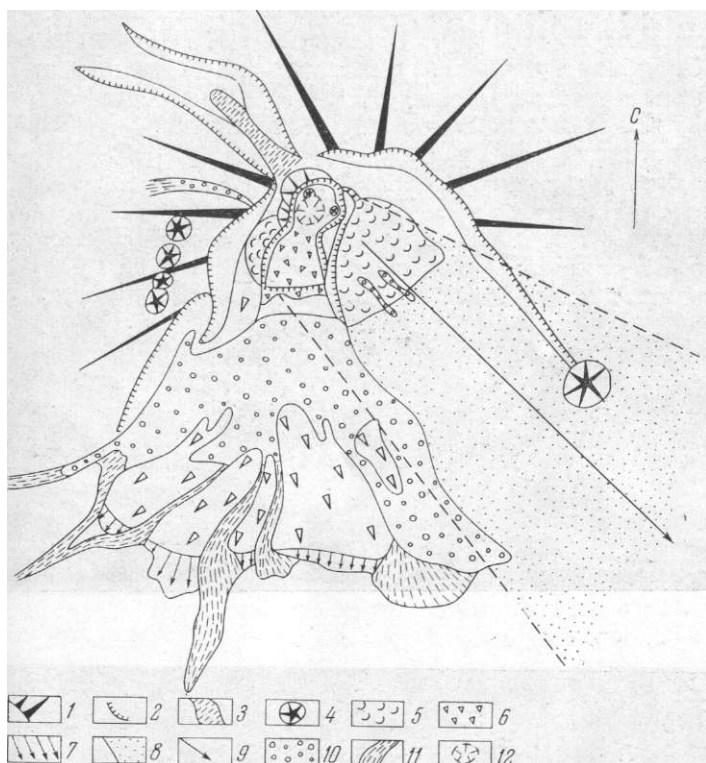


Рис. 7. Схема распространения отложений извержения 12 ноября
 1 — склоны вулканических построек; 2 — обрывы; 3 — ледник Тюшева;
 4 — экструзивные куполы; 5 — эффузивные куполы; 6 — отложения на-
 правленного взрыва; 7 — перемещенные участки взрывных отложений;
 8 — пемза и пепел, выпавшие из эруптивного облака; 9 — ось пеплопада;
 10 — пирокластические потоки; 11 — грязевые потоки; 12 — куполообраз-
 ное возвышение на дне кратера

Пассажирский теплоход «Николаевск», находившийся на под-
 ходе к Усть-Камчатску, вошел в зону густого пеплопада и был
 вынужден повернуть обратно. С другого теплохода — «Аральск» —
 сообщили: «В 9 часов 30 минут вошел в густой пеплопад. Темно,
 как ночью...»

К 13 часам этого же дня эруптивная туча надвинулась на Ко-
 мандорские острова, где пеплопад продолжался до 17 часов 30 ми-
 нут. Толщина пеплового покрова составляла здесь 2,5 мм, что со-
 ответствует 2 кг/м^2 . О дальнейшем пути пепловой тучи никаких
 данных нет. На этом сведения о непосредственных наблюдениях
 в период извержения исчерпываются.

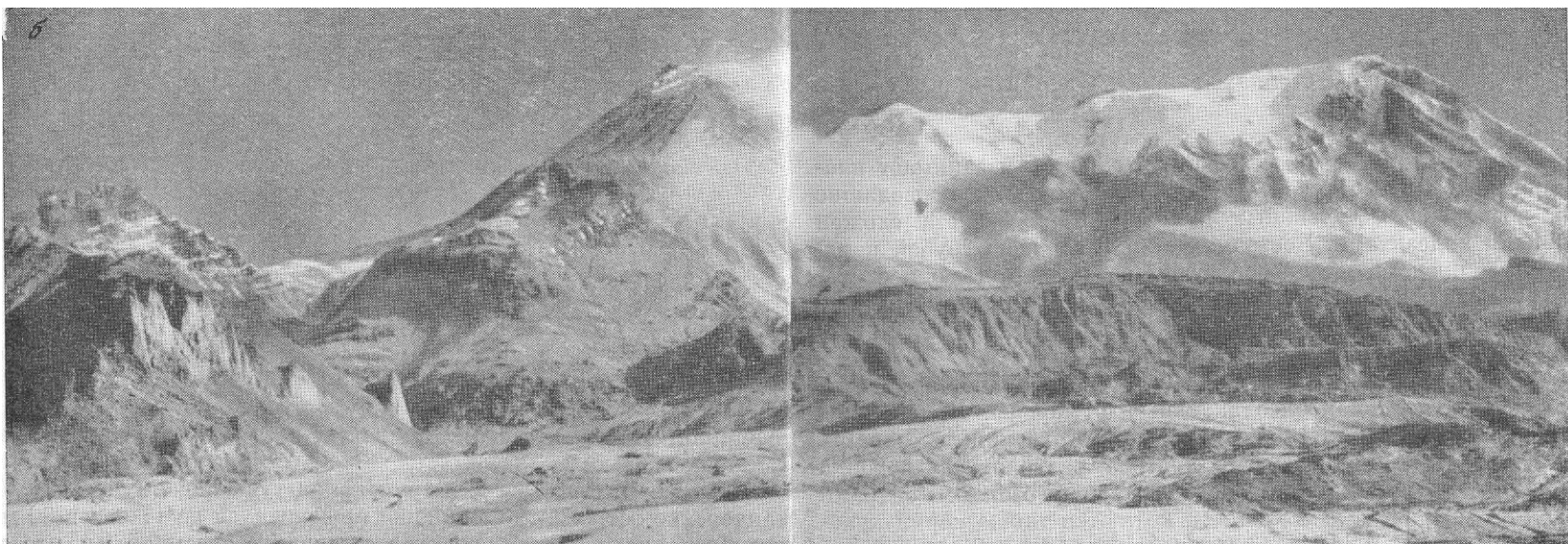
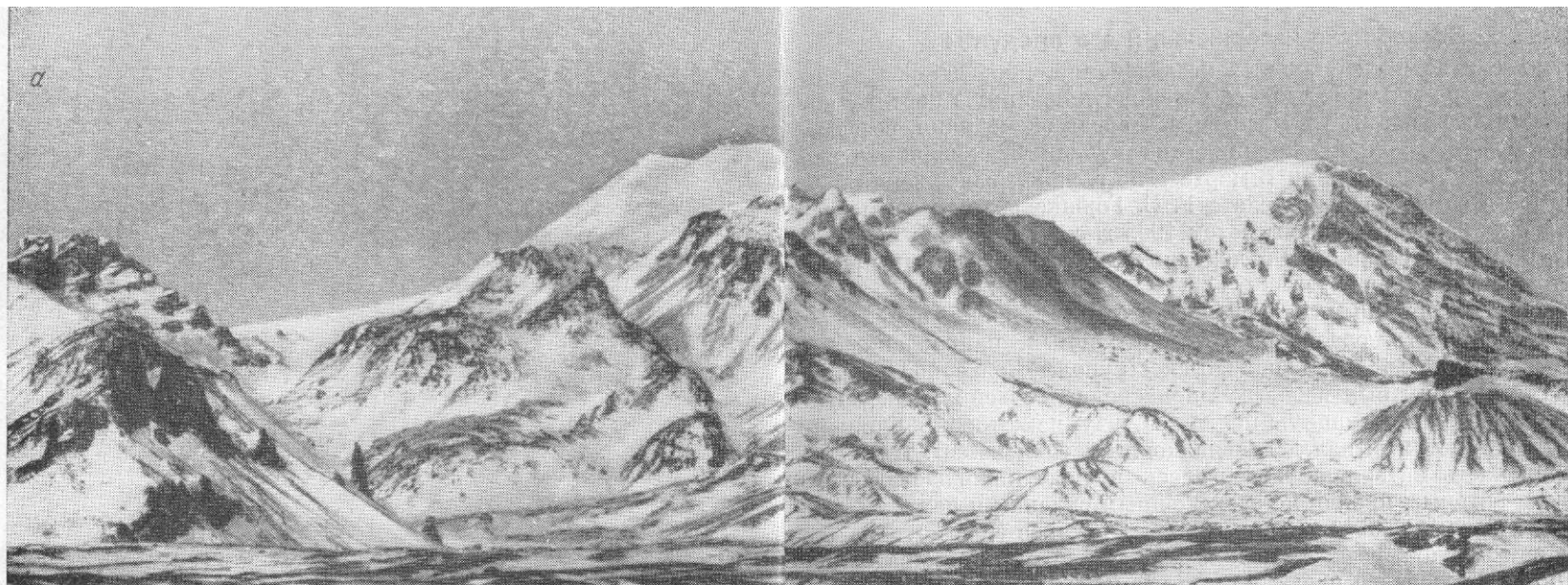


Рис. 8. Кратерная вершина до извержения (а) 1949 г. и кратер 1964 г. (фото Г. С. Горшкова (оба снимка сделаны с одной точки))

Последствия извержения и его продукты

Только в ходе специальных исследований, проведенных непосредственно на вулкане, удалось установить истинную картину извержения, его характер и масштабы. Первая экспедиция, возглавляемая Ю. М. Дубиком, проникла на вулкан 22 ноября — через 10 дней после извержения. В марте 1965 г. район извержения был осмотрен с самолета и вертолета Г. С. Горшковым. Основные исследования были выполнены летом 1965 г. совместно обоими авторами, в полевой сезон 1966 г. дополнительные работы были проведены Ю. М. Дубиком.

Было неоспоримо установлено, что на вулкане произошел один (может быть, двоякий) очень мощный, направленный к югу взрыв, который почти нацело снес куполы Кратерной вершины; вслед за ним был извергнут пемзовидный ювенильный материал, образовавший мощную пепловую тучу, из которой в ближайших окрестностях выпал довольно мощный слой пемзы. Преобладающая часть материала извергалась в виде пирокластических потоков, которые, пройдя по заснеженным склонам и долинам, послужили причиной образования грязевых потоков (рис. 7).

Облик вулкана резко изменился. На месте куполов Кратерной вершины образовался новый кратер размером 1,5 X 3 км (рис. 8).

В плане форма кратера сложная, он состоит из двух частей. Северная половина врезана в массивы четвертой вершины и купола Суелич и имеет овальную форму, несколько искаженную неоднородностью постройки. Сечения этого кратера 1,5 X 1 км, высота северной стенки около 700 м. Высота стенок по границе с южным кратером 300—400 м. В стенках обнажены корни экструзий, а к востоку от четвертой вершины верхняя часть разреза сложена мощным ледником.

Южная часть кратера имеет форму трапеции и занимает площадь примерно 4 км². В западном обрыве вскрыты подводящие каналы нескольких эффузивных куполов. Верх разреза сложен массивными андезитами. Восточная стенка сложена грубой пирогластикой и представляет собой агломератовую мантию нескольких старых экструзивных куполов. Дно кратера было засыпано огромными глыбами розового андезита. Даже через две недели после извержения оно почти сплошь парило.

На дне северного кратера находится куполовидное поднятие. Здесь сосредоточены наиболее активные фумаролы. На вершине поднятия образовалось несколько воронок с горячими озерами. В крайнем северо-западном углу кратера расположена воронка глубиной до 70 м, дно которой занято холодным озером. Центрами активной фумарольной деятельности являются также корни купола Суелич и куполов в Западной стенке кратера (рис. 9).

Южная половина кратера засыпана рыхлым агломератовым материалом, так что гребень его от высот около 400 м постепенно сходит на нет. Рыхлый материал, засыпавший кратер, обрывается

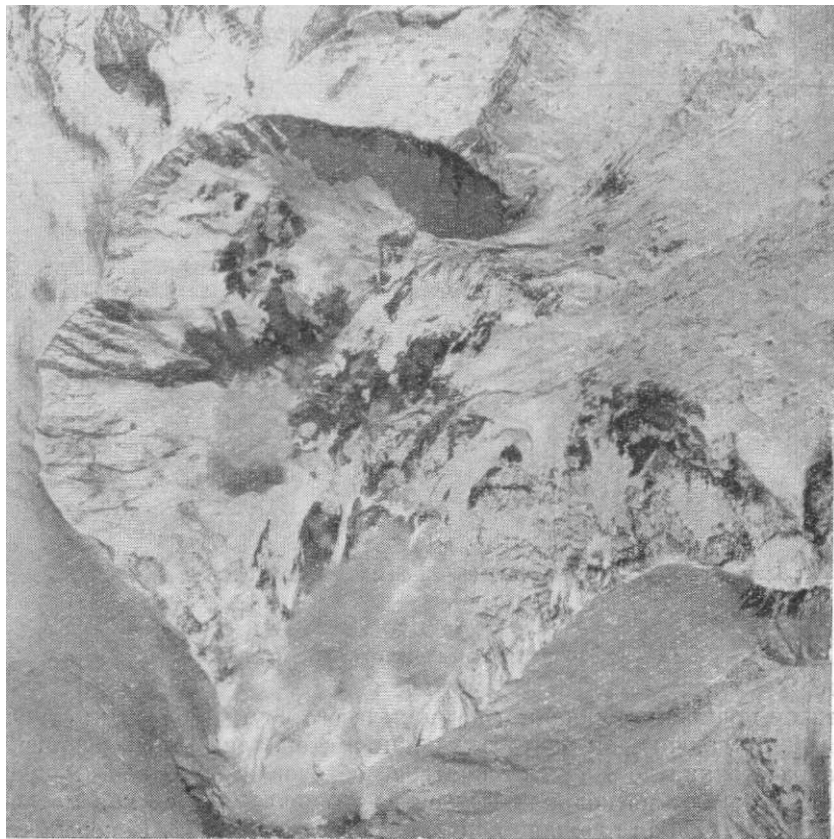


Рис. 9. Плановый снимок нового кратера.

Фото Института вулканологии

к южному склону высоким крутым уступом. Создается впечатление, что первый, самый мощный взрыв образовал большой сдвоенный кратер, затем в северной половине произошел также направленный к югу, но менее мощный взрыв, который засыпал южную, более низкую часть кратера. В дальнейшем, после более слабых вертикальных взрывов в северной части осталось еще несколько воронок.

Очертания нового кратера удивительно точно совпадают с очертаниями кратера, существовавшего здесь до формирования экстрезий. Таким образом, разрушению подверглась преимущественно та часть постройки, которая была сложена экстрезиями и их агломератовыми мантиями. Значительная масса брекчии взрыва обрушилась на непосредственно прилегающий к кратеру южный

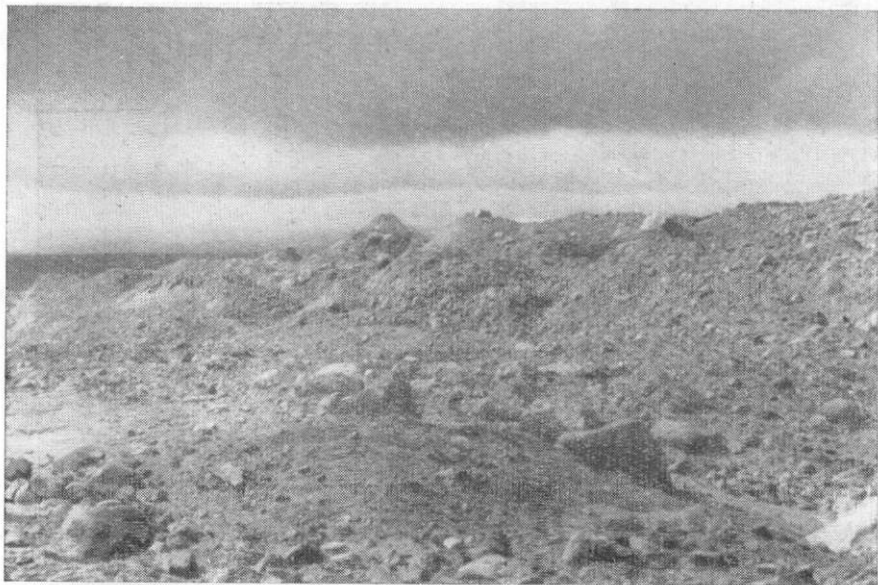


Рис. 10. Взрывные отложения

Фото Г. С. Горшкова

сектор подножия вулкана и перекрыла его двумя мощными ступенями. Подавляющая часть взрывного материала была выброшена на расстояние до 10 км от кратера, образовав сплошной покров мощностью от нескольких метров до нескольких десятков метров (рис. 10). Общая площадь покрова составляет 98 км². Боковые его границы довольно прямые и четкие, фронтальная — расплывчатая. Местами она совпадает с бывшей границей леса, а местами перекрывает ее, уходя в зону лесов на 2—3 км. Во фронтальной и средней частях покрова видны явные следы движения материала уже после падения на склоны. Не всегда можно четко разграничить перемещенные и неперемещенные массы. Тем не менее очевидно, что по крайней мере фронтальная оторочка покрова шириной до 1 км, а местами и более, двигалась уже по поверхности, срезая мощные слои рыхлых пемзовых отложений; она была остановлена незначительными препятствиями в рельефе, а на участках, где таких препятствий не было, материал продвинулся максимально далеко, насколько ему позволяла инерция движения. Такой характер отложения взрывного материала хорошо объясняет столь резкую границу его распространения: на расстоянии 1 м от каменной пустыни и хаоса стоит абсолютно нетронутый живой лес (рис. 11). Только вблизи от кратера встречаются отдельные обломки, выброшенные взрывом за пределы сектора, занятого основной массой взрывных отложений. Создается впечатление, что «направляющи-



Рис. 11. Граница взрывных отложений

Фото Г. С. Горшкова

ми» для выброшенного взрывного материала служили боковые стенки нового эксплозивного кратера. В таком случае угол выброса не должен был превышать 30° . Это подтверждается тем, что незначительные препятствия в зоне падения взрывного материала (например, холмы с относительным превышением 10—20 м) стали причиной образования «мертвых зон», а правильнее сказать — «живых зон» на их обратных склонах. Узкие живые зоны не тронутого взрывом леса ориентированы в каждой точке сектора радиально по отношению к кратеру. Такие участки абсолютно свободны от взрывных отложений, и только верхушки высоких лиственниц срезаны косо падающими обломками, что служит лишним доказательством косого взрыва (рис. 12). Чрезвычайно характерен рельеф отложений направленного взрыва — холмисто-грядовый. Гряды, как и «мертвые зоны», радиально расположены по отношению к эруптивному центру. Их превышение над общей поверхностью по крова составляет от 2—3 до 20 м. Образование таких гряд могло произойти лишь в случае небольшого угла падения материала.

Распределение материала по мощности в зоне отложений направленного взрыва неравномерное. Как уже указывалось, непосредственно у нижней границы кратера значительные массы взрывного материала дали морфологически единое образование в виде мощных ступеней с перепадом высот до 100 м; в зоне, удаленной на 1—5 км от эруптивного центра, мощность взрывных отложений

невелика, здесь речные долины почти не засыпаны. Массовое выпадение взрывного материала происходило на расстоянии 5—10 км от кратера. Здесь мощность покрова достигает 50 м. Доэруптивный рельеф совершенно сnivelирован, глубокие (до 70 м) каньоны сухих рек местами почти полностью засыпаны. Максимальной мощности взрывные отложения достигают в 1—2 км от фронтальной границы покрова: здесь прослеживается еще один поперечный уступ высотой до 50 ж; ниже уступа характер отложений резко меняется. Целый ряд признаков, в том числе наличие гряд, параллельных фронту покрова, полная неоднородность материала, относительно ровная, сnivelированная поверхность, говорит о перемещении материала после выпадения.

Характеризуя материал взрывных отложений, нужно прежде всего подчеркнуть, что он резургентный. Исследования, проведенные через десять дней после извержения, показали, что материал был абсолютно холодным и инертным.

Объем отложений направленного взрыва оценивается минимум в $1,5 \text{ км}^3$.

Детальное изучение вещественного состава взрывных отложений показало, что он полностью соответствует тем образованиям, которые слагали разрушенную часть вулкана. Это в первую очередь лавы целой серии экструзий и слабо сцементированные агломератовые брекчии их подножий. Массивные монолитные фрагменты экструзий объемом до нескольких десятков кубических метров во время падения раздробились, однако взаимное расположение отдельных обломков не нарушено. Рыхлый материал формировал характерные холмики с крутыми склонами и узкие гряды, радиально ориентированные по отношению к центру извержения. Для неперемещенных взрывных отложений свойственно «мозаичное» строение; иными словами, каждый ограниченный по площади участок сложен однородным материалом, но граничит с участками, совершенно отличающимися по характеру материала.

Изучение под микроскопом позволяет выделить в резургентных продуктах извержения следующие петрографические разности.

Наиболее существенными породами являются плотные серые роговообманковые андезиты серийно-профировой структуры. Их главные породообразующие минералы представлены плагиоклазом, роговой обманкой, ромбическим и моноклинным пироксеном. Резко подчиненную роль играют вкрапленники оливина, мелкие выделения рудных минералов и апатита. Вкрапленники погружены в плотную основную массу, состоящую из стекла и микролитов плагиоклаза и цветных минералов. Структура основной массы меняется на разных участках даже одного шлифа от андезитовой до витрофировой. Состав плагиоклазов во вкрапленниках колеблется в довольно широких пределах — от 60 до 40% An; характер зональности тоже может быть самым различным. По составу микролиты отличаются от вкрапленников на 20 номеров и более.



Рис. 12. Сохранившийся участок леса за препятствием среди взрывных отложений.

Фото Ю. М. Дубика

Следующим по значению минералом является роговая обманка. В плотных лавах это обычно зеленая ее разновидность с относительно низкой величиной двупреломления ($N_g - N_p = 0,018$).

Вкрапленники роговой обманки в незначительной степени опаптитизированы, отдельные участки частично диссоциируют на пироксен и рудный минерал. Зеленые роговые обманки отличаются низкими величинами угла оптических осей ($2V = -55-70^\circ$) и угла погасания ($c:N_g = 18^\circ-16^\circ$).

Моноклинный пироксен по оптическим свойствам должен быть отнесен к диопсид-авгиту ($2V = 50-55^\circ$; $c:N_g = 40-42^\circ$; $N_g - N_p = 0,022$).

Ромбический пироксен присутствует в виде субфенокристаллов.

Оливин, имеющий состав форстерита, встречается как спорадический минерал и носит явные следы оплавления и резорбции.

Подобным же минералогическим составом и сходными структурами обладают пористые красные и розовые роговообманковые андезиты. От описанных их отличают текстурные особенности и присутствие не зеленой, а бурой роговой обманки. Наличие и тех и других разновидностей лав характерно для эструзий. Эти андезиты чрезвычайно похожи на породы экструзивного купола Суелич, сформированного в ходе предыдущего извержения, и купола Центрального.

Для западного сектора взрывных отложений характерно присутствие светло-серых, розовых с фиолетовым оттенком андезитов, чаще всего плотных, с крупными вкрапленниками плагиоклаза. Эти породы отвечают экструзивным массам четвертой вершины.

Сушественную роль в материале взрывных отложений играют пемзы. Встречаются целые блоки плотно сцементированных пемзовых андезитов (рис. 13). Такие породы слагают восточную стенку южной половины кратера. Кроме того, встречаются фрагменты старых пирокластических потоков с сохранившимся почвенным слоем, и по характеру растительности можно утверждать, что они залежали ранее на высоте порядка 700—800 м. Остается предположить, что скорость падения материала была настолько велика, что он как бы выпахивал поверхность в 7—8 км от кратера и скатывался дальше, увлекая за собой захваченные блоки пирокластических потоков прежних отложений. Но наиболее впечатляющим был тот факт, что в 10 км от центра извержения мы встретили огромные глыбы плотного льда объемом до 10—15 м³, единственным источником которых мог быть ледник к востоку от вершины. Вообще нужно сказать, что значительная часть рыхлого материала, который слагал наиболее высокие участки взорванной постройки, была выброшена в виде смерзшихся блоков неправильной формы. Весной эти глыбы оттаяли, рассыпались и образовали небольшие, идеально правильные конусы.

Таков был характер материала, выброшенного направленным взрывом на многие километры от кратера. Остается добавить, что прежде живописное, богатое растительным и животным миром подножие вулкана превратилось в бесплодную каменную пустыню, покрытую тысячами больших и маленьких холмов. Лиственничные и березовые леса на площади 45 км² погребены теперь под 20-метровой толщей отложений направленного взрыва.

Вслед за направленным взрывом из открытого кратера вверх было выброшено огромное количество газов и пепла, образовавших эруптивную тучу.

Сильный северо-западный ветер определил направление движения пепловой тучи и границ зоны пеплопада, площадь которой превысила 100 тыс. км². В непосредственной близости от вулкана видно, что материал, выпавший из эруптивной тучи, перекрывает отложения направленного взрыва. Здесь вся местность на площади около 90 км² засыпана крупными обломками пемзовидного андезита, образовавшими слой мощностью от 20 до 50 см, в зависимости от расстояния до центра извержения. Пемзовый материал в момент выпадения был уже в значительной степени остывшим, так как почти везде под ним сохранился слой снега. Лес в этой зоне погиб: все мелкие ветви и кора были ободраны, причем равномерно, со всех сторон, так как материал из эруптивной тучи падал вертикально. Объем отложений пемзы составляет 0,05 км³. Отдельные обломки имеют поверхность типа «хлебной корки». Как правило,

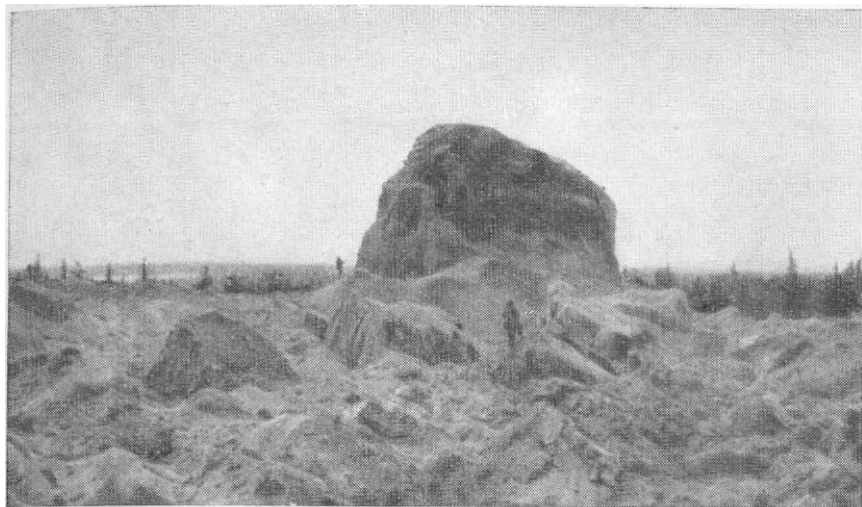


Рис. 13. Крупный блок, выброшенный на расстояние 12 км от кратера.

Фото Г. С. Горшкова

это наиболее плотные разновидности, часто с красноватым оттенком или полосчатые. К моменту выпадения температура обломков осталась достаточно высокой. По мере удаления от вулкана размеры обломков и мощность отложений постепенно уменьшаются. В 30—40 км от кратера это уже крупный вулканический песок с небольшим количеством пемзовых лапилли. В районе Усть-Камчатска (80 км от вулкана) материал представлен уже обычным пеплом. По минералогическому составу пепел полностью отвечает пемзовидным андезитам пирокластических потоков. Морфология пемзовых частиц свидетельствует о том, что в момент пеплообразования исходный материал был уже в твердом состоянии. Общее количество пепла определено нами примерно в $0,3 \text{ км}^3$.

Однако главная масса ювенильного материала была извержена в форме пирокластических потоков (рис. 14). Образование их происходило на последней стадии извержения. Действительно, отложения пирокластических потоков перекрывают и материал направленного взрыва, и пемзы эруптивной тучи. В пределах кратера отложения пирокластических потоков практически отсутствуют, что свидетельствует о большой скорости выброса материала. В зоне, непосредственно примыкающей к кратеру, они образуют сплошной маломощный чехол. На расстоянии 2—2,5 км от эруптивного центра поток разливается широким фронтом по снивелированной взрывными отложениями поверхности, но уже начинает тяготеть к пониженным участкам рельефа, заполняет сохранившиеся участки до-

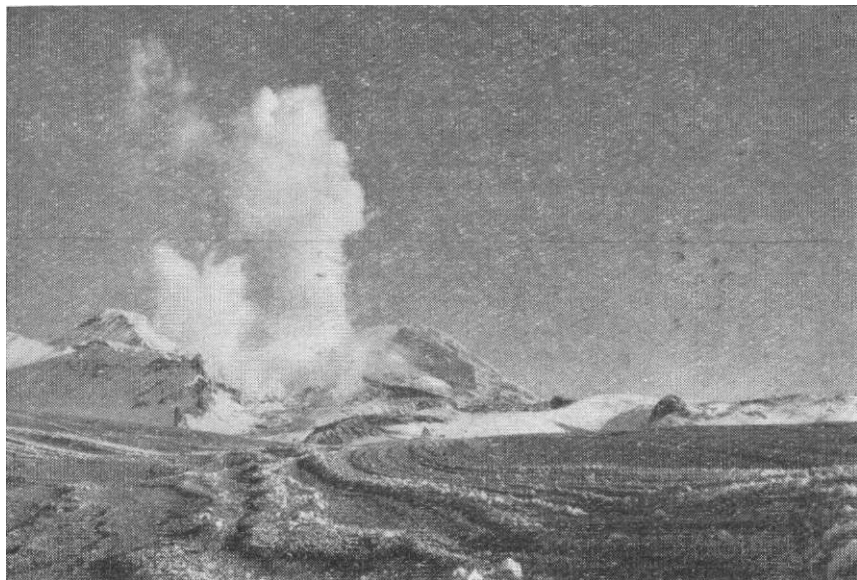


Рис. 14. Пирокластические потоки.

Фото Ю. М. Дубика

лин. Здесь мощность отложений возрастает до нескольких метров. В 5—6 км от кратера потоки полностью подчиняются рельефу и образуют три главные ветви: Западную (по долинам рек Байдарной и Каменской), Центральную (долина р. Громовской) и Восточную (по долинам рек Бекеш и Сухой Бекеш). Расположение ветвей еще раз свидетельствует о том, что долины рек не были полностью засыпаны материалом направленного взрыва. Мощность отложений пирокластических потоков здесь уже достигает первых десятков метров.

Максимальную протяженность имеет поток в долине р. Байдарной (16 км) и Восточный поток (18 км). Общая площадь пирокластических потоков составляет около 50 км². На полную мощность их отложения почти нигде пока не вскрыты, поэтому оценить объем материала можно лишь приблизительно (0,3—0,5 км³). Кроме того, незначительные массы пирокластики были переброшены через пониженные участки стенок кратера и образовали небольшие потоки к востоку и северо-западу от кратера.

Все особенности морфологии пирокластических потоков вообще свойственны и потокам Шивелуча. Это относительно ровная поверхность отложений, образование невысоких бортовых и конечных валов, наличие многочисленных мелких гряд, ориентированных в направлении движения потока и сложенных более крупным материалом. Местами в разрезах потоков видна грубая слоистость,

что свидетельствует о неоднократности излияния пирокластики по одному и тому же пути.

Вся растительность, включая и крупные стволы деревьев, в отложениях потоков полностью обуглена. Температура пирокластического материала через 10 дней после извержения на глубине 30 см составляла 250—300°, температура отдельных фумарол достигала 400°. Следует отметить линейную ориентированность фумарол, причем цепочки их, как правило, тяготеют к максимальным мощностям пирокластики в осевых частях долин.

Важнейшей особенностью пирокластических потоков является однородность материала в петрографическом отношении. Примесь захваченных чуждых обломков невелика, хотя увеличивается на тех участках, где потоки двигались по поверхности рыхлых отложений направленного взрыва.

Химический состав ювенильных продуктов извержения
(Аналитики Г. Ф. Некрасова и Н. И. Лисоченко)

Компоненты	553			557			Компоненты	553			557			П-1
	553	557	П-1	553	557	П-1		553	557	П-1	553	557	П-1	
SiO ₂	58,80	60,78	54,00	MgO	4,98	3,87	5,72							
TiO ₂	0,85	0,90	0,90	CaO	6,78	5,80	8,48							
Al ₂ O ₃	16,18	15,69	18,66	Na ₂ O	4,40	4,40	3,06							
Fe ₂ O ₃	3,66	2,93	2,30	K ₂ O	1,59	1,87	2,14							
FeO	2,83	2,67	3,25	H ₂ C ⁻	0,03	0,06	0,12							
MnO	0,14	0,12	0,14	H ₂ O ⁺	0,32	0,42	0,08							
				С у м м а	100,56	99,51	99,71							

Примечание. 553 — андезит пирокластических потоков; 557 — пемзы эруптивноГт тучи; П-1 — пепел в Усть-Камчатке.

В отложениях пирокластических потоков можно выделить две разности андезитов, незначительно различающихся по химизму (см. таблицу) и петрографии. Подавляющая масса материала представлена пемзовидными светло-серыми андезитами с многочисленными вкрапленниками роговой обманки. Степень раскристаллизации породы невелика: на 70—80% она состоит из стекла с микролитами. Среди вкрапленников преобладает плагиоклаз, содержащий 55—65% An₃ и зеленая роговая обманка (Ng — Np = 0,018; 2V = 60—70; c:Ng = 18°). Обычно последняя опацифицирована, иногда разложена на агрегат плагиоклаза, рудного минерала и пироксена. Редкие кристаллы оплавлены и окружены каймой из мелких зерен пироксена и роговой обманки. Еще реже встречаются вкрапленники ромбического пироксена (2V = 59°). Почти все

вкрапленники интенсивно раздроблены; они погружены в бесцветное или слабо окрашенное стекло с показателем преломления 1,508-1,512. Стекло содержит незначительное количество микролитов и субфенокристаллов плагиоклаза и пироксена.

Вторая разновидность андезита в пирокластических потоках отличается большей плотностью, разовой окраской, наличием внешней закаленной зоны в обломках. Часто это полосчатые пористые андезиты. В них наряду с зеленой содержится и бурая роговая обманка; несколько выше отмечается содержание пироксенов.

Химический анализ подтверждает некоторое различие между описанными разновидностями. Вероятно, они занимали различное положение в магматической колонне. Андезиты второго типа прилегают по свойствам к пемзе первых этапов извержения.

В заключение нужно сказать, что материал пирокластических потоков мало отличается от сходных по генезису пород древних извержений Шивелуча и является продуктом дифференциации андезитобазальтовой магмы.

Отложение раскаленного материала пирокластических потоков на большой площади вызвало мгновенное таяние снега и образование лахаров. Наиболее мощные и протяженные грязевые потоки соответствуют Западному и Восточному пирокластическим потокам, достигшим тех участков подножия Шивелуча, которые не были засыпаны взрывным материалом. Лахары пронесли узкими (300—400 м) потоками на расстояние 2—3 км, срезая деревья и увлекая с собой крупные глыбы. Высота их, судя по отметкам на уцелевших деревьях, достигала 3 м. Ниже, на более пологих участках подножия, лахары оставили свой груз в виде нагромождений из стволов деревьев и глыб и широко разлились по лесу, продвинувшись еще на 5—6 км, ничего не разрушая.

Сравнительно небольшой объем ювенильного материала и отсутствие в это время года мощного снегового покрова объясняют такую незначительную роль лахаров в извержении 1964 г.

Воздушная волна взрыва и вулканическое дрожание

Исходя из записей микробарограмм, был сделан вывод, что «при извержении вулкана Шивелуч 12.XI 1964 г., в отличие от извержения вулкана Безымянного 31.III 1956 г.¹, не было одного главного взрыва, разрушившего старую постройку, а произошла серия взрывов, непрерывно следующих один за другим» (Токарев, 1967, стр. 18). Такая же точка зрения была высказана и в предварительной публикации (Пийп, Мархинин, 1965). Результаты наших исследований резко расходятся с такой интерпретацией и указывают на одноактный мощный взрыв.

¹ В действительности 30 марта.

Последующий анализ оригинальных барограмм и микробарограмм полностью подтвердил наш вывод.

На оригиналах барограмм метеостанций Ключи, Козыревск, Усть-Камчатск и Ука видна запись только одного взрыва. Смещение в Ключах достигло 2 *мбар* при периоде до 25 *мин*. Определенные энергии по формуле, выведенной ранее (Gorshkov, 1960), дало величину от $0,6 \cdot 10^{21}$ до $3 \cdot 10^{21}$ *эрг*. Среднее по трем станциям (Ключи, Козыревск и Усть-Камчатск) составило $1,8 \cdot 10^{21}$ *эрг*. П. И. Токарев (1967) в результате ошибки при подсчете дал величину на порядок ниже ($2 \cdot 10^{20}$ *эрг*).

На станциях Ключи и Козыревск запись взрыва велась микробарографами ЭДМБ-IV. Из-за конструктивных особенностей приборов чувствительность их на периодах более 2 *мин* резко падает, а колебания с периодом более 30 *мин* не регистрируются (Пасечник, Федосеенко, 1958). Поэтому микробарографы не записали и не могли записать главный взрыв, период которого составил 25 *мин*. Эти приборы зарегистрировали только высокочастотную составляющую воздушных волн, которая и была ошибочно принята за серию относительно слабых взрывов. Интенсивные короткопериодные колебания (10—20 *сек*) продолжались до 8 часов 50 минут, несколько более длиннопериодные колебания (6—7 *мин*) регистрировались до 13 часов.

Точный подсчет энергии короткопериодной составляющей по микробарограммам за время с 7 часов 07 минут до 8 часов 50 минут дает величину $1,14 \times 10^{20}$ *эрг*. П. И. Токарев (1967) привел несколько меньшую величину — 8×10^{19} *эрг*.

Несомненно, на запись главного взрыва наложилась запись последующих, которые сопутствовали излиянию пирокластических потоков. Однако выделить их на микробарограммах не представляется возможным. Может быть, излиянию пирокластических потоков соответствует резкое усиление энергии короткопериодных колебаний с 7 часов 30 минут до 8 часов 20 минут.

В начале статьи уже говорилось, что извержение сопровождалось вулканическим дрожанием. Оно началось в 7 часов 20 минут и на записях сейсмографов Харина имело вначале амплитуду 0,25 *р*. с периодом около 0,5 *сек*. В 7 часов 47 минут амплитуда дрожания превысила 1 *μ*, а период увеличился до 1 *сек*. Максимальная амплитуда (7 *μ*) дрожания отмечалась с 8 часов 8 минут до 8 часов 10 минут. К 8 часам 17 минутам амплитуда вулканического дрожания упала до 1 *μ* (х, а к 8 часам 22 минутам оно полностью прекратилось. Суммарная энергия вулканического дрожания, рассчитанная по сейсмограммам Харина и по графику энергии, приведенному в статье П. И. Токарева (1967, рис. 1, б), оценивается в 1×10^{16} *эрг*. Сам П. И. Токарев дает величину, на порядок большую.

На сейсмограммах, записанных приборами Кириоса в Ключах, амплитуда вулканического дрожания около 30—35 *μ* при периоде 2—3,5 *сек*.

Вулканическое дрожание было записано всеми региональными сейсмическими станциями Камчатки. В Петропавловске на расстоянии 430 км от вулкана амплитуда его была 0,1 μ , с периодом 1,5 сек.

Была сделана попытка определить глубину источника вулканического дрожания по графикам затухания с расстоянием соотношения A/T , где A — максимальные амплитуды поперечных и поверхностных волн, а T — соответствующие периоды. Семейство таких графиков для камчатских землетрясений с разной глубиной очага построено С. А. Федотовым. Но предварительной оценке, выполненной им по нашей просьбе, получалось, что источник вулканического дрожания мог находиться на глубине 90—120 км. Хотя к точности такой оценки нужно подходить с большой осторожностью, остается несомненным, что источник вулканического дрожания, связанного с извержением Шивелуча 12 ноября 1964 г., был достаточно глубоко, во всяком случае подкоровым.

Вулканическое дрожание, которое часто сопровождает извержения, изучено еще в недостаточной мере. Установлено, что оно имеет характер поверхностных волн и связано с различными причинами: со взрывами в кратере, с излиянием лавовых потоков, с близповерхностным перемещением магмы и т. д. Причем установить какие-либо закономерные связи характера интенсивности извержений с особенностями вулканического дрожания пока не удалось. Так, при излиянии лавового потока из побочного кратера Былинкиной в 1951 г. вулканическое дрожание было довольно интенсивным (Горшков, 1954). При таком же по характеру извержении кратера Пийпа в 1966 г. оно было гораздо менее интенсивным (Токарев и др., 1967). При извержении гигантского пирокластического потока 30 марта 1956 г. на вулкане Безымянном (объем по меньшей мере 1 км³) вулканическое дрожание в момент извержения вообще не зарегистрировано, оно появилось 17 час спустя, только 31 марта, и продолжалось до 16 часов 1 марта, хотя вулкан был спокоен (Горшков, 1957), в то же время близкое по характеру и силе извержение вулкана Шивелуч сопровождалось дрожанием.

Во всех известных до сих пор случаях и у нас, и за рубежом вулканическое дрожание имело поверхностный источник и регистрировалось только в непосредственных окрестностях извергающегося вулкана, быстро затухая на расстоянии первых десятков километров.

Насколько нам известно, случай регистрации вулканического дрожания на расстоянии свыше 400 км, отмеченный при извержении 12 ноября 1964 г. на вулкане Шивелуч, и глубинный, подкоровый источник дрожания приводится в мировой вулканологической практике впервые. На вулкане Шивелуч это дрожание особого рода: оно вызвано глубинным (подкоровым) перемещением магматических масс и, быть может, связано даже с источником генерации магмы.

Таким образом, беспристрастный анализ записей воздушных волн и вулканического дрожания, даже независимо от полевых исследований, приводит к вполне определенным выводам.

1. Главным событием на вулкане Шивелуч 12 ноября 1964 г. был гигантский направленный взрыв, а не серия отдельных более слабых взрывов.

2. Вулканическое дрожание имело глубинный (подкоровой) источник и не отражало хода поверхностных эруптивных явлений.

Принимая во внимание эти выводы, приходится признать, что весьма интересная попытка П. И. Токарева (1967) выделить различные фазы в ходе извержения, дать их длительность с точностью до минут и оценить зверность поступления вулканического материала на поверхность в различные отрезки времени базировалась на неправильных предпосылках о многочисленных слабых взрывах и о непосредственной связи вулканического дрожания и его интенсивности с той или иной интенсивностью излияния пирокластических потоков. Исследования по выявлению связей между вулканическими и геофизическими процессами чрезвычайно важны и весьма перспективны, однако они должны учитывать всю сумму фактов и уже накопленный в вулканологии опыт.

В заключение дадим сводку, характеризующую с различные сторон энергетические показатели извержения.

1. Энергия воздушной волны направленного взрыва, определенная по записям барографов трех метеостанций (Ключи, Козыревск, Усть-Камчатск), составляет $1,8 \times 10^{21}$ эрг.

2. Кинетическая энергия взрыва, исходя из объема выброшенной постройки $1,5 \text{ км}^3$ при плотности 2,0 и из средней дальности выброса 7,5 км, оценивается в $1,1 \times 10^{24}$ эрг. Отсюда начальная скорость определяется в 275 м/сек, а начальное давление в 750 атм. Если учесть величину максимальной дальности 10 км, кинетическая энергия увеличивается до $1,5 \times 10^{24}$ эрг, а начальная скорость и давление — соответственно до 310 м/сек и 1000 атм.

3. Тепловая энергия, заключенная в ювенильных продуктах извержения, с учетом их общего объема ($0,75 \text{ км}^3$), начальной температуры (800°) и теплоемкости ($1,1 \times 10^7$ эрг/г), оценивается в $1,3 \times 10^{25}$ эрг.

Отсюда кинетическая энергия взрыва составляет 8—10% тепловой. В воздушную волну перешло около 0,1—0,15% от энергии взрыва (при оценке по записям барографов местных станций).

Хронология и характер прежних извержений

В «Каталоге вулканов Камчатки» (Влодавец и Пийп, 1957) приводятся следующие даты извержений вулкана Шивелуч: 1793 г., между 1790 и 1810 гг., 1854, 1879-1883, 1896-1897, 1925-1930 и 1944—1950 гг. Кроме того, А. Гумбольдт сообщает об извержении в 1739 г.

В первой трети XVIII столетия вулкан Шивелуч не извергался, хотя фумарольная деятельность проявлялась непрерывно С. П. Крашенинников, неоднократно бывавший у подножия вулкана и расспрашивавший жителей о вулканах, отмечает: «...слышал я еще о двух сопках, из которых дым идет, а имянно: о Жупаночской и Шивелуче» (Крашенинников, 1755, стр. 176), но об извержениях ничего не говорит. Далее он добавляет, что «на Нижнешантальском языке огнедышащая гора Апахончичь или Апагачучь, а курящаяся — Суелич» (Крашенинников, 1755, стр. 178). Отсюда, очевидно, и пошло название Шивелуч (как искаженное Суелич) — курящаяся, но не извергающая огонь гора.

А. Гумбольдт (Humboldt, 1858) сообщает об извержении Шивелуча в 1739 г., но в это время на Камчатке находился Крашенинников, который, конечно, не пропустил бы такое явление. Так что эта дата, несомненно, ошибочная.

А. Эрман при описании своего восхождения на Шивелуч в 1829 г. упоминает без каких-либо подробностей об извержениях Шивелуча одновременно с Ключевским вулканом в период между 1790 и 1810 гг. (Егшай, 1848). Данные эти весьма сомнительны: участники экспедиции Биллингса — Сарычева, бывшие в 1780-х и 1790-х годах в Нижне-Камчатске, сообщают о большом извержении Ключевского вулкана в 1789—1790 гг., однако о деятельности Шивелуча ничего не говорится. В 1804—1807 гг. на Камчатке были участники экспедиции Крузенштерна; в частности, в пос. Ключи долго жил естествоиспытатель Лангсдорф, в 1809—1811 гг. по Камчатке ездил капитан В. М. Головнин. Никто из указанных лиц не упоминает об извержениях Шивелуча. Позже, до 1821 г., Ключевской вулкан практически находился в состоянии покоя, никаких сведений о деятельности Шивелуча до 1854 г. также нет. Нам представляется вполне очевидным, что даты извержения Шивелуча между 1790 и 1810 гг. ошибочны.

Дата 1793 г. со ссылкой на А. Перрея (Влодавец, Пийп, 1957) является также ошибочной. Перрей указывает 1790, а не 1793 г. (Perrey, 1864, p. 289).

Первое достоверно зарегистрированное извержение произошло в ночь с 17 на 18 февраля 1854 г. Об этом, по сообщениям очевидцев, писал К. Дитмар (1901), бывший в это время в г. Петропавловске: «В ночь с 17 на 18 февраля 1854 г. вершина самого северного вулкана полуострова Шивелуча... ввалилась со страшным грохотом, и... началось сильное извержение этого вулкана... Шивелуч, который на памяти человека никогда еще не имел извержения и разве только немного дымился, теперь вошел в полную силу. Еще до этой катастрофы, в октябре и декабре 1853 г. Шивелуч сильнее курился на своей северной стороне, а теперь со всех сторон текли к низу потоки лавы, доходившие почти до р. Еловки. Вулканический песок и пепел падали в таком значительном количестве, что у лежащей напротив деревни Ключей снег был покрыт ими на целый

фут, а дождь тонкого пепла наблюдался даже в Тигиле¹ (Дитмар, 1901, стр. 572).

В этом сообщении не все очень точно. Так, значительно преувеличена мощность пепла, выпавшего в Ключах,— 30 см. Сейчас мощность пепловой прослойки 1854 г. в почвенном разрезе в Ключах составляет 4—5 см. Если считать, что пепел спрессовался в 2—3 раза (как это было после извержения вулкана Безымянного в 1956 г.), то мощность его в 1854 г. вряд ли превышала 10—15 см. Факт излияния жидкой лавы был опровергнут еще Богдановичем в 1897 г., но нужно иметь в виду, что «лавой» местные жители могли называть пирокластические и даже грязевые потоки (так, например, обстояло дело в 1956 г. при извержении вулкана Безымянного). Отложения пирокластических потоков имеются и на южном склоне, и в долинах западного склона.

Извержение 1854 г. было действительно грандиозным. 25 лет спустя священник Ключевской церкви Я. Крахмалев писал: «Заречная сопка «Сивелыч»... в 1855 г.² так сильно горела, что половина ее разрушилась и своими громаднейшими камнями счистила весь лес у подножья, а река³, сломавши лед, прошла. Теперь вид этой сопки мрачный, обезображенный, но вместе и грозный...» (Крахмалев, 1880, стр. 110).

Радиоуглеродная датировка обугленных стволов деревьев из самого верхнего пирокластического потока в борту р. Каменской установила, что он относится к извержению 1854 г. Он протягивается вниз на 17—18 км от кратера. Это дополнительное свидетельство грандиозности извержения 1854 г.

Судя по анализу имеющихся данных, вулкан Шивелуч хранил длительный покой по меньшей мере с начала XVIII столетия, т. е. более 150 лет. По всей вероятности, купол Четвертая вершина до извержения был полным. Взрыв 17—18 февраля 1854 г. уничтожил его почти нацело; образовался большой, около 2 км в диаметре кратер, из которого к югу, востоку и западу хлынули чрезвычайно мощные пирокластические потоки длиной до 20 км. Ниже образовались мощные грязевые потоки, которые на западе дошли до р. Еловки, а на юге — до р. Камчатки, где взломали лед. Пирокластические и грязевые потоки уничтожили большие площади леса у подножия вулкана. Вид Кратерной вершины сильно изменился; обширная депрессия нового кратера внушала мысль, что вершина «ввалилась». В целом извержение 1854 г. было более мощным, чем извержение 1964 г. и было сопоставимо с извержением вулкана Безымянного в 1956 г. или, быть может, превосходило его.

Следующее извержение началось через 25 лет — в 1879 г., о нем сообщает тот же Крахмалев: «...сопка «Сивелыч»... и теперь по вре-

¹ Примерно 200 км к СЗ от Шивелуча.

² В действительности в 1854 г.

³ Р. Камчатка.

менам выбрасывает зонтикообразные столбы пеплу и мелких камней с песком...» (Крахмалев, 1880). Извержение, видимо, продолжалось несколько лет. В сентябре 1882 г. кругосветный путешественник Ф. Гиллемар видел с р. Камчатки, как Шивелуч «выделял значительное количество дыма, который, казалось, выходил из кратера внизу в юго-западной части» (Guillemard, 1886, стр. 169—170). На рисунке также видны характерные клубы извержения. Далее Гиллемар, ссылаясь на японский журнал «Japan Gazette», пишет, что в июле 1883 г. «конус... внезапно раскололся на два, испуская огромное количество лавы, которая стекала по склонам» (Guillemard, 1886, р. 171). Видимо, в 1879—1883 гг. в кратере вырос новый купол, который был затем полностью или частично взорван с образованием пирокластических потоков.

Следующее извержение произошло спустя 14 лет. О нем сообщает Н. В. Слюнин, проезжавший в июне 1897 г. через Ключи. Слюнин писал: «Во время нашего проезда Шивелуч стал более грозным: то закутывался облаками пара и дыма, то своими сильными подземными толчками наводил панику на жителей сел. Ключевского; у самого основания вулкана появились трещины, из которых распространялся удушливый дым» (1900, стр. 167). Видимо, «трещины у основания вулкана» — это раскаленные лавины с пеплово-газовыми облаками над ними. Такие лавины сопровождают рост куполов; может быть, именно при этом извержении образовался купол Центральный. Он появился после 1854 г., так как на его вершине нет ни одного куса пемзы этого извержения. В 1909 г. купол уже был сформирован, а на его склоне у основания «работала» мощная фумарола. К зиме 1897/98 г. извержение уже прекратилось, и К. И. Богданович отмечал, что снег в окрестностях Шивелуча был чистым. Однако состав пепла, выпавшего в марте 1898 г. в Тигиле, отвечал скорее андезиту Шивелуча, чем базальтам Ключевской сопки, как это полагал Богданович. Вероятно, извержение продолжалось и в 1898 г.

Интересное сообщение имеется у А. Н. Державина. В 1909 г. его проводник на Шивелуч — староста дер. Камаки С. А. Ростовцов — рассказал, что «...в 1905 г. от быстрого таяния снегов с Шивелуча с грохотом, слышным в Камаках, хлынула масса воды, произвела в лесу опустошения и промыла овраг в рыхлой почве» (Державин, 1916, стр. 287). Это описание очень напоминает грязевый поток, связанный с извержением горячего пирокластического материала на снег или лед. По всей вероятности, в 1905 г. также было извержение.

Следующее извержение началось в 1928 г. (Новограбленов, 1932а). По данным, полученным немецким консулом во Владивостоке с Камчатки, извержение началось 27 января (Resck, 1928). Оно продолжалось до весны 1929 г. (Новограбленов, 1932в). Другие даты (1925—1927 и 1930 гг.) весьма сомнительны. Ни в отчетах Камчатского краеведческого общества, ни в сообщениях кам-

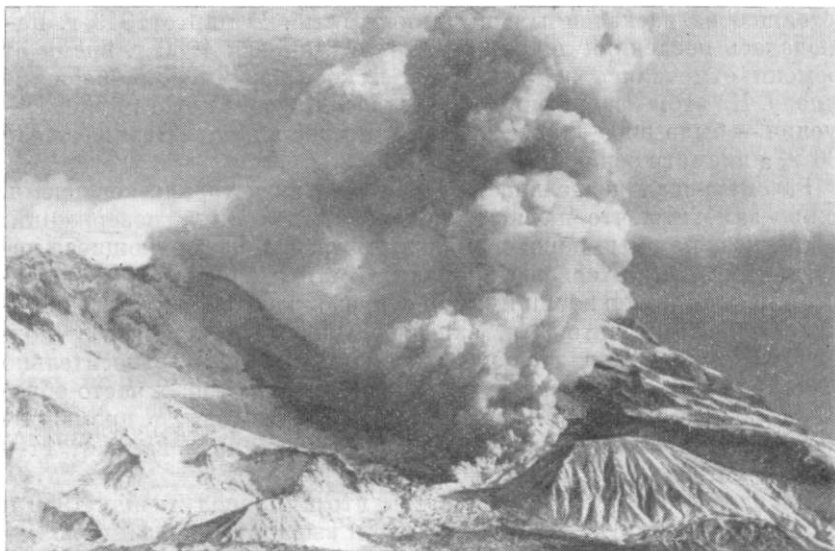


Рис. 15. Раскаленная лавина в сентябре 1948 г.

Фото Г. С. Горшкова

чатского натуралиста П. Т. Новограбленова в «Volcano Letter» они не фигурируют. Извержение 1928—1929 гг. было, видимо, слабым и не внесло существенных изменений в рельеф вулкана, так как сравнение фотографий 1909 и 1949 гг. показывает, что на куполе Центральном с 1909 г. сохранились даже отдельные выступающие на вершине зубцы и камни.

Последнее перед 1964 г. извержение произошло в 1944—1950 гг. Оно было детально изучено и описано сотрудниками Вулканологической станции (Пийп, 1948; Меняйлов и др., 1949; Меняйлов, 1953, 1955; Табаков, 1953; Горшков и Былинкина, 1954).

Первый взрыв был отмечен 23 декабря 1944 г. Постепенно взрывы стали чаще и сильнее. Зимой 1945/46 г. густые эруптивные облака с пеплом нередко поднимались на высоту 5—6 км над кратером. В начале 1946 г. в эксплозивном кратере появился экструзивный купол. К осени 1946 г. он достиг высоты 300—400 м. В 1947 г. купол вырос еще на 100—150 м. С июля 1947 г. формирование его стало сопровождаться раскаленными лавинами, особенности движения которых были изучены с близкого расстояния (рис. 15). Они проходили до 4 км, оставляя отложения в виде хаотической смеси крупных полукатанных глыб и мелкого пепла. Поражала почти полная бесшумность движения раскаленных лавин. Очень характерно присутствие по краям отложений своеобразных узких насыпей из крупных грубо окатанных глыб, напоминающих морену ледника. В конце отложений находилось «ядро» горячей лавины,

состоящее из раскаленных окатанных глыб. В марте 1949 г. наблюдалась последняя лавина. Затем до 6 апреля 1950 г. время от времени отмечались вертикальные и косые взрывы на вершине купола. На этом извержение закончилось. Высота нового купола — Суелич — была 500—600 м, диаметр его вершины составлял около 500 м, а диаметр основания — около 1 км.

Рассматривая деятельность Шивелуча за историческое время, можно заметить, что на нем происходят два типа извержений: 1) кратковременные пароксизмальные взрывы, повторяющиеся через длительные интервалы времени (в сто и более лет) и разрушающие кратерную вершину; они сопровождаются обширными пирокластическими потоками, сжигающими растительность у подножия вулкана; 2) длительные (несколько лет), но относительно слабые межпароксизмальные извержения, при которых часто образуются новые экструзивные купола; они происходят в промежутках между пароксизмальными взрывами через интервалы от 14—15 до 30 лет.

Исходя из этого, можно полагать, что в период между 1980 и 1995 гг. произойдет новое извержение и выдавится новый купол.

Некоторые данные о прошлых пароксизмальных извержениях может дать радиоуглеродная датировка растительных остатков из отложений пирокластических потоков или из мощных слоев пепла. Так, возраст одного из пирокластических потоков в долине р. Каменской в 60 м ниже бровки 1500 ± 170 лет, а самого нижнего слоя пепла от вулкана Шивелуч в пос. Ключи (глубина 2,7 м) 3100 ± 200 лет.

Поиски угля в других слоях пепла и пирокластических потоков могут дать хронологию всех крупных извержений Шивелуча.

Материал для такой работы уже обобщается.

Заключение

Извержение 12 ноября 1964 г. на вулкане Шивелуч относится к категории направленных взрывов. Здесь произошел один (видимо, сдвиговый) чрезвычайно мощный взрыв, а не серия относительно более слабых взрывов, как считалось до наших исследований.

По своей силе извержение Шивелуча принадлежит к наиболее мощным извержениям XX столетия и вполне сопоставимо с извержением вулкана Безымянного 30 марта 1956 г.:

Характер энергии	Вулкан Шивелуч (12.XI 1964 г.)	Вулкан Безымянный (30.III 1956 г.)
Тепловая энергия, эрг	$1,3 \times 10^{24}$	$3,8—4,8 \times 10^{25}$
Кинетическая энергия взрыва, эрг	1×10^{24}	$1,2 \times 10^{24}$
Энергия воздушной волны, эрг	$1,8 \times 10^{21}$	3×10^{22}
Начальная скорость взрыва, м/сек	280—310	360—500
Давление при взрыве, атм	800—1000	1500—3000

Извержение вулкана Шивелуч отличалось кратковременностью. Оно длилось немногим более часа. Материал направленного взрыва вулкана Шивелуч был менее раздроблен, чем при извержении Безымянного, а энергия воздушной волны (при той же кинетической энергии) была на порядок меньше.

Характерной особенностью извержения вулкана Шивелуч была генерация вулканического дрожания особого рода с подкорковым источником. Возможно, источник находился в зоне генерации магмы.

В последние годы на Камчатке произошли и были довольно детально изучены два мощных направленных взрыва — новая категория извержений, выделенная одним из авторов (Горшков, 1962; 1963). Извержения такого типа наблюдались и ранее в других областях, но не были правильно поняты.

Ближе всего к извержению Шивелуча 1964 г. было извержение вулкана Бандай-сан в Японии в 1888 г.

Обычно деятельность вулкана Бандай-сан приводится в качестве примера фреатического извержения. Отложения у северного подножия вулкана рассматривались не как взрывные, а как образовавшиеся в результате обвала или оползня (Sekiya a. Kikushi, 1889). По нашему мнению, здесь произошел направленный взрыв, подобный взрыву на Шивелуче, а все отложения имеют вулканогенное происхождение.

Извержение вулкана Бандай-сан длилось менее часа; произошло 15—20 сильных взрывов, из которых последний имел наибольшую силу и был направлен почти горизонтально в северном направлении. На северном склоне горы образовался глубокий подковообразный кратер шириной около 2,5 км. Было выброшено более 1 км³ рыхлого материала; обломки падали на расстоянии до 9 км от кратера. Обширная межгорная котловина площадью около 70 км² у северного подножия вулкана была погребена под мощным слоем «земли и камней». На месте холмистой поверхности образовалась плоская песчаная пустыня. Поверхность отложений была покрыта тысячами небольших крутых холмиков, что очень характерно для взрывных отложений. На вулкане Бандай-сан образовались также и пирокластические потоки; один из них спустился на 4 км по р. Нагасе, мощность его была до 40 м, второй поток мощностью до 60 м прошел по ущелью Бива-сава на 5 км.

Под отложениями рыхлого материала было погребено пять деревьев. Кроме того, семь деревьев были частично разрушены взрывной волной.

По классификации взрывных извержений, предложенной одним из авторов (Горшков, 1962), извержения вулканов Шивелуча в 1964 г. и Бандай-сан в 1888 г. относятся к «типу Безымянной».

Л и т е р а т у р а

- Виноградов А. П., Девирц А. Л., Добкина 9. П., Маркова Н. Г. Мартищенко Л. Г. Определение абсолютного возраста по C^{14} .— Геохимия, 1959, № 8.
- Влодавец В. И., Пийт Б. И. Каталог действующих вулканов Камчатки.— Бюлл. Вулканол. ст., 1957, № 25.
- Гориков Г. С. Деятельность вулканологической станции в 1949 г.— Бюлл. Вулканол. ст., 1953, № 19.
- Гориков Г. С. Вулканическое дрожание, связанное с прорывом кратера Былинкиной.— Бюлл. Вулканол. ст., 1954, № 23.
- Гориков Г. С. Извержение сопки Безымянной.— Бюлл. Вулканол. ст., 1957, № 26.
- Гориков Г. С. К вопросу о классификации некоторых типов взрывных извержений.— Сб. «Вопросы вулканизма». М., Изд-во АН СССР, 1962.
- Гориков Г. С. Направленные вулканические взрывы.— Геология и геофизика, № 12, 1963.
- Гориков Г. С., Богоявленская Г. Е. Вулкан Безымянный и особенности его последнего извержения 1955—1963 гг. М., изд-во «Наука», 1965.
- Гориков Г. С., Былинкина А. А. Наблюдения над извержением вулкана Шивелуч в 1948—1950 гг.— Бюлл. Вулканол. ст., 1954, № 20.
- Державин А. Н. Работы в Ключевском и экскурсия на Чажму.— В кн. П. Ю. Шмидта, 1916.
- Державин А. Н. Работы в Ключевском районе. Экскурсия на р. Еловку и на Шивелуч в 1908 г. СПб., 1916.
- Дитмар К. Поездки и пребывание на Камчатке в 1851—1855 гг. СПб., 1901.
- Заварицкий А. Н. Северная группа вулканов Камчатки.— Труды СОПС АН СССР, серия камч., вып. 1, 1935.
- Конради С. А., Келль Н. Г. Геологический отдел Камчатской экспедиции 1908—1911 гг.— Изв. Русск. геогр. об-ва, 1925, т. 57, № 1.
- Крашмалев Я. Камчатский вулкан — Ключевская огнедышащая сопка.— Прибавления к Иркутским Епархиальным Ведомостям, 1880, № 9.
- Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки, т. 1. СПб., 1755.
- Меняйлов А. А. Извержение вулкана Шивелуч в 1944—1948 гг.— Бюлл. Вулканол. ст., 1953, № 18.
- Меняйлов А. А. Вулкан Шивелуч — его геологическое строение, состав и извержения.— Труды Лабор. вулканологии АН СССР, вып. 9, 1955.
- Меняйлов А. А., Набоко С. И., Табаков Н. Д., Башарина Л. А. Извержение Шивелуча летом 1946 г.— Бюлл. Вулканол. ст., 1949, № 16.
- Новограбленов П. Т. Каталог вулканов Камчатки.— Изв. Гос. геогр. об-ва, 1932а, т. 64, вып. 1.
- Новограбленов П. Т. Путешествие к вулкану Анаун в Среднем Камчатском хребте в 1929 г.— Труды Тихоокеанск. ком., вып. 3, 1932б.
- Пасечник И. П., Федосеев Н. Е. Электродинамический микробарограф с гальванометрической регистрацией.— Изв. АН СССР, серия геофиз., 1958, № 11.
- Пийт Б. И. Новое эруптивное состояние вулкана Шивелуч с конца 1944 г. по май 1945 г. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях.— Бюлл. Вулканол. ст. на Камчатке, 1948, № 14.
- Пийт Б. И., Мархинин Е. К. Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г.— Бюлл. Вулканол. ст., 1965, № 39.
- Слюнин П. В. Охотско-Камчатский край, т. 1. СПб., 1900.
- Старик И. Е., Шамов В. П., Арсланов Х. А., Жарков А. П., Мурашов Г. М. Сцинтилляционная техника счета естественного радиоуглерода и ее применение к определению абсолютного возраста.— Радиохимия, 1961, т. 3, вып. 1.
- Табаков Н. Д. Наблюдение некоторых моментов извержения вулкана Шивелуч.— Бюлл. Вулканол. ст., 1953, № 18.

- Токарев П. И.* Рой землетрясений вулкана Шивелуч в мае 1964 г.— Бюлл. Вулканол. ст., 1964, № 38.
- Токарев П. И.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 года и его предвестники,— Изв. АН СССР, «Физика Земли», 1967, № 9.
- Токарев П. И., Широков В. А., Зобин В. М.* Сейсмические явления, связанные с извержением побочного кратера Пийпа в октябре—декабре 1966 г.— Бюлл. Вулканол. ст., 1967, № 44.
- Шмидт П. Ю.* Работы зоологического отдела на Камчатке в 1908—1909 гг. Камчатская экспедиция Ф. П. Рябушинского, снаряженная при содействии Имп. Русск. Геогр. Об-ва, Зоол. отдел, вып. 1. М., 1916.
- Abich H.* Geologische Beobachtungen iiber die vulkanischen Erscheinungen und Bildungen in Unter-und Mittel-Italien. Braunschweig, 134 S., 1841.
- BogdanovHtsch K.* Geologische Skizze von Kamtschatka.— Petermanns geogr. Mitt., H. 3, 1904.
- Erman A.* Reise um die Erde durch Nord-Asien und die Leiden Oceane in den Jahren 1828-1830, Bd. 3. Berlin, 1848.
- Gorschkov G. S.* Gigantic eruption of the Bezymianny Volcano.— Bull, volcanol., ser. 2, t. 20, 1959.
- Gorschkov G. S.* Determination of the explosion energy in some volcanoes according to barograms.— Bull, volcanol., t. 23, 1960.
- Guillemard F. H.H.* The cruise of the Marchesa to Kamchatka and New Guinea, v. 1. London, John Murray, 1886.
- Perrey A.* Documents sur les tremblements de Terre et les phenomens volcaniques dans l'archipel des Kouriles et an Kamtschatka. Annales res. sc. phys. et natur., agric. et industr. de Lyon. 3 serie, t. 8. 1864.
- Reck H.* Bericht iiber die jingste Tatigkeit der Kamtschatka-Vulkane.— Z. Vulkanol., Bd. 11, H. 4. 1928.
- Sekiya S., Kikuchi Y.* The eruption of Bandai-san.— J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, v. 3, 1889.