

УДК 551.21

© 1997 г. МУРАВЬЕВ Я.Д., ФЕДОТОВ С.А., БУДНИКОВ В.А.,  
 ОЗЕРОВ А.Ю., МАГУСЬКИН М.А., ДВИГАЛО В.Н.,  
 АНДРЕЕВ В.И., ИВАНОВ В.В., КАРТАШЕВА Л.А., МАРКОВ И.А.

**ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В КАРЫМСКОМ ЦЕНТРЕ В 1996 г.:  
 ВЕРШИННОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ КАРЫМСКОГО ВУЛКАНА И  
 ФРЕАТОМАГМАТИЧЕСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ  
 В КАЛЬДЕРЕ АКАДЕМИИ НАУК**

Представлены материалы исследований деятельности вулканов Карымского долгоживущего вулканического центра на Камчатке в 1996 г. Рассмотрены особенности динамики и вещественный состав пород одновременно начавшихся извержений вулкана Карымский и в кальдере Академии Наук. Эффузивно-эксплозивное извержение Карымского вулкана возобновилось после 14-летнего периода покоя и в течение года поставило через вершинный кратер ~30 млн.т вещества андезиодацитового состава. Предполагается длительная эруптивная активность этого вулкана в ближайшие годы. Одновременно с типичной для Карымского вулкана активностью в 6 км южнее впервые на Камчатке в историческое время наблюдалось субаквальное эксплозивное извержение в озере, занимающем кальдере Академии Наук. За 18 ч извержения в северной части Карымского озера выросла постройка из пирокластического материала базальтового, андезитобазальтового состава с кратером диаметром 650 м. Объем извергнутого пирокластического материала оценивается в 0,04 км<sup>3</sup>, общий вес >70 млн.т. Обсуждены последствия извержений для окружающей среды, описаны оживление гидротермальной деятельности и образование новой группы горячих источников в кальдере Академии Наук, сделаны оценки прорывных паводков из Карымского озера и т.п.

**VOLCANIC ACTIVITY IN THE KARYMSKY CENTER IN 1996: A SUMMIT ERUPTION OF KARYMSKY VOLCANO AND A PHREATOMAGMATIC ERUPTION IN THE AKADEMIA NAUK CALDERA**, by Muravyev Ya. D., Fedotov S.A., Budnikov V.A., Ozerov A.Yu., Maguskin M.A., Dvigalo V.N., Andreev V.I., Ivanov V.V., Kartasheva L.A. and Markov I.A. Data are presented from studies of volcanoes in the Karymsky long-living volcanic center, Kamchatka in 1996. We examine the dynamics and rock composition for eruptions that started simultaneously on Karymsky Volcano and in the Akademia Nauk caldera. The effusive-explosive eruption of Karymsky Volcano was resumed after a 14-year repose period, producing about 30 million tons of andesite-dacite discharges through the summit vent. Long-continued eruptive activity of that volcano is supposed to go on during the near future. Simultaneously with this activity, typical of Karymsky Volcano, a subaqueous explosive eruption was observed in the lake that occupies the Akademia Nauk caldera 6 km south of the volcano for the first time in Kamchatka during the historical period. An edifice arose in the northern part of Lake Karymsky during 18 hours of this eruption consisting of basaltic and basaltic andesite pyroclastic material surrounding a crater of diameter 650 m. The amount of erupted pyroclastic material is estimated as 0.04 km<sup>3</sup>, the total weight being over 70 million tons. A discussion is provided of the impact of these eruptions on the environment; we describe renewed hydrothermal activity and the formation of a new group of hot springs in the Akademia Nauk caldera, and estimate the possibility of breakthrough floods from Lake Karymsky etc.

(Received May 14, 1997)

*Institute of Volcanology, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

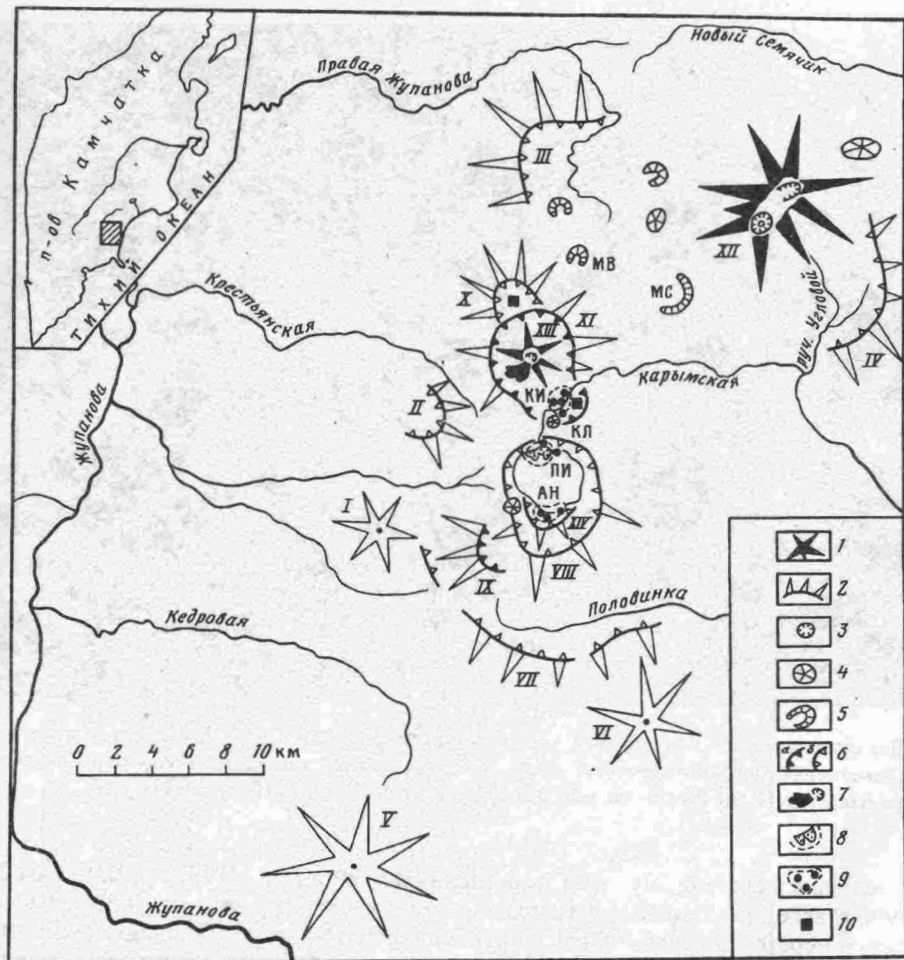


Рис. 1. Схематическая карта расположения основных вулканических сооружений Карымского центра: 1 – действующие вулканы; 2 – средневерхнеплейстоценовые вулканы; 3 – кратеры; 4 – шлаковые конусы и лавовые купола; 5 – маары; 6 – сбросовые (а) и эрозионные (б) уступы обрамления кальдер; 7 – лавовые потоки извержения Карымского вулкана в 1996 г.; 8 – кратер Токарева в кальдере Академии Наук – центр подводного фреатомагматического извержения 2–3 января 1996 г.; 9 – группы термальных источников (КИ – Карымские, ПИ – Пийповские, АН – Академии Наук); 10 – стационары Института вулканологии. Вулканы: I – Крайний, II – Разлатый, III – Соболиный, IV – Стена, V – Жупановские Востряки, VI – Дитмара, VII – кальдера Половинки, VIII – Однобокий, IX – Белянкина, X – Двор, XI – Пра-Карымский, XII – Малый Семьячик, XIII – Карымский, XIV – Академии Наук, КЛ – конус Лагерный, МС – маара Сухого озера, МВ – маар Валентина

Карымский долгоживущий вулканический центр располагается в центральной части Восточного вулканического пояса Камчатки и является одним из самых активных в регионе. Он вытянут с севера на юг в виде эллипса с осями  $50 \times 35$  км и состоит из 21 вулканической постройки разного возраста и морфологии (стратовулканов, кальдер, мааров и моногенных конусов). Из них действующие вулканы – Карымский и Малый Семьячик. К наиболее примечательным сооружениям в комплексе относятся также несколько древних частично разрушенных вулканов-кальдер (Двор, Однобокий, Академии Наук и др.) (рис. 1).

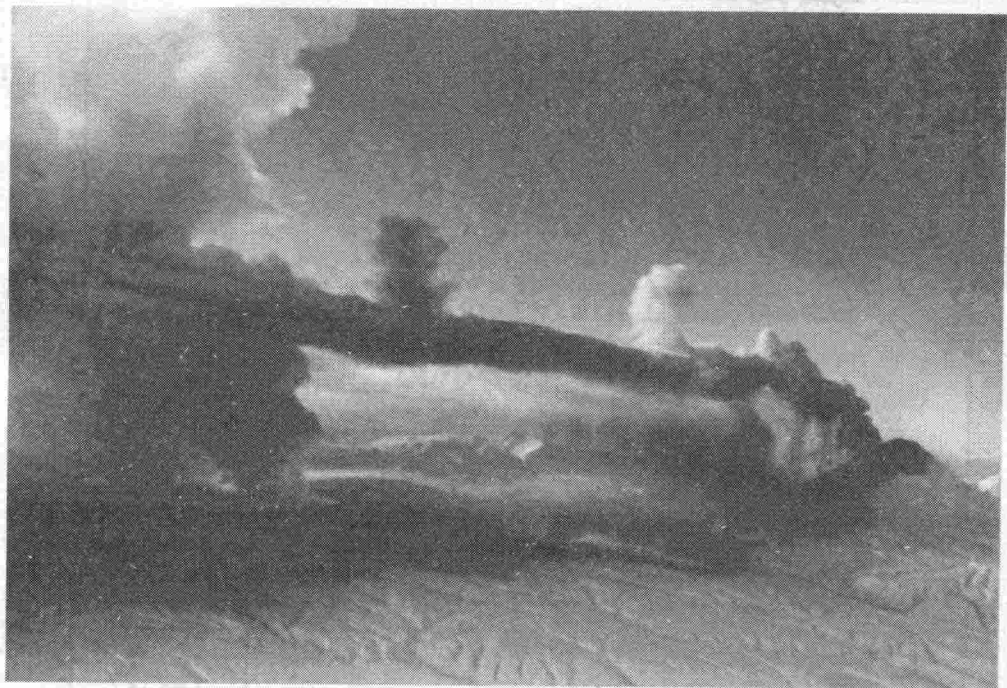


Рис. 2. Два одновременных извержения в Карымском вулканическом центре 2.01.1996 г. Справа – вершинное извержение Карымского вулкана, слева – фреатомагматическое извержение в Карымском озере (кальдера Академии Наук). Расстояние между кратерами 6 км. Фото В.А. Подтабачного

Последнее извержение вулкана Карымский закончилось в 1982 г. [9]. С 1 на 2 января 1996 г. вслед за мощным роем вулкано-тектонических землетрясений здесь после 14-летнего перерыва возобновилась эруптивная деятельность. Главное отличие нового эруптивного цикла этой зоны – одновременная активизация двух центров: подводное извержение в кальдере Академии Наук и извержение Карымского вулкана.

История развития указанного района очень сложна и длительна. В голоцене после сильного кальдерообразующего извержения 7800 лет назад сформировалась Карымская кальдера диаметром 5 км, а ~5000 лет назад в ней начал расти молодой конус [1, 2]. Сегодня это типичный стратовулкан центрального типа, сложенный потоками лавы с прослоями пирокластик. Кратер перед началом извержения 1996 г. располагался на абсолютной высоте 1546 м и имел в плане эллипсоидную форму (размер 120 × 160 м).

Исторические сведения об извержениях Карымского вулкана имеются с 1771 г. За последующие два столетия наблюдалось >20 продолжительных его извержений, которые разделялись периодами покоя до 10 лет. Наиболее мощное эксплозивное извержение произошло 11.05.1963 г., когда под сильный пеплопад попал город Петропавловск-Камчатский (125 км к югу от вулкана). Для этого вулкана характерны эксплозивные или эксплозивно-эффузивные извержения. Состав изверженного материала – андезиты и дациты. В пределах кальдеры фиксируется серия лавовых потоков, начиная с дацитового потока, относимого к извержению 1908 г. Последний эруптивный цикл вулкана – 1970–1982 гг. [9, 12]; в этот период эпизодически изливались небольшие лавовые потоки и происходили умеренные и слабые эксплозии из вершинного кратера. Затем наступил самый длинный период покоя в этом столетии, длившийся до конца 1995 г. включительно.

Кальдера Академии Наук расположена к югу от Карымской. Свое название



Рис. 3. Непрерывное истечение пепла через взрывное жерло в начале извержения Карымского вулкана 2.01.1996 г. Фото Я.Д. Муравьева

она получила в 1939 г. от одного из основоположников отечественной вулканологии В.И. Влодавца [3]. Деятельность вулкана началась ~50 тыс. лет назад. В историческое время извержений не отмечено. Возраст кальдеры оценивается трековым методом в 28–48 тыс. лет [5, 8]. Учитывая проблему точности этого метода абсолютной геохронологии, отметим, что гребень кальдеры несет на себе следы обработки верхнеплейстоценовыми ледниками и возраст кальдеры Академии Наук по крайней мере не менее 20 тыс. лет. Дно ее в настоящее время занято классическим кальдерным озером диаметром до 3,8 км с максимальными глубинами ~66–70 м и площадью водного зеркала 10,7 км<sup>2</sup>. Единственным свидетельством активности вулкана была группа горячих источников Академии Наук на южном берегу озера с грифонами излива на 12,5 м выше уреза воды. Гидротермы характеризовались хлоридно-натриевым составом с минерализацией до 1,3 г/л и температурой в недрах системы >250°C [7].

**Общая характеристика и ход событий.** Извержение Карымского вулкана ожидалось с марта 1995 г., когда станции сейсмической сети Геофизической службы РАН начали фиксировать вулcano-тектонические землетрясения, характерные для подготовки начала вулканической деятельности. Ночью с 1 на 2 января 1996 г. в этом районе началась новая активизация вулканической деятельности. Уникальна она прежде всего тем, что извержения произошли одновременно из двух эруптивных центров: вершинного кратера Карымского вулкана и, что было неожиданностью, из кальдерного озера вулкана Академии Наук [12]. Экспедиция Института вулканологии ДВО РАН проводила исследования с первого дня извержения до начала января 1997 г. и далее.

31 декабря 1995 г. в 19 ч 30 мин (здесь и далее время камчатское, зимнее) в южной части Кроноцкого залива произошло сильное тектоническое землетрясение с магнитудой  $M = 5,8$ . В Петропавловске-Камчатском ощущались толчки силой 3–4 балла. Во второй половине дня 1.01.1996 г. усилилась сейсмическая активность уже в районе Карымского вулкана. В 21 ч 57 мин она завершилась мощным коровым землетрясением с магнитудой 6,9. Последующие двое суток уровень сейсмической активности оставался чрезвычайно высоким, что мешало следить за развитием роя землетрясений и извержений [15, 17].

Непосредственно перед основным землетрясением 1.01.1996 г. и в течение недели после него происходил столь мощный рой землетрясений, что сейсмостанция "Карымская", расположенная на склоне Карымского вулкана, была малоинформативной. Начальная фаза извержения Карымского вулкана и подводное извержение вулкана Академии Наук с трудом прослеживаются по данным удаленных сейсмостанций. Сейсмические явления, связанные с вулканической деятельностью, и начало извержений маскировались сеймотектонической активностью. Очень важные сейсмологические данные будут рассмотрены в отдельных публикациях.

По сообщениям охотников с базы "Кедровой", первые сполохи световых эффектов в районе конуса вулкана Карымский начались вскоре после полуночи с 1 на 2 января. Начало извержения могло быть постепенным. К 10 ч утра 2 января уже было известно, что шлейф пеплопада от вулкана протянулся на 60–70 км на юг – юго-восток в сторону Шипунского мыса.

*Облет 2 января.* Извержения наблюдались во второй половине дня с борта вертолета в течение 1 ч между 15 ч 20 мин и 16 ч 20 мин. Выяснилось, что, во-первых, после 14 лет покоя возобновилась эруптивная деятельность Карымского вулкана и, во-вторых, происходит необычное для современного вулканизма Камчатки подводное извержение в кальдере Академии Наук в северной части Карымского озера (рис. 2).

Рис. 4. Развитие одного из мощных фреатомагматических взрывов в Карымском озере (кальдера Академии Наук) 2.01.1996 г., вторая половина дня: *а* – начальная стадия взрыва, высота поднимающихся "палецобразных" (fingerlike) струй смеси пирокластики, воды и пара до 1 км; справа видно сносимое ветром белое облако базисной волны предыдущего взрыва; *б* – развитие того же взрыва; высота его колоннообразной тучи ~1,5 км; от ее основания расходится очередная базисная волна (base surge). Фото С.А. Федотова

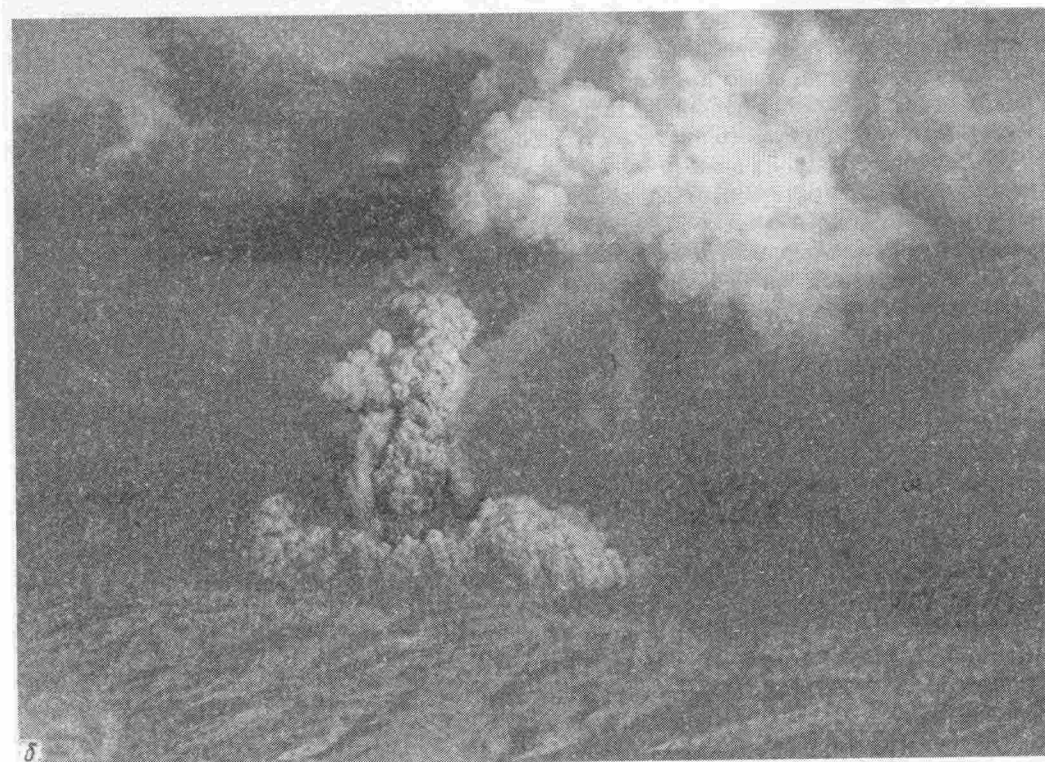
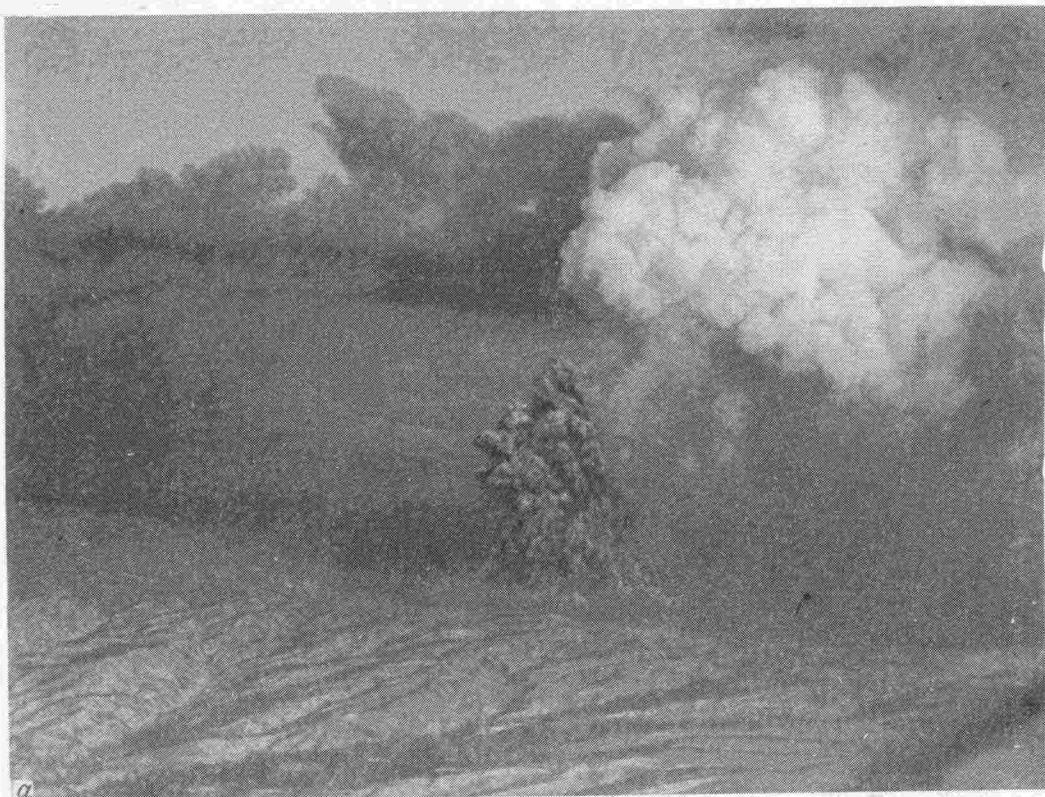


Рис. 4

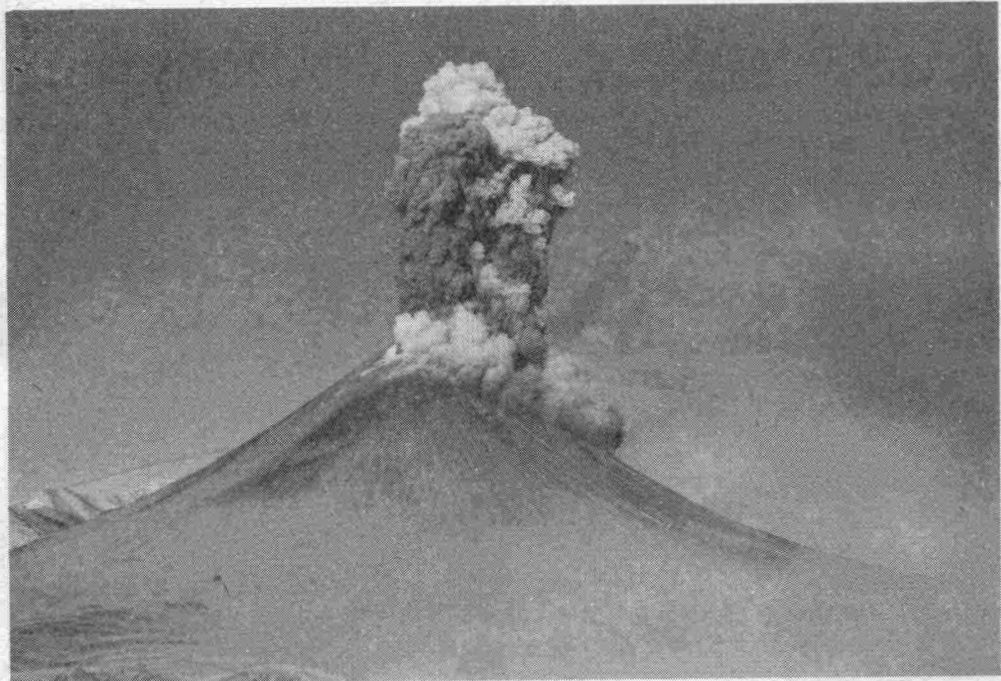


Рис. 5. Сильная эксплозия вулканского типа на Карымском вулкане в первой половине дня 3.01.1996 г. Относительная высота конуса 700 м. Вид с юга. Фото В.А. Подтабачного

На Карымском вулкане в 80 м ниже по склону от юго-западной кромки старого вершинного кратера образовалось эксплозивное жерло диаметром до 20–25 м. Из него фактически непрерывно происходила пепловая эмиссия, сносимая ветром на юго-восток (рис. 3). Полоса пеплопада шириной 2–3 км прослеживалась на заснеженной поверхности вулканического плато восточнее Карымского озера, а непрерывный шлейф эруптивного облака на высоте ~2–2,5 км уходил в этом же направлении к океану. На кромке старого кратера наблюдалась лишь слабая фумарольная деятельность.

Одновременно в 6 км южнее из Карымского озера поднималась мощная парогазовая колонна с диаметром основания до 300–400 м и до 2,5 км и более в высоту. Здесь, в северной части Карымского озера, бурлила со всплесками на несколько десятков метров горячая вода. На поверхности озера отсутствовал ледовый покров, характерный для этого времени года. В среднем раз в 8–10 мин в основании эруптивной колонны происходили мощные нагруженные пирокластикой взрывы (рис. 4), от основания которых распространялись базисные волны [4], сопровождающиеся цунами до 10–15 м и более в высоту. Из озера через каньонообразный исток реки Карымской цунами нагнетали паводковые волны в южную часть Карымской кальдеры, где наводнение перекрывало пойму реки и пологое плоское днище поля Карымских гидротерм (см. рис. 1) слоем воды до 2,2–2,5 м. На замыкающем створе в сужении долины реки около обсерватории Института вулканологии уровень воды поднимался на 2,5 м до 600-метровой изогипсы при ширине потока воды на этом участке до 100 м, образовав временное подпорное озеро.

Сильные местные землетрясения 1 и 2 января, вероятно, сопровождали активизацию долгоживущего глубинного разлома субмеридионального простирания. Судя по поверхностным разрывным нарушениям и дислокациям в сезонном снежном покрове, подчеркнутым многочисленными снежными лавинами и грунтовыми оползнями, сила землетрясений на поверхности могла достигать 9 баллов.

*Облет 3 января и начало экспедиционных работ.* 3 января к середине дня на

Карымском вулкане уже сформировался новый вершинный кратер, соединившийся с юго-западным эксплозивным жерлом в виде амфитеатра, открытого на юго-запад, диаметром ~90 м. Из него каждые 3–5 мин происходили субвертикальные эксплозии вулканского типа до 1,0–1,3 км в высоту (рис. 5), формирующие шлейф в юго-восточном направлении. В отличие от предыдущего дня склоны Карымской кальдеры были присыпаны пеплом во всех направлениях, кроме северо-восточного.

На озере к 11 ч утра в истоках реки Карымская уже появилась черная полоса пирокластических отложений (рис. 6), образовавших новый полуостров со слабыми парогазовыми выделениями из пяти фиксированных выходов (пароотделение из трех воронок на берегу с борта вертолета казалось одной струей), которые располагались линейно, маркируя, по-видимому, питающую трещину извержения. Большая часть озера интенсивно парила по всей площади. На ближайших северных склонах в снегу виднелись многочисленные воронки от бомб до 5–6 м в диаметре и шлейф отложений тифры. Полоса взрывных отложений прослеживалась на расстоянии до 800 м от берега озера.

К вечеру 3 января были начаты постоянные наземные экспедиционные работы Института вулканологии в районе извержений с базированием сначала в кальдере Двор, а с 17 января – в Карымской обсерватории (см. рис. 1). Ниже приведены данные о динамике эруптивной активности в Карымском вулканическом центре за 1996 г. В связи с необычностью и кратковременностью извержения в кальдере Академии Наук сначала изложены материалы по этому событию, а затем рассмотрены результаты исследований извержения вулкана Карымский, продолжающегося до настоящего времени.

**Подводное извержение в кальдере Академии Наук.** Наблюдения во время облетов 2 и 3 января 1996 г. показали, что извержение в северной части Карымского озера было кратковременным. Точное время его начала инструментальными наблюдениями не установлено, так как обилие и мощность сейсмических событий, происходивших 1 и 2 января, заретушировало общую картину. Однако, согласно сообщению А.Г. Коваленкова, при облете Карымского вулкана 2 января примерно в полдень на озере еще ничего примечательного не происходило.

По наблюдениям А.В. Сокоренко (с вершины вулкана Вилючик, 170 км до Карымского вулкана) и Н.П. Смелова (район ворот в Авачинскую губу), парогазовая эруптивная колонна белого цвета в районе вулкана Карымский появилась между 14 и 14 ч 10 мин. Во время ожидания отъезда на первый облет, между 14 ч и 14 ч 30 мин, от здания Института вулканологии также наблюдалось облако белого цвета, видимое через перевал между Авачинским и Корякским вулканами; сначала оно было высоким, а затем расплылось и уменьшилось по высоте на треть от первоначальной.

Исходя из изложенного, реально предположить, что извержение в озере началось в период между 13 и 14 ч. Уже к 11 ч 3 января подводных взрывов не наблюдалось. Во второй половине дня продолжалось бурление воды над серединой нового подводного кратера. Таким образом, сильные взрывы в озере длились <21 ч. По динамике ослабления парогазовой эмиссии из образовавшихся воронок можно предполагать, что извержение в озере прекратилось еще ночью и его продолжительность составила ~18 ч. В результате подводного извержения в прибрежной зоне северной части озера образовалось кольцо пирокластических отложений в виде полуострова, облегающего с севера главный эруптивный центр – кратер диаметром ~650 м (рис. 7). С юга кромка кратера уходит под воду всего на 3–5 м. Внешний южный склон постройки круто погружается в озеро на глубины 50–52 м, в то время как на север отложения базисных волн и цунами сформировали пологий пляж, упирающийся в береговой уступ кальдеры. Эта часть полуострова лежит на 17–18 м над уровнем озера.

Многочисленные цунами сильно размыли рыхлые берега озера, особенно северный, где в 850 м от главного центра эрупции его поверхность понизилась на 2,7 м. Это хорошо видно на примере разрушения геодезического репера на всю глубину заложения в грунте.



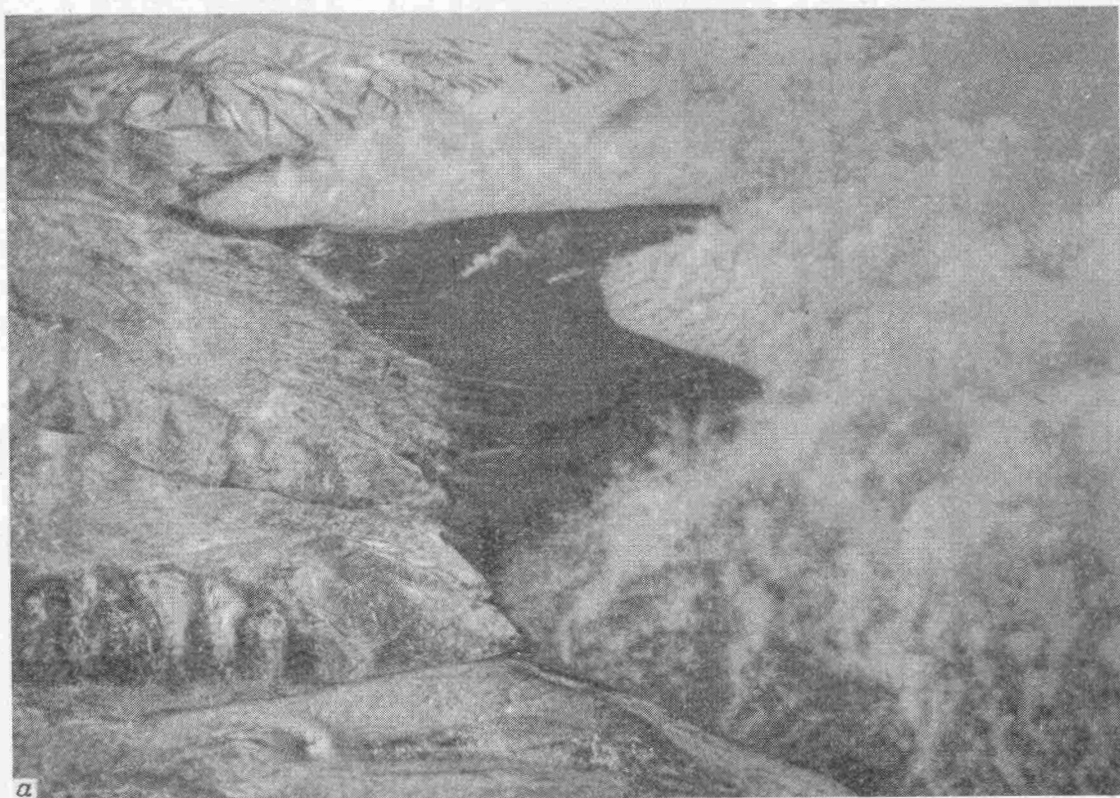


Рис. 6. Новый полуостров в Карымском озере (кальдера Академии Наук), образовавшийся 2–3.01.1996 г. при подводном фреатомагматическом извержении: *а* – через несколько часов после своего возникновения. Сильно парит поверхность озера, температура воды в котором поднялась от 0 до 25°C и выше. На полуострове видна цепочка паровых струй длиной ~400 м, показывающая положение питающей трещины извержения. Вторая половина дня 3.01.1996 г. (Фото С.А. Федотова); *б* – полуостров отложений вокруг главного кратера субаквального извержения в северной части Карымского озера после понижения уровня воды на 3,5 м в результате прорыва плотины в истоке р. Карымская 15.05.1996 г. Диаметр кратера 650 м. На полуострове виден малый кратер (воронка № 4). По берегам озера – пемзовые обрывы, размывы цунами 2–3.01.1996 г. Фото А.В. Сокоренко



б

Рис. 6, б

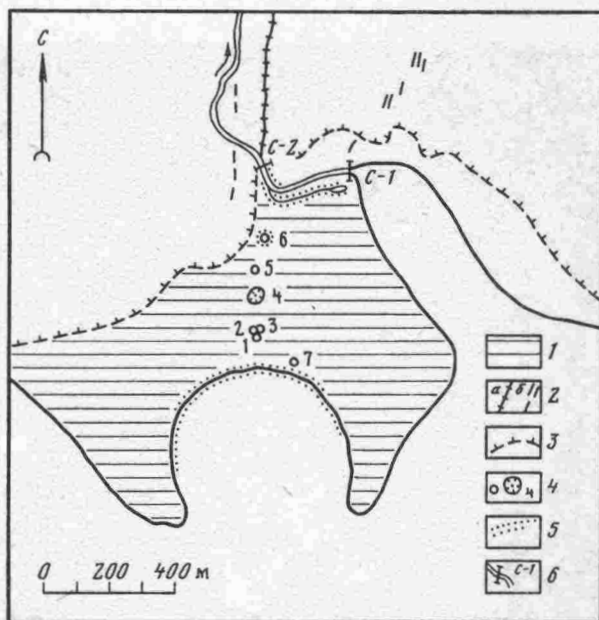


Рис. 7. Схема северной части Карымского озера – район подводного извержения: 1 – надводной части пирокластической постройки; 2 – разлом по правому борту каньона реки Карымская (а – северное продолжение питающей трещины извержения, б – трещины разрывных нарушений при поверхностных деформациях); 3 – граница размыва берега озера цунами; 4 – воронки проседания на полуострове (номера см. в тексте); 5 – термальные площадки и горячие источники Пийповских гидротерм; 6 – гидрометрические створы в истоке реки Карымская

Продукты извержения к утру 3 января перекрыли исток реки из озера, сформировав плотину, через которую в конце января наблюдалась незначительная фильтрация воды с расходом ~20–30 л/с. Согласно гидрологическим измерениям, в течение последующих 4,5 мес. происходило постепенное повышение относительного уровня воды в озере на 1,88 м. 15 мая начался переток воды через плотину с последующим ее размывом и спуском по долине реки в океан в течение 3–5 сут ~35 млн. м<sup>3</sup> кислой (рН 3,1) воды. Мощность паводка была такова, что базис эрозии в истоках реки понизился почти на 1 м в сравнении с относительным уровнем озера до извержения.

Вторично после 3 января половодье перекрыло термальные площадки Карымских гидротерм, причем уровень воды этого эфемерного озера в мае был на 0,9–1,0 м выше, чем 2–3 января, и на замыкающем гидрометрическом створе у обсерватории составил ~3,5 м. Это половодье фиксируется в границах изогипсы 601 м местного рельефа. Паводком на термальное поле был вынесен материал, слагающий дамбу в истоке. Так как на выходе реки из каньона скорость потока резко уменьшалась, то грубые пески его твердой составляющей перекрыли верхнюю половину гидротерм, нарушив или полностью заглушив деятельность многих теплых источников. На берегу океана уровень воды в устье реки поднялся на 1,5–1,7 м выше осенней межени.

*Оценка количества продуктов извержения.* В связи с сильными вертикальными и горизонтальными деформациями в районе извержения возникла нетривиальная задача оценки количества его изверженных продуктов. С учетом этой проблемы суммарный объем поступившего материала  $V_s$  можно рассчитать из уравнения

$$V_s = V_w + V_p + V_r + V_t + V_m, \quad (1)$$

где  $V_w$  – изменение объема озера вследствие подъема уровня воды за счет накопления изверженных продуктов за вычетом вклада снега, растаявшего на берегах озера, и

размытых почвенно-пирокластических отложений в береговой зоне;  $V_p$  – количество пирокластики, слагающее надводную часть новой вулканической постройки в озере на дату завершения извержения;  $V_r$  – объем стока и испарения из озера во время извержения;  $V_t$  – объем тефры, выпавшей за пределами озера;  $V_m$  – объем материала, вынесенного паводковыми водами и лахарами 2–3 января.

Из геодезических измерений в 1972–1995 гг. известно, что в этот период абсолютные отметки уреза воды в озере держались на уровне 623,91 м. Первая нивелировка после извержения, выполненная 29 февраля 1996 г., выявила значительно более высокий уровень воды в озере, который составил 627,13 м над уровнем моря. Путем несложного пересчета имеющихся результатов гидрометрических и метеорологических измерений в январе–феврале установлено, что уровень озера на 3 января 1996 г. составлял 626,5 м над уровнем моря. Следовательно, эта величина превышала уровень озера, бывший до извержения, на ~2,6 м.

Подъем воды в озере происходил из-за поступления в него изверженного материала, пород размытых цунами берегов и талой воды, стекавшей в озеро при таянии снега на берегах озера, а также из-за вертикальных подвижек на дне озера.

По геодезическим данным [15 и др.], вдоль северного берега Карымского озера произошли поднятия и опускания земной поверхности амплитудой до 30–40 см, которые в целом компенсируют друг друга. Точная величина суммарного подъема и опусканий дна озера не известна, но, вероятно, она не превосходит 1–2 млн.м<sup>3</sup>.

По проведенным оценкам, водозапас снега в 100-метровой береговой полосе по 12-километровому периметру озера составлял ~1 млн.м<sup>3</sup>, а объем почвенно-пирокластических отложений шириной в среднем 60 м и мощностью до 3 м, которые были размыты цунами на 3-километровом участке северного берега, равнялся 0,7 млн.м<sup>3</sup>.

Таким образом, вклад неэруптивной составляющей в увеличение объема озера был ~2 млн.м. С учетом этой цифры при площади озера 10,7 км<sup>2</sup> и подъеме его уровня на 2,6 м величина  $V_w$  в уравнении (1) составляет ~26 млн.м<sup>3</sup>.

Объем воды, поступившей из озера в долину реки Карымская, оценим через расчет стока на замыкающем створе около Карымской обсерватории.

Максимальный расход воды, по косвенным оценкам, достигал 500 м<sup>3</sup>/с. Наводнением была залита значительная площадь Карымских гидротерм, а жившая в нижнем течении реки (ниже водопадов) рыба погибла и вынесена в устье на берег океана.

В результате осенних измерений стока из озера на нескольких створах получена зависимость расхода в реке Карымская ( $Q$ ) от площади живого сечения русла ( $F_{ж}$ ), имеющая вид

$$Q = 1,32F_{ж} - 4,1 \text{ [м}^3\text{/с]}. \quad (2)$$

При  $F_{ж}$  на замыкающем створе, равном ~130 м<sup>2</sup>, в течение 2–3 января расход воды из озера в среднем составлял 170 м<sup>3</sup>/с, т.е. за 18 ч извержения русло реки Карымская могло пропустить ~11 млн.м<sup>3</sup>.

Порядок величины испарения воды из озера во время извержения рассчитаем, опираясь на данные работы [14] о содержании паров воды в атмосфере в зависимости от ее состояния, согласно которым максимальная водность характерна для кучевых облаков и меняется от 0,7 до 1,8 г/м<sup>3</sup>, достигая в отдельных случаях 5 г/м<sup>3</sup>. Учитывая, что испарение происходило с более теплой поверхности озера, чем окружающая атмосфера, максимальную величину плотности водяного пара в эруптивном облаке определим в 10 г/м<sup>3</sup>. Средний объем облака пара, формировавшегося при отдельных фреатомагматических эксплозиях, оценим величиной 1,25 км<sup>3</sup> при площади основания эруптивной колонны 0,25 км<sup>2</sup> и высоте 5 км (включая часть образующегося шлейфа). Всего таких взрывов было  $\geq 100$ , и суммарный объем испарившейся воды, по максимальным оценкам, составил 1,25 млн.м<sup>3</sup>, или 0,11–0,12 м слоя воды к площади всего озера. В результате величина  $V_r = 12$  млн.м<sup>3</sup>.

Пеплопадами за пределы акватории озера вынесено гораздо меньшее количество материала; он в основном выпадал обратно в воду озера. Толщина слоя тефры быстро

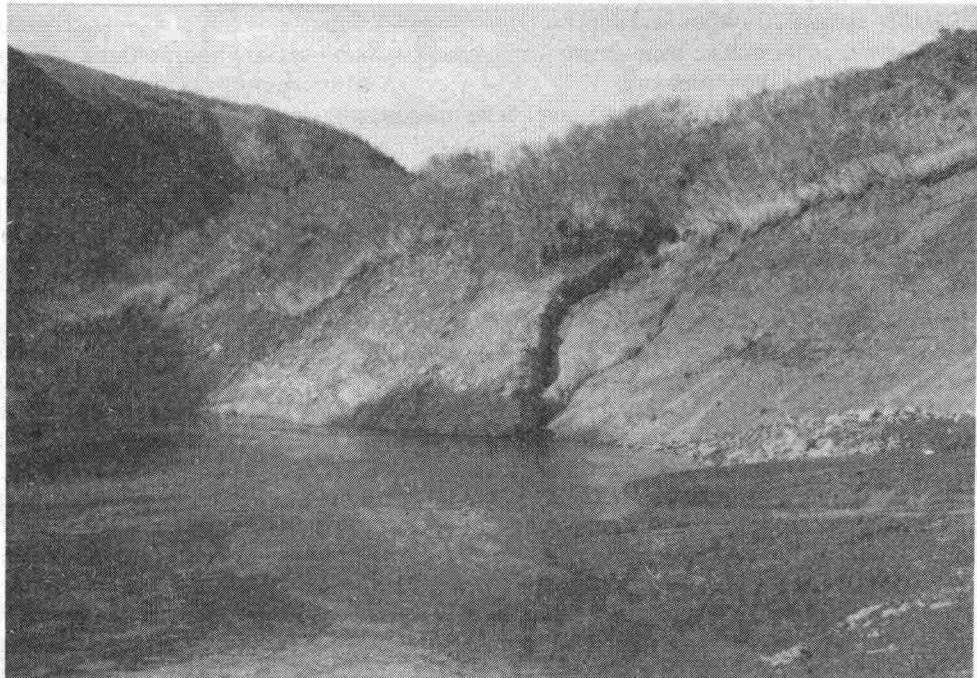


Рис. 8. Разрывные нарушения в борту долины р. Карымская по разлому – результат внедрения базальтовой дайки и сильных сейсотектонических движений 1–2.01.1996 г. Вертикальное смещение >1 м. Фото А.В. Сокоренко

уменьшается с удалением от центра извержения от 20–30 см около северного берега озера до первых миллиметров в 1–1,5 км, и ее количество  $V_l$  вряд ли превысило 1 млн.м<sup>3</sup>.

Почти такое же количество пирокластики  $V_p$  нарастило надводную часть новой постройки на дату завершения извержения при площади образовавшегося полуострова 0,45 км<sup>2</sup> и средней толщине слоя материала над урезом воды 2 м.

Твердая составляющая паводковых волн и лахаров  $V_m$  была существенно меньше и, судя по отложениям на Карымских гидротермах, не превышает 0,5 млн.м<sup>3</sup>. При этом часть материала лахаров представлена голоценовым почвенно-пирокластическим чехлом, который размывался цунами на северном берегу озера.

Таким образом, путем суммирования составляющих из уравнения (1) общий объем изверженного материала подводного извержения оценивается величиной ~40 млн.м<sup>3</sup>.

*Постэруптивная ситуация в районе извержения.* В результате фреатомагматического эксплозивного извержения на дне озера образовался конус, распланный на мелководье и частично поднимающийся над урезом воды (см. рис. 6). Выше отмечено, что образовавшаяся плотина перекрыла исток реки Карымская и происходил постепенный подъем воды вплоть до ее прорыва 15 мая.

На дату максимума уровень воды в озере поднялся с 626,5 до 628,38 м абс. высоты, а затем в результате размыва перемычки к 20 мая понизился до 624,94 м (на 3,44 м). Таким образом, менее чем за 5 сут. озеро потеряло ~35 млн.м<sup>3</sup> воды. К концу лета 1996 г. уровень водного зеркала упал еще на 0,8 м и составил 624,1 м над уровнем моря, что практически совпадает с уровнем озера до 1996 г. (если учитывать вертикальные смещения в районе извержения). В результате падения уровня воды на нескольких участках берега обнажились термопроявления, наличие которых предполагалось ранее только по косвенным признакам [7].



Рис. 9. Мелкие трещины разрывов в 2 км от центра подводного кратера на северном продолжении эруптивной трещины на поверхности лавового потока конуса Лагерный в южной части кальдеры Карымского вулкана. Вертикальные смещения 0,2–0,3 м. Фото А.В. Сокоренко

В конце извержения на поверхности возникшего полуострова образовалась серия небольших просадочных воронок (рис. 7), которые в середине января были заполнены горячей водой с температурой до  $75^{\circ}\text{C}$ . Из них шесть, возможно, трассируют активизировавшийся долгоживущий разлом, по которому в прошлом было заложено ущелье современного истока реки Карымская. Седьмая воронка находится несколько в стороне от этого ряда и ложится на разрывные нарушения, проходящие от центра кратера в сторону конуса Лагерный (рис. 8 и 9) под углом  $15\text{--}17^{\circ}$  на север – северо-восток от питающей трещины извержения. Диаметр воронок 4–6 м, за исключением воронки № 4, имеющей диаметр по верхней кромке 35,5 м. Из последней на заключительном этапе образования произошел фреатический взрыв, образовавший невысокий холм отложений на западной ее кромке.

Химический состав продуктов извержения в кальдере Академии Наук, вес. %

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	П.п.п.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
АН-1	50,48	0,60	20,84	2,08	4,77	0,10	5,48	11,63	2,21	0,48	0,00	0,71	0,14	99,52
АН-2	52,20	0,78	19,00	2,13	6,48	0,06	4,62	11,12	2,51	0,56	0,06	0,00	0,20	99,72
АН-3	67,10	0,56	17,40	0,89	2,50	0,05	0,96	2,86	5,40	1,57	0,20	0,00	0,10	99,59
АН-4	52,00	0,80	18,90	2,75	6,02	0,06	5,28	10,90	2,51	0,60	0,20	0,00	0,20	100,22
АН-5	61,50	0,37	18,80	1,81	1,87	0,05	1,48	8,48	2,22	1,02	0,40	2,20	0,15	100,35
АН-6	57,92	0,60	17,25	2,83	4,32	0,13	2,40	6,40	2,97	1,33	1,20	2,84	0,22	100,41
АН-7	51,80	0,70	18,70	1,99	6,31	0,12	6,38	10,50	2,46	0,60	0,14	0,16	0,20	100,06
АН-9	54,30	0,68	16,50	2,58	2,38	0,05	2,52	9,80	0,24	0,23	1,44	9,26	0,30	100,28
АН-10	56,40	0,74	16,70	2,38	5,46	0,16	4,35	9,20	3,15	1,13	0,00	0,13	0,22	100,02
АН-11	56,40	0,67	17,30	1,98	5,72	0,07	4,25	9,66	2,37	0,86	0,00	0,25	0,30	99,83
АН-12/1	52,28	1,06	18,90	1,24	7,24	0,14	4,94	10,38	2,90	0,69	0,00	0,00	0,09	99,72
АН-12/2	74,50	0,30	13,52	0,35	1,72	0,00	0,24	1,04	3,60	3,88	0,21	0,81	0,06	100,17

*Примечание.* АН-1, АН-2, АН-4 – вулканические базальтовые бомбы с поверхности нового полуострова; АН-3 – метасоматиты донных отложений, вынесенные подводным извержением; АН-5 – пемзы позднеголоценовых извержений Карымского вулкана из почвенно-пирокластического чехла берегов озера (песчаная фракция); АН-6 – тонкозернистый пепел начала извержения; АН-7 – вулканический песок основной фазы извержения в кальдере Академии Наук; АН-9 – обломок измененных вмещающих пород; АН-10, АН-11 – пепел на разном расстоянии от кратера извержения; АН-12/1 – базальтовая оболочка риолитовой бомбы; АН-12/2 – риолитовое пемзовидное ядро бомбы. Из коллекций В.А. Будникова, Я.Д. Муравьева, В.М. Округина. Анализы выполнены в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН. Аналитик Л.А. Карташева.



Рис. 10. Риолитовая бомба в базальтовой оболочке. Размер >1 м. Фото А.В. Сокоренко

После прорыва озера 15 мая, вслед за понижением уровня воды на 3,44 м, пять воронок пересохли, в большой (воронка № 4) осталась вода зеленого цвета с температурой  $\sim 20^{\circ}\text{C}$ ; в другой (воронка № 6) – весь период отмечалась фумарольная деятельность как в самой воронке, так и в пределах 10 м от ее края в восточном направлении.

Позднее при обследовании русла реки Карымская после спуска озера на первом повороте в истоке обнаружено воронкообразное углубление с активным газовыделением и притоком горячей воды через донные аллювиальные отложения.

К концу лета материал извержения, слагающий полуостров, в основном с поверхности остыл, а термальные проявления сгруппировались в 150–200-метровой зоне вдоль питающей трещины извержения в виде обильных высачиваний по внутренней кромке главного кратера и вдоль подножия отложений, вскрытых рекой Карымская в истоке, дающих начало горячему ручью. Согласно водно-балансовым измерениям, на последнем участке в речку поступает  $\sim 0,21 \text{ м}^3/\text{с}$  воды со средней температурой  $58^{\circ}\text{C}$ . В главном кратере разгрузка горячей воды может достигать 130–150 л/с. Максимальная температура воды в восходящих источниках  $92\text{--}97^{\circ}\text{C}$ . По состоянию на апрель 1997 г., за прошедшие 9 мес. заметных изменений в температурном режиме и дебите источников не произошло.

По-видимому, в 1996 г. в пределах постройки извержения происходило формирование новой группы парогидротерм. Эту группу источников предлагается назвать Пийповским в связи с 90-летием со дня рождения Б.И. Пийпа – основателя Института вулканологии ДВО РАН и автора первого крупного труда о горячих ключах Камчатки.

В результате вулcano-тектонических событий в пределах кальдеры Академии Наук произошло оживление гидротермальной деятельности и в районе источников Академии Наук, где в 100–200 м к западу от основной группы возобновилась активность термальной площадки. Здесь образовалось несколько котлов и пульсирующих источников, один из которых действует в гейзерном режиме. Период извержения этого гейзера 15–17 мин, но временами существенно меняется вслед за изменениями метеорологических параметров. Высота выбросов воды достигает 2,5 м.

*Вещественный состав изверженных продуктов.* Материал извержения характеризуется исключительным разнообразием (табл. 1). Свежая пирокластика (пеплы, вулканические бомбы, туфы) на 95–99% представлена преимущественно базальтами (содержание  $\text{SiO}_2$  от 50,5 до 52,5%). В то же время на заключительной стадии извержения начал откладываться материал риолитового состава. Чаще всего он представлен крупными пемзовидными бомбами (содержание  $\text{SiO}_2$  до 75%) в базальтовой





Рис. 11. Ольховый стланик на борту кальдеры Академии Наук на расстоянии 800 м от центра кратера подводного извержения. Кора с внешней стороны стерта пирокластикой базисных волн из кратера, с внутренней – обожжена горячими газами. Фото А.В. Сокоренко

облицовке (рис. 10). Доля риолитов, по разным оценкам, ~0,3–4% общего объема изверженных продуктов. Как базальты, так и риолиты находились в явно пластичном состоянии. Среди продуктов подводного извержения присутствуют донные породы, в том числе метасоматиты – результат подводных гидротермальных изменений, содержащие большое количество сульфидов и глинистых минералов.

Базальты – темные до черного, встречаются плотные и пористые разновидности. Породообразующий минерал – плагиоклаз. Отмечены единичные зерна оливина и пироксена.

Риолиты – серые, светло-серые пористые породы (см. табл. 1), практически без кристаллических выделений; встречаются как в виде одиночных бомб, так и в виде включений в базальтовой "рубашке". Отмечены одиночные бомбы, в которых базальтовые прослои имеют пластичный контакт со слоями дацита. Размер пор – от первых миллиметров до 4 см. В некоторых образцах поры не заполнены, в других – все внутрипоровое пространство занимает свежий вспененный базальтовый шлак. Встречаются бомбы, в которых поры заполнены черным глинистым веществом. Возможно, оно было захвачено при прохождении раскаленного риолита через водную толщу озера, насыщенную взвесью твердых частиц.

Базальты, по классификации Г. Гилла [16], относятся к среднекалиевой серии, а по отношению  $FeO^*/MgO$  попадают на границу между известково-щелочными и толеитовыми сериями. В отношении риолитов следует отметить, что они находятся в поле высококалиевых пород и характеризуются отчетливым толеитовым отношением  $FeO^*/MgO$ .

Судя по распределению изверженного материала и стратиграфии отложений, слагающих полуостров, представляется следующая вероятная картина хода извержения.

Начальный этап характеризовался мощными фреатическими взрывами, связанными с прорывом базальтов и ювенильных газов по трещине извержения и глубинному разлому. В результате был растоплен лед на озере и вынесены обломки измененных

пород, слагающих дно озера, до 4–5 т весом на расстояние до 1,3–1,5 км от эруптивного центра. О температуре прорвавшихся газов свидетельствует термическое повреждение коры ольхового стланика (рис. 11) на северных берегах озера в 600–800 м от эруптивного центра (степень термического поражения отвечает кратковременному температурному воздействию ~ 300–400°C). Слегка обугленная кора сохранилась лишь на внутренней стороне ствола, в то время как с внешней – до белизны ободрана пирокластикой базисных волн.

По-видимому, затем в течение небольшого периода времени (первых десятков минут) из озера поступала непрерывная струя пирокластики – мелкораздробленного пепла андезитового состава (образец АН-6, табл. 1), который представляет собой смесь базальтового пепла с тонкой фракцией пемзовидного риолитового материала или раздробленных вмещающих пород. Часть его была отложена на снежный покров прилегающих бергов, а основная масса вынесена паводками и лахарами на поле Карымских гидротерм или впоследствии осела на дне озера.

Во время облета 2 января лед на поверхности озера уже отсутствовал и из-под воды каждые 6–10 мин происходили нагруженные мощные взрывы (по оценкам С.А. Федотова, расход материала в питающей трещине мог превышать 830 т/с) (см. рис. 4). Базисные (или основные) пирокластические волны взрывов накатывались вместе с цунами на прилегающие берега, размывая их и формируя толщу пирокластических отложений. Крупные эксплозии сопровождалась сериями меньших по размерам взрывов, рассредоточенных вдоль зоны сейсмотектонических нарушений. Затем по мере ослабления эксплозий начал откладываться вулканический песок с некоторой тенденцией к постепенному росту размерностей частиц до шлаковидных лапилли. Состав этого материала уже близок к базальтам (например, образец АН-7; табл. 1) и составляет подавляющую массу изверженных продуктов. На поверхности отложился сплошной слой округлых базальтовых бомб или их обломков диаметром от 7–8 до 25–30 см. Достаточно ясно этот порядок событий прослеживается в разрезе воронки № 4, где четко фиксируются слои отдельных взрывов с базисными волнами и сопровождавшими их цунами.

Количество крупных эксплозий во время подводного извержения как по стратиграфическим, так и по временным оценкам > 100. Разовое поступление материала с такими взрывами достигало 400 тыс. м<sup>3</sup> и более. В результате извержения в Карымском озере на дневную поверхность поступило ~ 40 млн. м<sup>3</sup> вещества. Этот материал в разгар зимы прогрел верхние 15–20 м воды в озере в среднем до 25°C.

Характерной особенностью первого месяца полевых работ в районе извержений было большое количество физических ощущавшихся местных землетрясений силой от 2 до 5 баллов. Без учета сотрясений от взрывов в кратере Карымского вулкана с вечера 3 января по 9 февраля отмечено 15 подобных сейсмических событий. В основном они происходили под кальдерой Академии Наук на глубинах 2–5 км и в здании Карымской обсерватории Института вулканологии, расположенной у подножия Карымского вулкана, ощущались одиночными резкими толчками, приходящими снизу. Магнитуда землетрясений достигала 5,0–5,6. Реакции Карымского вулкана на них не замечено.

Особенности извержения и состава поступивших продуктов поставили много вопросов, на которые сейчас нет однозначных ответов: об источнике или источниках магм, ювенильности базальтов и риолитов, механизме извержения, о связи извержений вулканов Академии Наук и Карымского и др. Часть ответов будет представлена в других статьях по извержению, для иных – необходимы длительные целенаправленные исследования.

**Динамика извержения и вещественный состав изверженных продуктов Карымского вулкана в 1996 г.** Эксплозивно-эффузивное извержение вершинного кратера Карымского вулкана повторяет основные черты, характерные для его деятельности в XX столетии (вулcano-стромболианский тип извержения, излияние лавовых потоков, умеренные пеплопады, длительная эруптивная активность [6, 13]). За прошедший год

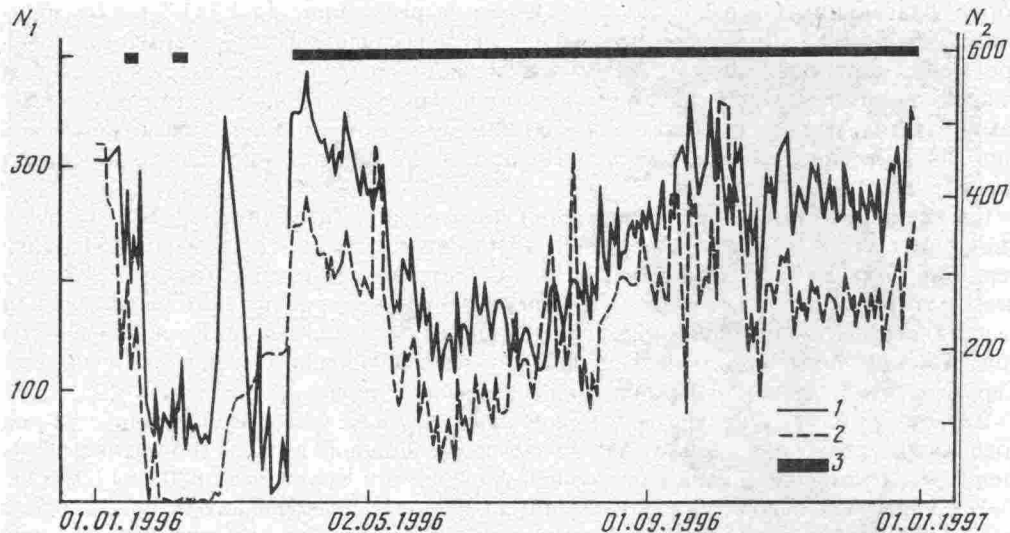


Рис. 12. График сейсмических ( $N_1$ , число событий в сутки) и взрывных ( $N_2$ , число взрывов в сутки) событий на Карымском вулкане в течение 1996 г.; 1 – суточное количество вулcano-тектонических землетрясений под Карымским вулканом в течение 1996 г.; 2 – распределение суточного количества пепловых выбросов за тот же период; 3 – периоды излияний лавовых потоков

в динамике извержения можно выделить этапы с разным характером деятельности (рис. 12).

**Эксплозивный этап (2–11 января).** Извержение Карымского вулкана, ускоренное активными сейсмическими событиями 1 января, по-видимому, началось около полуночи с 1 на 2 января 1996 г. Кратер вулкана под вечер 3 января уже был сформирован в виде амфитеатра диаметром ~ 90 м, открытого на юго-запад. Абсолютная высота дна нового кратера 1480 м. Из кратера происходили субвертикальные эксплозии вулканского типа до 1,0–1,2 км в высоту. Вечером в основании эруптивной колонны часто отмечались электрические разряды (молнии). В эти и следующие сутки происходило спазматическое истечение пеплогазовых выбросов из кратера: 3–5 взрывов высотой от 0,3 до 1,2 км через 3–5 мин. Затем, постепенно ослабевая, в течение 5–10 мин длилась парогазовая эмиссия и цикл повторялся.

4 января с 13 ч из кратера по юго-западному склону начали скатываться небольшие пирокластические потоки и каменные лавины. Некоторые из них достигали борта кальдеры (рис. 13). Изредка происходили выбросы раскаленного материала на высоту 100–150 м. Во второй половине дня сформировался пепловый шлейф на юго-запад и запад с видимым пеплопадом на расстоянии 40–50 км от вулкана. Толщина слоя пепла в трех километрах от вулкана была максимальна на юго-западной кромке Карымской кальдеры и на третий день извержения достигала 30 мм.

В последующие дни (до 13 января) стояла непогода. Временами со стороны вулкана доносились грохот и взрывы, что свидетельствовало о продолжающемся извержении. Отмечалось усиление эксплозивной деятельности во второй половине суток, в период с 13 до 22 ч: частые пеплогазовые выбросы до 1000–1300 м с раскаленными лавинами. В остальное время суток – редкие взрывы и продувки.

**Эксплозивно-эффузивный этап (12–14 января).** 12–14 января на юго-западном склоне появился первый глыбовый лавовый поток. Движение его было активным. При наблюдениях 13 января с расстояния 1 км был слышен устойчивый шум движения лавы, чего позднее не отмечалось.

За трое суток продвижения фронт лавы спустился с высоты 1465 до 1050 м, и в результате первый поток имел длину ~ 600–650 м при ширине до 60–80 м и толщине

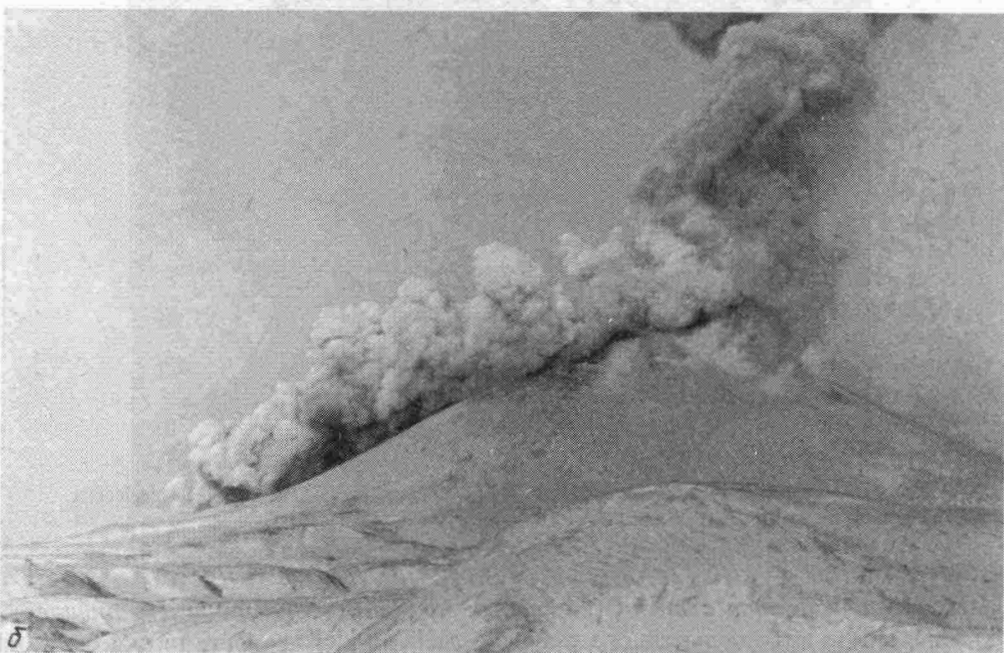
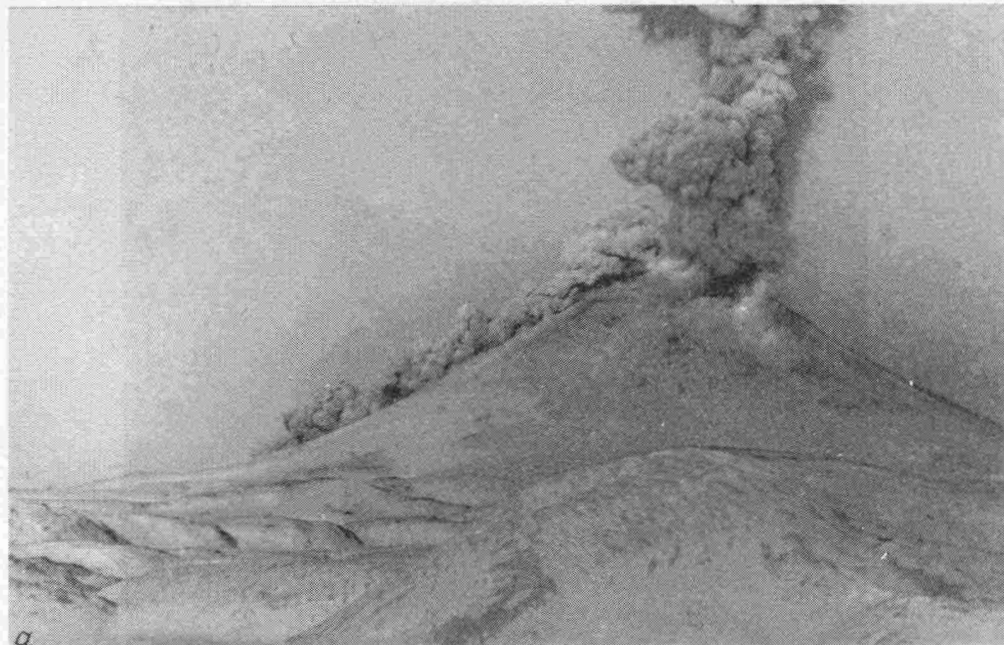


Рис. 13. Последовательные (а, б) снимки (через 30 с) развития одного из пирокластических потоков в январе 1996 г. Длина потока 1300 м. Фото Я.Д. Муравьева

6–12 м. Таким образом, объем одной порции излившейся лавы составил 300–350 тыс. м<sup>3</sup> при средней ширине 50 м и толщине 10 м. Средний расход лавы ( $Q_n$ ) за трое суток излияния составил 1,35 м<sup>3</sup>/с.

К этому времени справа от лавового потока уже было сформировано небольшое поле отложений пирокластических потоков (рис. 14). Кратер вулкана имел диаметр до 120 м.



Рис. 14. Январский лавовый поток (справа) и конус выноса отложений пирокластических потоков. Фото Я.Д. Муравьева

*Эксплозивный этап с эпизодами слабых эффузивных излияний (15 января – 5 апреля).* После кратковременного излияния лавы на вулкане фактически без изменений продолжалась умеренная eksploзивная деятельность. Изредка (раз в 5–7 сут.) наблюдались мощные взрывы, сопровождавшиеся пирокластическими волнами и обрушением раскаленных лавин по всем склонам одновременно. Размер выброшенных из кратера блоков лавы достигал 3–5 м. Так, 16 и 21 января были отмечены два очень мощных взрыва на высоту до 1,5–2 км каждый. Первый произошел в 10 ч 53 мин. В 3,5 км до кратера выпал крупнозернистый вулканический песок с небольшой примесью резургентного материала, а также лапилли (пластинок раздробленной андезитодацитово́й лавы) до 11–12 мм диаметром. Аналогичный материал отложился и при втором взрыве 21 января в 9 ч 24 мин, также на расстоянии 3,5 км от вулкана, но с



Рис. 15. Парогазовая эмиссия из кратера вулкана Карымский в конце января 1996 г. Фото Я.Д. Муравьева

меньшим количеством резургентных частиц. Судя по форме и составу лапилли, происходило дробление лавы в истоках потока с расширением подводящего канала кратера.

С 17 по 22 января вулкан работал в режиме 5–6 взрывов в час с высотой до 500–900 м; в среднем раз в сутки происходил более мощный взрыв с выбросом пирокластики по всем склонам (раскаленные каменные лавины спускались до 1000–1100 м). В этот период диаметр вершинного кратера по верхней кромке достигал 130–150 м.

После 22 января деятельность вулкана приобрела неритмичный характер: умеренные по мощности взрывы сменились перерывами продолжительностью от 30 мин до 2 ч.

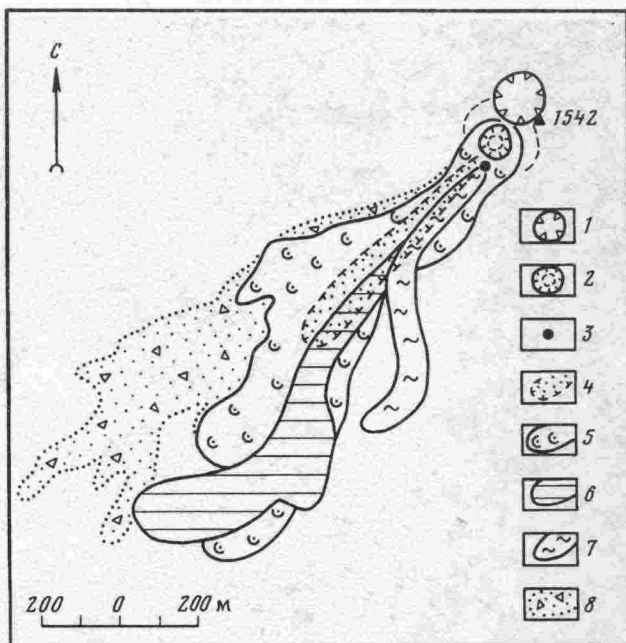


Рис. 16. Схема лавовых потоков вулкана Карымский извержения 1996 г.: 1 – старый кратер вулкана; 2 – активное взрывное жерло; 3 – лавовая бокка; 4–7 – приращение лавового потока по срокам (4 – лавовый поток излияний в январе 1996 г.; 5 – приращение лавового поля в период с 6 апреля по 13 августа; 6 – приращение лавового поля в сентябре–октябре; 7 – активная порция лавового потока на 3.01.1997 г.); 8 – отложения обломочных и пирокластических лавин

27 января с 16 ч на юго-восточном склоне конуса (со стороны Карымской обсерватории) в 200–250 м ниже вершины стали проявляться на фоне снежного покрова две горизонтальные трещины, а через сутки с восточной стороны трещин стали парить фумаролы. По-видимому, произошла просадка по захороненной кромке древнего кратера. Визуально в это же время наблюдалось усиление фумарольной деятельности в кратере – мощное истечение паров и газов по всему его сечению (рис. 15). На следующий день, 28 января, в районе обсерватории отмечено повышенное содержание сероводорода в воздухе, вечером его запах ощущался даже в помещении. Днем наблюдалась мощная вспышка взрывной активности вулкана с усилением в 15–16 ч, когда произошло семь взрывов подряд до 1–1,5 км в высоту с пеплопадом на восток–юго-восток в сторону пос. Жупаново. В последующие дни взрывы стали редкими и больше похожими на "продувки" (пепловый выброс с дальнейшим ослабевающей истечением газов в течение 10–12 мин). В редкие просветы облачности отмечалась мощная парогазовая эмиссия из кратера.

Во время ослабления пурги 5 февраля с Карымского озера было замечено появление свежих порций лавы по юго-западному склону вулкана. Этот лавовый поток спустился ниже середины предыдущего, наращивая толщину первого потока, и по объему излившейся лавы не превышал 250 тыс. м<sup>3</sup>. В конце февраля этот поток уже не двигался, на нем были видны оранжевые, желтые и сине-зеленые возгоны около действующих фумарол. Средний расход поступления лавы 5–7 февраля составил 0,96 м<sup>3</sup>/с. Общий объем двух лавовых потоков извержения не превышал 0,6 млн. м<sup>3</sup>.

В период 5–11 февраля пепловые выбросы отмечались реже, не более 2–3 в день. 12–15 февраля вулкан работал единичными взрывами с 1–2-дневными перерывами. Следующую неделю в среднем происходил один паропепловый выброс в сутки на высоту до 300–500 м, после которого в течение 7–10 мин шла парогазовая продувка. С

22 февраля активность вулкана постепенно начала усиливаться – до 1–2 взрывов в час. После 29 февраля эксплозивная активность вулкана вышла на стабильный незначительно варьирующий режим с частотой 10–20 выбросов в час, который был характерен для всего последующего периода наблюдений до начала января 1997 г. (см. рис. 12).

*Эффузивно-эксплозивный этап (6 апреля 1996 г. – январь 1997 г.).* 6 апреля из кратера началось излияние лавы, продолжавшееся до 3.01.1997 г. и далее. Это пока самый большой лавовый поток, спустившийся с высоты 1465 м несколькими языками до отметок 870–880 м (рис. 16 и 17, а). Средняя мощность этих порций в нижней половине ~ 20–25 м. Движение языков лавы было очень медленным, изменяясь от 2 до 25 м/сут. Максимальная скорость достигала 50 м/сут. В этот период, 25 мая и 13 августа, была выполнена аэрофотосъемка района извержения.

К 25 мая 1996 г. лавовый поток спустился до отметки 893 м. Его протяженность составила 1500 м. На уровне горизонтали 1100 м наибольшая ширина 300 м. Мощность потока менялась от 10 м у истока лавы до 26 м вблизи фронтальных участков. Площадь лавового поля вместе с небольшим конусом вокруг активного жерла 259 730 м<sup>2</sup>, объем 0,0045 км<sup>3</sup>. За вычетом 0,6 млн. м<sup>3</sup> первых лавовых потоков расход лавы в период 6 апреля – 25 мая составлял 0,90 м<sup>3</sup>/с, или 3,9 млн. м<sup>3</sup> за 50 сут. Средний расход лавы с 12 января по 25 мая 1996 г. был 0,39 м<sup>3</sup>/с. С 25 мая до даты второй аэрофотосъемки (13 августа) объем лавового поля увеличился до 0,0068 км<sup>3</sup>. Расход лавы 25 мая – 13 августа 1996 г. был в среднем 0,36 м<sup>3</sup>/с. Фронтальная часть сместилась до отметки 878,7 м. Протяженность поля практически осталась прежней, однако его наибольшая ширина выросла до 360 м.

В дальнейшем происходило наращивание объема и площади лавового поля на высотах ниже 1200 м за счет смещения русла потока. Лава, поступая из бокки, сначала движется по хорошо выраженному руслу с четкими бортовыми валами. Ширина активной части потока на истоке 5–7 м и в центральной части ~ 10–15 м. На высотах 1100–1200 м лавовый поток эпизодически прорывал или переваливал через борта русла предыдущих потоков, формируя новые наступающие языки лавы. К концу ноября очередная порция, прорвав изгиб русла лавового потока в центральной части, медленно спускалась к фронту остановившегося октябрьского потока, не выходя за пределы лавового поля. При облете 3.01.1997 г. обнаружено, что новая порция лавы начала приращивать поток с востока на высотах 1050–1250 м (рис. 17, б).

По двукратным измерениям приращения лавового потока на его фронте 4, 9 и 16 сентября  $Q_d$  также равнялся 0,34 м<sup>3</sup>/с, поэтому данная скорость поступления материала через лавовую бокку принята постоянной и в последующий период. Исходя из этого, за первый год извержения (к 3.01.1997 г.) общий объем эффузивов близок величине 11,1 млн. м<sup>3</sup>.

Об интенсивности эксплозивной деятельности в течение года можно судить по данным режимных наблюдений за пепловыми выбросами во время экспедиционных работ и динамике суточного количества вулканических землетрясений под вулканом (см. рис. 12). В режиме отмечается неравномерность эксплозивной активности вулкана в первую половину года, с максимумом в начале извержения и минимумом в середине февраля. В дальнейшем амплитуда вариаций уменьшилась, и до конца года количество пепловых выбросов оставалось устойчиво высоким.

В начале извержения были взрывы и продувки с гулом, сопровождаемые выбросами пирокластики – бомб, лапилли и пеплов. Размеры бомб до 1 м, редко до 1,5 м или более. Дальность разлета – первые сотни метров, высота максимальных выбросов в течение всего периода наблюдений не превышала 300–350 м. Большая часть бомб падала на конус и некоторые скатывались к его подножию, т. е. оставались в радиусе 1 км от кратера. Были сравнительно редкие периоды, когда бомбы распространялись на расстояние до 1,5 км от центра извержения, как это было, например, 16 января или 5 мая. В основном же большая часть эксплозий – это бесшумные умеренные и слабые по мощности пепловые выбросы.





Рис. 17 а

Сейсмическая активность, связанная с указанными процессами, была представлена в основном событиями двух видов: вулcano-тектоническими землетрясениями и взрывными вулканическими землетрясениями. Временами при некоторых вулканических взрывах на Карымском вулкане также отмечалось вулканическое дрожание.

Синхронные выборки этих показателей продемонстрировали хорошую связь между ними (коэффициент корреляции  $\sim 0,80$ ), что позволяет с приемлемой точностью оценить количество пепловых выбросов за год величиной  $\sim 85\ 000$  при среднем значении 230 взрывов в сутки. Количество эксплозивного материала, вынесенного во время извержения Карымского вулкана в 1996 г., подсчитывалось двумя методами:

а) по эмпирической формуле С.А. Федотова [11],

$$Q_a = (H/1,87)^4 \cdot 10^{-9}, \quad (3)$$

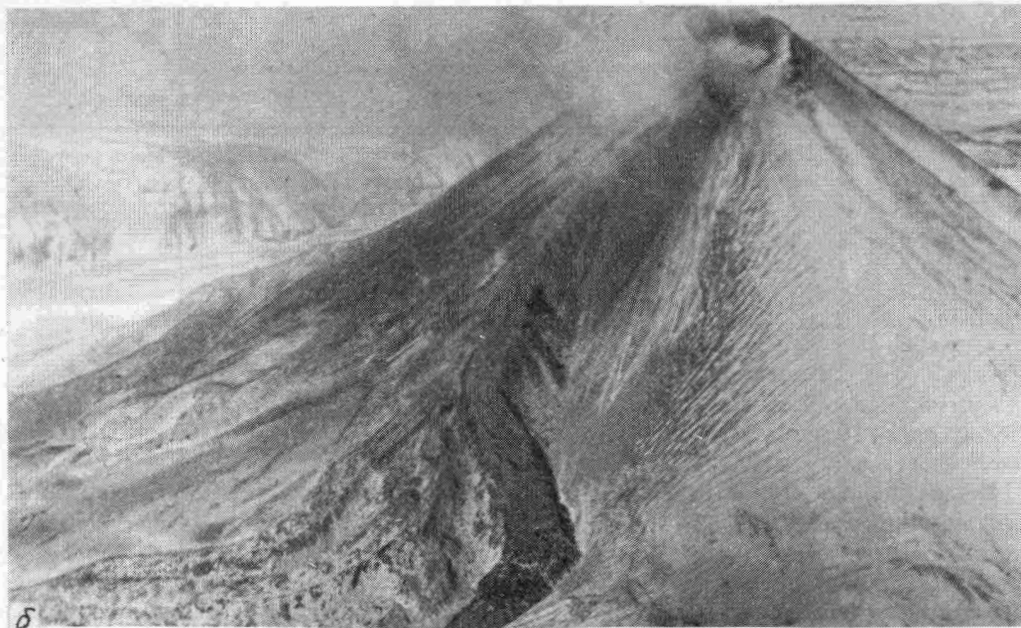


Рис. 17. Положение наступающих порций лавового потока Карымского вулкана: а – 6.10.1996 г. (фото А.В. Сокоренко), б – 3.01.1997 г. (фото В.А. Будникова)

где  $Q_a$  – количество пепла в выбросе, т;  $H$  – высота подъема эруптивной колонны, м;

б) по результатам измерений толщины и веса пироклаستيку на разном расстоянии от вулкана.

Согласно визуальным наблюдениям, число взрывов по высоте подъема пепла имеет следующее распределение: 5% – до 1300 м, 10% – до 1000 м, 25% – до 500 и 60% – не более 300 м. На основе установленного распределения количества выбросов общий вес извергнутого пепла, рассчитанный по формуле (3), составляет 2,5 млн. т/год. Дополнительно также принято, что за первые 2–3 сут. извержения при непрерывной подаче материала вынесено еще ~ 0,6 млн. т (расход оценивался в 2–3 т/с). Начиная с 4 января, в течение 1 мес. многократно наблюдалось формирование небольших пирокластических потоков, образовавших конус выноса отложений площадью 0,3 км<sup>2</sup> и средней мощностью 0,5 м (1,5 млн. м<sup>3</sup>) при средней плотности материала потоков 1500 кг/м<sup>3</sup>, т. е. общий вес взрывных продуктов за 1996 г. с учетом взрывов первых дней, дальнейшей взрывной активности и отложений пирокластических лавин и потоков составил ~ 5,0–5,5 млн. т. Результаты расчетов вторым методом дали сопоставимые оценки.

В начале извержения пеплопады распространялись на расстояние до 60 км в основном на юго-восток и юго-запад. В дальнейшем пепел выпадал по всем направлениям. В основном материал был очень мелким, поэтому, несмотря на незначительную мощность взрывов, отложение его было более равномерным с удалением от кратера, чем обычно. В табл. 2 приведены результаты подсчетов общего за год количества пепла по измерениям толщины пироклаستيку на разном расстоянии от вулкана. По указанным данным, суммарная площадь пеплопадов ~ 9000 км<sup>2</sup>, а масса пироклаستيку с учетом материала пирокластических лавин и шлейфа бомб на склоне конуса – 6,3 млн. т. Следует отметить, что часть пепла (до 300 тыс. т) в 1,0–1,5 км зоне вокруг северного берега Карымского озера может быть отнесена к извержению в кальдере Академии Наук.

Таким образом, количество рыхлых продуктов извержения вулкана в 1996 г., подсчитанное двумя независимыми методами, составляет 5,5–6 млн. т., а индекс взрывности ~ 20%.

Распределение пирокластики извержения вулкана Карымский  
в 1996 г.

Радиус зон пеплопада, км	Площадь зоны пеплопада, км <sup>2</sup>	Толщина пепла в зоне, см	Средний удельный вес пепла в зоне, кг/м <sup>2</sup>	Масса пепла, тыс. т
1,5	7	6,0	60	500
4,0	50	2,0	22	1100
10,0	250	1,0	10	2500
50,0	8520	0,3	3	250
Сумма	8850	—	5	4350

Суммарный объем материала, изверженного Карымским вулканом в течение 1996 г., равен 16 млн. км<sup>3</sup>. При средней плотности лавовых потоков 2200 кг/км<sup>3</sup> общая масса лавы и пирокластики за этот период составила 30,4 млн. т.

**Вещественный состав изверженных продуктов.** Твердые продукты извержения вулкана Карымский в 1996 г. отвечают по составу андезитам и ничем существенно не отличаются от материала умеренных эксплозивно-эффузивных извержений предыдущего эруптивного цикла [12]. Они представлены пеплами, бомбами и лавой. В отличие от материала подводного извержения в кальдере Академии Наук пеплы и вещество лавовых потоков Карымского вулкана отличаются однородностью (табл. 3 и 4).

*Краткая петрографическая характеристика.* Л а в а. Лавы начала нового эруптивного цикла представлены как плотной, так и пористой разновидью. Порода потоков плотная, темная с многочисленным мелким светлым плагиоклазом во вкрапленниках и с менее плотной маломощной пористой шлаковой частью. Среди обломков лав выделяются две разновидности: окатанные глыбы размером 0,5–1,5 м – черные, гладкие, с кристаллами плагиоклаза; бурые, ожелезненные, местами пористые обломки блоков, размером до 4 м. Главным породообразующим минералом в них является плагиоклаз; его количество изменяется в пределах 20–25%, размер отдельных зерен 3–5 мм. В крайне незначительном количестве отмечены выделения оливина и пироксена.

Текстура плотной части лавового потока массивная, структура порфировая, гламеропорфировая. Порфировые выделения составляют ~ 5 об. %, представлены плагиоклазом (3%), клинопироксеном (1,5%), магнетитом (0,5%). Гломеропорфировые выделения имеют мономинеральный (плагиоклазовый) и полиминеральный состав (плагиоклаз + клинопироксен, плагиоклаз + магнетит, клинопироксен + магнетит, плагиоклаз + клинопироксен + магнетит). Размер гломеропорфировых выделений достигает 3 мм.

Плагиоклаз образует бесцветные таблитчатые и лейцитовидные кристаллы размером от 0,3 до 2,5 мм, встречаются обломки кристаллов и зерна с неровными, как бы изъеденными краями, иногда концы кристаллов расщеплены. Кристаллы зональные, полисинтетически sdвойникованы. Часто встречаются включения неправильной формы основной массы и мелких кристалликов клинопироксена.

Расположение включений основной массы часто контролируется зональностью кристаллов плагиоклаза. Клинопироксен образует слабоокрашенные в бледно-зеленоватые тона призматические кристаллы размером от 0,3 до 1,5 мм. Хорошо наблюдается спайность в двух направлениях. Встречаются простые и полисинтетические двойники.

Магнетит представлен октаэдрическими кристаллами размером 0,1–0,4 мм, образуя отдельные фенокристаллы и гломеропорфировые сростки с другими минералами.

Основная масса породы имеет микролитовую структуру. Сложена она бледно-бурым вулканическим стеклом (50–55%), микролитами плагиоклаза и клинопироксена и мелкой сыпью рудного минерала (магнетита). Размеры микролитов 0,01–0,015 мм.

Химический состав пеплов вулкана Карымский (извержение 1996 г.), вес. %

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	П.п.п.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
КЛ-43	62,48	0,63	16,21	2,95	3,00	0,10	1,92	5,52	3,58	1,30	0,44	1,96	0,25	100,34
КЛ-44	60,37	0,87	17,89	2,60	3,83	0,05	2,04	6,40	3,66	1,28	0,28	0,52	0,19	99,98
КЛ-5	61,00	0,95	15,90	2,19	4,03	0,05	2,12	6,16	3,52	1,43	0,30	1,90	0,35	99,90
0301	61,26	0,84	19,05	0,92	3,86	0,10	1,72	5,50	3,70	1,82	0,26	1,18	0,19	100,40
КЛ-1	62,00	0,90	15,10	1,01	7,49	0,10	2,38	5,06	3,64	1,57	0,12	0,00	0,45	99,82
КЛ-2	61,40	0,95	15,40	1,38	7,46	0,13	2,12	5,40	3,83	1,54	0,14	0,00	0,45	100,20
КЛ-4	62,20	0,96	16,10	2,00	4,20	0,10	2,12	5,94	3,87	1,55	0,16	0,00	0,50	99,70
2201	61,06	0,98	17,94	3,96	2,65	0,14	2,44	6,28	3,23	1,44	0,09	He	0,20	100,41
												обн.		
1802	62,40	0,81	15,89	2,50	3,88	0,05	2,02	5,16	4,11	1,89	0,00	0,80	0,22	99,73
2202	63,00	0,80	14,50	2,94	2,80	0,05	1,74	5,68	4,05	1,88	0,42	1,82	0,23	99,91
2902	63,20	0,80	14,90	3,06	2,64	0,08	1,71	5,62	3,79	1,76	0,46	1,54	0,24	99,80
0103	62,50	0,72	16,53	2,48	3,04	0,07	1,58	5,22	3,99	1,76	0,28	1,30	0,28	99,75
2403	63,50	0,89	15,83	2,34	4,41	0,13	1,63	3,96	3,53	1,73	0,18	–	0,24	99,52
0804	63,05	1,01	16,42	2,20	4,32	0,12	1,19	4,47	3,58	1,69	0,20	–	0,25	99,69
1804	61,96	0,96	16,60	2,17	4,95	0,14	2,16	4,75	3,63	1,74	0,17	–	0,25	99,64

*Примечание.* КЛ-43 – вулканический песок первых взрывов извержения, отложенный в 1 км от кратера; КЛ-44 – пеплопад 2–3 января 1996 г.; КЛ-5 – первый пеплопад в 3 км к югу от кратера; 0301 – тонкозернистый пепел из кальдеры Двор (3,2 км от кратера); КЛ-1 – лапилли взрыва в истоках лавового потока 16.01.1996 г.; КЛ-2 – лапилли взрыва 21.01.1996 г.; КЛ-4 – вулканический песок взрыва 21.01.1996 г.; 2201 – пеплопад 21.01.1996 г.; 1802–1804 – образцы пеплов за разные даты (первые две цифры – число, вторые – месяц). Образцы из коллекций В.А. Будникова, Я.Д. Муравьева. Анализы выполнены в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН. Аналитик Л.А. Карташева.

Химический состав лав вулкана Карымский (извержение 1996 г.), вес. %

Образец	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	П.п.п.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
1702/1	60,70	0,82	17,30	1,78	4,20	0,10	2,06	6,80	4,17	1,45	0,10	–	0,25	99,73
1702/2	61,80	0,89	16,20	1,59	4,37	0,14	1,95	6,56	4,22	1,50	Не обн.	–	0,25	99,64
1702/3	62,00	0,86	15,20	4,22	2,35	0,12	2,02	6,22	4,30	1,76	0,00	0,36	0,26	99,67
308	62,40	0,96	15,96	2,22	4,02	0,11	2,14	5,46	3,94	1,77	0,07	0,41	0,26	99,72
0603	62,28	0,89	16,64	1,99	5,47	0,07	1,88	4,62	3,06	1,39	0,52	0,49	0,24	99,54
1604	59,64	0,94	17,50	2,38	3,69	0,10	2,46	6,66	3,88	1,67	0,00	0,35	0,24	99,51
2404	62,00	0,92	16,54	2,30	5,38	0,13	1,92	5,00	3,68	1,63	0,14	0,00	0,25	99,89
2005	61,48	0,89	16,54	2,65	5,56	0,12	1,79	4,62	3,53	1,68	0,18	0,53	0,25	99,82
1007	62,52	0,89	16,92	2,60	4,75	0,05	1,87	4,54	3,63	1,68	0,00	–	0,25	99,70
0409	62,00	0,91	17,15	1,60	5,27	0,08	1,91	5,52	4,25	1,58	0,00	0,00	0,21	100,48
0909	61,40	0,65	16,79	2,76	4,84	0,10	2,16	6,14	3,85	1,38	0,00	0,00	0,21	100,28
1609	60,56	0,70	17,62	1,18	5,90	0,10	1,90	6,62	3,90	1,32	0,10	0,00	0,22	100,19
1/97	58,20	0,84	19,22	2,04	3,86	0,10	2,40	6,75	3,94	1,46	0,08	0,39	0,22	99,59
2/97	59,50	0,88	17,83	2,67	3,48	0,11	2,36	6,64	3,74	1,46	0,11	0,51	0,22	99,51
3/97	59,85	0,92	17,41	3,06	3,36	0,10	2,32	6,26	4,00	1,60	0,07	0,33	0,23	99,51

*Примечание.* 1702/1, 1702/2 – первый лавовый поток (соответственно плотная и пористая разность); 1702/3 – вулканическая бомба; 308 – пирокластический поток; 0603–1609 – образцы лав и бомб за разные даты (первые две цифры – число, вторые – месяц); 0603 – бомба (плотная); 1604 – лава потока № 3; 2404 – бомба (пористая, пемзовидная); 2005 – новая порция потока № 3; 1007 – лава новой порции потока № 3 (плотная разность); 0409 – лавовый поток, августовская порция; 0909, 1609 – свежие лавовые потоки; 1/97–3/97 – свежий лавовый поток 3 января 1997 г. (массивная порфировая, пористая и стекловатая пористая разности соответственно). Образцы из коллекций В.Н. Андреева, В.И. Андреева, В.А. Будникова, В.Е. Быкасова, Я.Д. Муравьева. Анализ выполнен в ЦХЛ Института вулканологии ДВО РАН. Аналитик Л.А. Карташева.

**Гранулометрический состав пепла вулкана Карымский, извержения  
1996–1997 гг., %**

Номер образца	Дата отбора пробы	Фракции, мм					
		> 2,0	2,0–1,0	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,06	< 0,06
Вулкан Двор*							
1	03.01.1996	–	–	–	–	80,0	20,0
Обсерватория**							
2	21.01.1996	–	3,0	32,0	42,0	20,0	3,0
3	03.01.1997	0,5	1,5	13,0	35,0	38,0	12,0

\*3,2 км от действующего кратера.

\*\*3,6 км от действующего кратера.

Структура пористой разности лавы также порфировая. Текстура ее пористая (объем пор 7–10%). Форма пор неправильная, размер от 0,1 до 3 мм. Минералогический состав порфировых выделений тот же, что и для плотной лавы.

Б о м б ы. Текстура породы бомб еще более пористая (> 50%). Размеры пор от долей до нескольких миллиметров. Структура порфировая и гломоропорфировая.

Порфировые выделения составляют 1,5 об.%, представлены плагиоклазом (1%) и клинопироксеном (0,5%). Второстепенные минералы – ортопироксен, апатит. Гломоропорфировые сростки образованы либо только плагиоклазом, либо плагиоклазом с пироксеном.

Плагиоклаз образует бесцветные таблитчатые зональные кристаллы размером 0,3–2,0 мм. Кристаллы полисинтетически сдвойникованы. Наблюдается небольшое количество включений вулканического стекла и изредка – мелких кристаллов пироксена. Клинопироксен образует призматические кристаллы и неправильные зерна бледно-серовато-зеленоватого оттенка, размер которых 0,2–0,4 мм. Часты простые и полисинтетические двойники. Обнаружено одно зерно ортопироксена. Оно имеет призматическую форму, размер 0,2 мм, обладает слабым плеохроизмом от бледно-зеленого до бледно-бурого оттенка. Апатит образует редкие бесцветные призматические кристаллы с шестиугольным поперечным сечением размером до 0,15 мм.

Основная масса имеет гиалиновую структуру. Сложена она темно-красно-бурым вулканическим стеклом. Вокруг пор наблюдаются дендритовые образования черного цвета. На некоторых участках шлифа в стекле слабо видна флюидалность, выраженная цветом стекла.

П е п л ы. Из образцов пеплов приведем описание трех наиболее характерных (табл. 5). Образец № 1 пепла нового извержения вулкана Карымский отобран 3.01.1996 г. на вулкане Двор в 3,2 км от действующего кратера. Частицы пепла представлены размерами от 0,25 мм и меньше, преимущественно < 0,1 мм. 95% фракции пепловых частиц от 0,25 до 0,1 мм – это тонкораздробленные частицы < 0,01 мм, как бы слипшиеся в агрегаты пемзовидного облика светло-серого цвета, в которых выделяются обломки породы черного цвета, бесцветные, серый плагиоклаз и измененные обломки коричневатого-красного цвета. Все эти обломки не окатаны, остроугольные, но содержание их незначительно.

Другой пепел (образец № 2) относится к взрыву 21 января, на 20-й день извержения, отобран в районе обсерватории и резко отличается как от предыдущего, так и от всех последующих образцов, отобранных в течение 1996 г. Этот пепел отличается (особенно во фракции 2,0–1,0 мм) уплощенной формой всех твердых

обломков; здесь же много измененных, пемзовидных бесформенных обломков. Такая уплощенная форма обломков была у пеплов вулкана Алаид извержения 1981 г. во второй половине мая (извержение продолжалось с 28 апреля по 4 июня 1981 г.). Эти факты, а также выпадение пластинок-лапилли по оси пеплопада, достаточно однозначно указывает на расширение подводящего канала вулкана взрывами 16 и 21 января, вызывавшими дробление лавы в истоках лавового потока.

Основная масса обломков – это обломки пород темного цвета и обломки стекла темно-бурого (до черного) цвета, пористые, бесформенные, т.е. это свежие ювенильные обломки темно-бурого вулканического стекла. Здесь также присутствуют обломки прозрачного, бесцветного, иногда мутного плагиоклаза и единичные обломки измененных пород бурого, красно-бурого цвета.

По мере уменьшения размера обломков увеличивается количество обломков плагиоклаза: во фракции 1,0–0,5 мм плагиоклаза больше, чем во фракции 2,0–1,0 мм, а во фракции 0,5–0,25 соответственно больше, чем во фракции 1,0–0,5 мм.

Образец пепла 2202, отобранный 22 февраля у обсерватории, представлен частицами размером преимущественно  $< 0,1$  мм; обломки представлены плагиоклазом (~50%), а также единичными кристаллами призматических темно-зеленых пироксенов и черной роговой обманки (?); 10–15% – обломки измененных пород. 28 февраля и 1 марта выпадал пепел, имевший на снегу розовый оттенок. Этот эффект, по-видимому, связан с некоторым увеличением содержания в пепле измененных частичек красно-бурого цвета и с тем, что он был влажным от тающего снега. В сухом состоянии пепел стал обычного цвета и розоватый оттенок почти незаметен.

В кальдере Двор (табл. 5) 3 января выпадал пепел только очень тонкой фракции –  $< 0,25$  мм. Фактически нет частиц крупнее 0,25 мм, хотя до кратера всего 3,2 км и они должны были бы присутствовать в образце. По-видимому, сюда долетели лишь мельчайшие частицы с периферии пеплового облака на заключительном этапе пеплопада и при смене направления ветра.

Сравнение пеплов, выпавших в районе обсерватории 21 января 1996 г. и 3 января 1997 г., показывает незначительную разницу в их содержании по фракциям: уменьшение в последнем образце частиц размерами от 2,0 до 0,5 мм (с 35 до 15%) и увеличение частиц от 0,5 мм и меньше (с 65 до 85%), что связано с некоторыми различиями в динамике извержения.

Порода лавовых потоков как макроскопически, так и по химическому составу похожа на породу тефры. По классификации Гилла [16], андезиты вулкана Карымский принадлежат к среднекалиевой серии, а по отношению железа к магнию они приурочены к пограничной области между известково-щелочной и толеитовой сериями. В разных порциях лавы эпизодически имеется слабовыраженная тенденция уменьшения содержания  $\text{SiO}_2$ . Возможно, этот эффект связан с поступлением на поверхность новых более основных порций магмы. Также можно отметить более кислый состав пирокластического материала по отношению к материалу лавовых потоков.

### Результаты и их обсуждение

Начало 1996 г. ознаменовалось извержениями двух вулканов Карымской вулканотектонической структуры: необычным кратковременным подводным извержением в кальдере Академии Наук и типичной длительной эруптивной активностью вулкана Карымский. Период, непосредственно предшествовавший извержению (31.12.1995 г. – 1.01.1996 г.), характеризуется мощной вулканотектонической активностью, которая в итоге реализовалась прорывом глубинного вещества к дневной поверхности через подводящий канал Карымского вулкана в ночь с 1 на 2 января и по питающей трещине извержения и тектоническому разлому в северной части кальдеры Академии Наук днем 2 января 1996 г.

Умеренное вулканостромболианское извержение Карымского вулкана началось после 14-летнего периода покоя. Объем излившегося эффузивного материала к концу

первого года извержения составил 11,1 млн.м<sup>3</sup>. При средней плотности лавовых потоков 2200 кг/м<sup>3</sup> их масса равна 24,4 млн.т.

Объем изверженного материала за год составил 0,02 км<sup>3</sup>, а общая масса лавы и пирокластики достигает 30,4 млн.т. Коэффициент explosивности, определенный через весовое отношение, ~ 20%, т.е. индекс explosивности ~ 60–80%, характерный для прошлых извержений Карымского вулкана [9, 13], пока не подтверждается фактическими данными по последнему извержению.

Согласно предложенному ранее С.А. Федотовым [10] значению теплосодержания изверженного материала (1 МДж/кг), получаем суммарное значение тепловой энергии извержения вулкана Карымский в 1996 г. ~ 30,4 · 10<sup>9</sup> МДж.

В целом, в динамике эффузивной деятельности выделяется максимум при излиянии первого лавового потока со средним расходом поступавшего материала 1,35 м<sup>3</sup>/с, хотя за большие периоды времени различия в среднем расходе лавы незначительны: с 12.01 по 25.05.1996 г. – 0,39 м<sup>3</sup>/с; с 25.05 по 13.08 – 0,36 м<sup>3</sup>/с и с 13.08 по 3.01.1997 г. – 0,34 м<sup>3</sup>/с.

Продукты, поступившие непосредственно из вершинного кратера вулкана Карымский (1996 г.), обычны для последних его извержений и представлены андезитами. Минеральный состав: плагиоклаз, орто- и клинопироксен, магнетит, среди акцессорных – сульфиды, апатит и циркон. Почти во всех изученных образцах отмечены микровключения кислого пемзовидного вещества (SiO<sub>2</sub> до 74%).

По внешнему виду образцов порода лавовых потоков в первую половину года была афировой, скорее кристалличной, а во второй – более раскристаллизованной, что, по-видимому, является обычным развитием для лав Карымского вулкана в ходе длительных извержений. Это отмечалось и ранее [12] во время предыдущего эруптивного цикла.

По-видимому, следует ожидать продолжительную эруптивную активность вулкана Карымский в ближайшие годы. Исходя из опыта изучения предыдущих извержений, наиболее вероятным сценарием его деятельности будут слабые или умеренные explosии с эпизодическими излияниями небольших лавовых потоков. В случае роста в кратере экструзивного купола возможно развитие пароксизмальных взрывов.

На фоне начала очередного эруптивного цикла Карымского вулкана произошло короткое, но бурное подводное извержение в кальдере Академии Наук. Первые взрывы, вероятно, были фреатическими, а в остальное время извержение носило фреатомагматический характер. Explosиями на дневную поверхность вынесло контрастные магмы: преимущественно базальты и небольшое количество риолитов на его завершающем этапе. Общий объем изверженных продуктов ~ 40 млн.м<sup>3</sup>. Следует отметить, что в ходе кратковременного извержения в озере было вынесено материала почти в два с лишним раза больше, чем Карымским вулканом и в течение всего 1996 г.

В результате вулcano-тектонических событий в пределах кальдеры Академии Наук оживилась гидротермальная деятельность. В 120 м к западу от группы источников Академии Наук возобновилась активность термальной площадки, где имеется несколько котлов и пульсирующих источников, один из которых действует в гейзерном режиме; появились также многочисленные термопроявления на урезе воды по периметру озера. Наряду с активизацией старых термопроявлений в течение 1996 г. происходило формирование новой мощной группы парогидротерм – Пийповских источников, которые приурочены к трещине извержения на участке между подводным кратером и истоком реки Карымская. Суммарная разгрузка этих гидротерм достигает 350–400 л/с при температуре воды в пределах 60–92°C.

Авторы благодарны всем сотрудникам экспедиции "Карымский-96" Института вулканологии, участвовавшим в полевых работах: В.М. Дудченко, содействовавшему успешному проведению режимных наблюдений за извержениями 1996 г.; Г.Е. Богоявленской, Г.А. Карпову, В.М. Округину, Р.А. Шувалову и многим другим за консультации и полезное обсуждение результатов, а также Т.Ю. Новгородцевой, выполнившей петрографическое описание первых образцов с извержений.



Исследования выполнены при финансовой поддержке ГКНТ России по проекту "Исследование извержений вулканов Академии Наук и Карымского, связанных с ними геологических, геофизических, геохимических процессов и их влияния на окружающую среду", по проектам РФФИ 96-05-66243, 95-05-79003 и по проекту 1.2.1.ГНТП № 16 "Глобальные изменения природной среды и климата".

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брайцева О.А., Литасова С.Н., Сулержицкий Л.Д. и др.* Радиоуглеродное датирование и палинологическое изучение почвенно-пирокластического чехла подножий вулканов Карымской и Малый Семячик // Вулканология и сейсмология. 1989. № 1. С. 19–35.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В.* Вулкан Карымский: история формирования, динамика активности и долгосрочный прогноз // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 14–31.
3. *Влодавец В.И.* Вулканы Карымской группы // Тр. Камчатской вулканол. станции. 1947. Вып. 3. С. 3–49.
4. *Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 239 с.
5. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Под ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1980. 298 с.
6. *Иванов Б.В.* Извержение Карымского вулкана в 1962–1965 гг. и вулканы Карымской группы. М.: Наука, 1970. 134 с.
7. *Пилипенко Г.Ф.* Гидротермы Карымского вулканического центра на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1989. № 6. С. 85–101.
8. *Селянгин О.Б.* Петрогенезис базальт-дацитовый серии в связи с эволюцией вулканоструктур. М.: Наука, 1987. 148 с.
9. *Токарев П.И.* Извержения и сейсмический режим Карымского вулкана в 1965–1986 гг. // Вулканология и сейсмология. 1989. № 2. С. 3–14.
10. *Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 116 с.
11. *Федотов С.А.* Оценка выноса тепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–28.
12. *Федотов С.А.* Пробуждение // Поиск. № 3–4 (349–350). 20–26 января 1996 г.
13. *Хренов А.П., Дубик Ю.М., Иванов Б.В. и др.* Эруптивная деятельность вулкана Карымский за 10 лет (1970–1980 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 29–48.
14. *Хромов С.П., Петросянец М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 1994. 520 с.
15. *Fedotov S.A., Budnikov V.A., Karpov G.A. et al.* Karymsky (Kamchatka). Eruptions continue through April; more details of early January activity // Bull. Global Volcanol. Network. 1996. V. 21. № 5. P. 5–8.
16. *Gill G.* Orogenic andesites and plate tectonics. N.Y.: Springer-Verlag, 1981. 390 p.
17. *Karpov G.A., Muravyev Ya.D., Shuvalov R.A. et al.* Karymsky (Kamchatka). More details about the early January eruptions // Bull. Global Volcanol. Network. 1996. V. 21. № 3. P. 9–10.

Институт вулканологии ДВО РАН  
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию  
14.05.1997