

Синоним. Сопка Карымская.

Местоположение: 54°04' с.ш., 159°36' в.д.

**Геологическое положение.** Вулкан Карымский находится в центральной части Восточной вулканической зоны Камчатки (рис. 120, 121).

**Геология фундамента.** Фундаментом вулкана является слабо дислоцированная толща вулканогенно-осадочных и вулканических пород плиоцен-четвертичного возраста мощностью более 2000 м, несогласно налегающая на мел-палеогеновое геосинклинальное основание.

Вулкан Карымский расположен в голоценовой кальдере, наложенной на средне-верхнеплейстоценовые вулканы Двор и Пра-Карымский.

**Морфология и строение.** Карымский вулкан — правильный конус с абсолютной отметкой 1536 м, расположенный в центральной части кальдеры. Относительная высота конуса примерно 600 м, диаметр основания 1100 м, объем 0,8 км<sup>3</sup>. Диаметр кратера 225—250 м. Площадь кальдеры Карымского вулкана 12 км<sup>2</sup>, диаметр 5 км, высота бортов до 300 м. На севере к кальдере примыкает дугообразная постройка вулкана Двор, центральная часть которой залита лавами древнего Карымского вулкана. Дно кальдеры заполнено лавами молодого конуса, объем которых около 3 км<sup>3</sup>. В очевидной структурной и временной связи с Карымским вулканом находится голоценовый латеральный лавовый купол Лагерный, расположенный у юго-западного края кальдеры (рис. 122—124).

**Возраст и история развития.** Кальдера, в которой расположен Карымский вулкан, образовалась 7600—7700<sup>14</sup>С лет назад в результате извержения (около 11—12 км<sup>3</sup>) пемзового пирокластического материала и последующего обрушения. Извержения начались (см. рис. 122) мощными выбросами тефры ("нижние лапилли"), за ними последовало извержение серии пирокластических потоков (рис. 125), видимая мощность которых составляет до 50—60 м. На междуречных пространствах отлагался преимущественно тонкий пепел "палаящих туч" мощностью до 50—60 см. За извержениями пирокластических потоков последовала новая серия эксплозивных выбросов, последние из которых сформировали горизонт "верхних лапилли" и перекрывающий их слой тонкого пепла. По составу вся пирокластика кальдерообразующих извержений отвечает дацитам.

После образования кальдеры вулканическая деятельность временно прекратилась. Этому периоду длительностью около 2000 лет в почвенно-пирокластическом чехле соответствует пачка погребенных почв с горизонтами тефры вулкана Малый Семьячик.

Новая вспышка вулканической активности была связана с возникновением в кальдере стратовулкана Карымского. Вулкан начал формироваться около 6100 (5300<sup>14</sup>С) лет назад, судя по возрасту почвенного горизонта, подстилающего продукты его первых извержений. Деятельность вулкана началась выбросами пирокластике андезито-базальтового состава. Достаточно напряженная эксплозивная активность состояла из серии частых, умеренных по силе извержений и продолжалась около 700 лет. В конце этого периода произошло излияние первых морфологически выраженных ла-

вовых потоков вулкана (комплекс I), которые по составу отвечают андезитам (рис. 126).

Характер активности вулкана меняется с рубежа около 5400 лет назад. На протяжении последующих почти полутора лет происходят отдельные крупные эксплозивно-эффузивные извержения с выбросом пемзовой пирокластике (ПЗ<sub>1</sub>—ПЗ<sub>2</sub>) и излиянием серий лавовых потоков (комплексы II—IV). Резко увеличиваются интервалы между извержениями, которые запечатлены в разрезах погребенными почвенными горизонтами. Самые крупные извержения произошли около 5100 (4400<sup>14</sup>С) лет назад (ПЗ<sub>1</sub>) и 4200 (3700<sup>14</sup>С) лет назад (ПЗ<sub>2</sub>). Объем тефры каждого из них составил около 0,1 км<sup>3</sup>. Лавовые потоки этого периода заполнили южную часть кальдеры, почти целиком скомпенсировав ее в юго-западной части. Продукты всех извержений имеют андезитовый состав, лишь среди лавовых потоков комплекса II отмечены дациты.

Около 4000 лет назад характер деятельности вулкана снова изменился — возобновилась напряженная эксплозивная активность, состоящая из серии слабых и умеренных извержений, часто следующих одно за другим. В разрезах на общем фоне серых неясно стратифицированных грубых пеплов отдельные более крупные извержения запечатлены горизонтами пемзовой тефры (ПЗ<sub>3</sub>, ПЗ<sub>4</sub>) и вулканических песков. К этому периоду деятельности вулкана относится излияние лав возрастных комплексов V, VI и VII, которые образуют верхний ярус лавовых потоков южного подножия вулкана. Период активизации завершился около 2800 (2600<sup>14</sup>С) лет назад мощным эксплозивно-эффузивным извержением. Тефра этого извержения (ШЛ) представлена грубыми шлаками (бомбы, лапилли), которые по составу отвечают андезито-базальтам.

Затем последовал длительный (примерно 2300 лет) период покоя, который зафиксирован в разрезах мощной пачкой погребенных почв. Отдельные эксплозивные извержения отмечены прослоями грубых андезитовых пеплов и пемзовой тефры ПЗ<sub>5</sub> в верхней части почвы.

Следующая мощная активизация вулкана началась около 500 лет назад и продолжается до настоящего времени (период активизации II КМ). Режим вулкана на этом этапе имеет пульсационный характер: отдельные извержения разделяются короткими интервалами покоя, запечатленными мало-мощными почвенными горизонтами. Извержения имеют эксплозивный и эксплозивно-эффузивный характер; молодые лавовые потоки этого этапа (VIII—IX), включая и современные (X—XI), заливают северные склоны и подножие вулкана. Состав продуктов извержений отвечает андезитам (рис. 127, 128).

**Описание извержений.** Вулкан Карымский — один из самых активнейших вулканов Восточной зоны [Иванов, 1970; Хренов и др., 1982]. За 215 лет произошло более 20 извержений. Основным типом извержений является вулканический, сменяющийся в некоторые периоды вулканико-стромболианским. Для Карымского вулкана характерно периодическое появление внутрикратерного экструзивного купола, это событие обычно отмечается на границе эксплозивной и эффузивно-эксплозивной стадий или в течение последней и почти всегда предвещает появление лавовых потоков.

Среди продуктов извержений Карымского вулкана особого

внимания заслуживает поток подушечной (pillow) лавы, излившийся на СЗ склон конуса в субэвральном условиях в январе 1963 г. В строении его преобладающими формами были подушки, шаровые формы имели подчиненное значение [Иванов, 1970].

Среднегодовой расход вулкана за 6 тыс. лет существования оценивается в  $2 \cdot 10^6$  т/год (при плотности  $1,7 \text{ г/см}^3$  —  $0,0012 \text{ км}^3$ ). Продуктивность Карымского вулкана в XX столетии превышает среднегодовой расход в 5 раз ( $10 \cdot 10^6$  т/год), что указывает на пульсационный характер андезитового вулканизма. Энергия эксплозивных стадий извержений оценивается в  $10^5$ – $10^8$  Дж, эксплозивно-эффузивной — в  $(3-30) \cdot 10^{16}$  Дж. Средняя тепловая мощность исторических извержений  $9 \cdot 10^8$  Вт.

**Продукты извержения.** Лавовые потоки всех извержений Карымского вулкана отвечают кислым дупироксеновым андезитам, андезиито-дацитам и дацитам (табл. 18). Показатель родства, индекс Ритмана, лежит в пределах 2,05–2,27. Для всех лав характерно резкое и устойчивое преобладание натрия над калием. По значению  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  часть андезитов может быть отнесена к толеитовым.

Таблица 18

Средний состав лав современного вулкана Карымского и извержений 1962–1965, 1970–1982 гг.

Компоненты	1	2	3	4	5
$\text{SiO}_2$	61,52	63,16	62,39	62,20	70,72
$\text{TiO}_2$	1,10	1,00	0,94	0,84	0,49
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17,28	16,79	16,90	16,51	12,52
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,38	1,81	1,96	1,97	1,24
$\text{FeO}$	3,65	4,04	3,78	3,96	1,22
$\text{MnO}$	—	0,14	0,17	0,15	0,06
$\text{MgO}$	1,9	1,93	2,06	1,64	0,50
$\text{CaO}$	5,84	5,30	5,17	5,32	2,17
$\text{Na}_2\text{O}$	4,58	3,97	4,57	4,53	3,85
$\text{K}_2\text{O}$	1,27	1,78	1,74	1,71	3,50
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,36	0,11	0,21	0,20	—
$\text{H}_2\text{O}^-$	0,19	—	0,11	0,20	—
$\text{H}_2\text{O}^+$	0,64	—	0,11	0,30	0,12
Сумма	99,97	100,72	100,11	99,53	—
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,7038	—	—	0,7040	—
$\delta^{18}\text{O}$	—	—	+7,0‰	+6,5‰	—

Примечание. 1 — андезит, северный комплекс лав голоценового возраста; 2 — андезит, южный комплекс лав раннеголоценового возраста; 3 — андезит извержения 1962–1965 гг.; 4 — андезит, извержение 1970–1980 гг.; 5 — риолито-дацит, пемзы извержения 11 мая 1963 г.

Указанные различия свидетельствуют о разных магматических источниках при формировании андезитов кальдеры и андезитов современного конуса Карымского вулкана.

Петрографические признаки андезитов Карымского вулкана устойчивы и повторяются во всех возрастных комплексах. Андезиты характеризуются исключительной пестротой кристаллической фазы, обусловленной разновременным захватом и дезинтеграцией родственных включений с последующим достоянием примешанных кристаллов. Общее количество вкрапленников не превышает 25%. Представлены плагиоклазом (15–20% — андезин-лабрадор  $\text{N } 45-55$ ), клинопироксеном (1,5% —  $\text{Wo}_{33-46}$ ,  $\text{En}_{41-46}$ ,  $\text{Fs}_{13-21}$ ) ортопироксеном (1–2% — от 46 до 32%  $\text{Fs}$ ), магнетитом (0,5–1,0%) и спорадическим оливином.

В риолито-дацитовых пемзах извержения 1963 г. во вкрапленниках наблюдаются слабо зональный плагиоклаз  $\text{N } 38-42$  в количестве 14–15%, клинопироксен — 0,3% ( $\text{Wo}_{34}$ ,  $\text{En}_{46}$ ,  $\text{Fs}_{20}$ ), ортопироксен — 0,2% ( $\text{Fs}_{32}$ ), титаномагнетит — 0,2%, акцессорный апатит.

В пемзах, связанных с образованием кальдеры, встречаются разнообразные включения: 1) ультраосновные плагиоклазовые породы — алливалиты и эвкриты; 2) мелкозернистые пориты включения с характерными вязанными, "каркасными" структурами и составом от базальтов до андезитов, которые постоянно ассоциируют с первыми; 3) оливковые габбро и габбро-нориты; 4) гранитоиды.

**Фумаролы, возгоны, источники.** Фумарольная деятельность отмечалась на всех лавовых потоках; наибольшее количество фумарол связано с потоком подушечной лавы. Во всех пробах

в кислой части газов преобладает  $\text{CO}_2$ . В значительном количестве отмечаются  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$ , содержание первого возрастает в высокотемпературных фумаролах. В конденсатах отмечается содержание фтора до 175 мг/л. Химический состав газов низкотемпературных фумарол на лавовых потоках ( $240^\circ\text{C}$ ) следующий (об. %):  $\text{H}_2\text{O}$  — 13,1;  $\text{HCl}$  — 0,009;  $\text{HF}$  — 0,0009;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — 0,007;  $\text{H}_2\text{S}$  — 0,007;  $\text{CO}_2$  — 0,5;  $\text{N}_2$  — 70. Состав высокотемпературного газа ( $920^\circ\text{C}$ ) в кратере вулкана (об. %):  $\text{CO}_2$  — 10,5;  $\text{N}_2$  — 86,4;  $\text{H}_2$  — 2,15;  $\text{Ar}$  — 1,26;  $\text{CH}_4$  — 0,002 [Меняйлов и др., 1980].

Концентрации радона в спонтанном газе одного из грифонов Карымских термальных источников в период покоя вулкана в 1967–1970 гг. составляли 0,7–1,0 эман. Перед началом извержения 1970 г. отмечено увеличение количества радона до 3,5 эман. В начальный период извержения 11–15 мая 1970 г. количество радона сохранялось на уровне 3–3,5 эман. С уменьшением эксплозивной деятельности уменьшаются и концентрации радона до 1,5–2,0 эман [Хренов и др., 1982].

Для Карымского вулкана характерно неравномерное распределение фумарольных минералов, как и самих фумарол, на потоках различных типов. Небольшим распространением пользуются фториды, образующиеся в наиболее высокотемпературную стадию остывания лавовых потоков, фторалюминаты (ральстонит, хиолит, криолит, веберит) и фторосиликаты (криптогалит, малладрит) аммония, щелочных и щелочноземельных металлов, а также безводные фториды (флюорит). Меньше распространены хлориды и сульфаты. Хлориды представлены группой нашатыря и галита. Минералы сульфатов — простыми безводными, группой ангидрита, и простыми водными соединениями — группой астраханита, гипса и купороса. Подавляющее большинство всех фумарольных минералов и особенно минералов фторидов образуется на жидких лавовых потоках большой газонасыщенности подушечного и покровного типов.

В фумарольных минералах андезитовых лав вулкана Карымского обнаруживаются высокие концентрации элементов малой петрогенной, редкометальной и металлической групп. Наиболее широкий спектр микроэлементов свойственен возгонам хлоридов, наиболее высокие концентрации некоторых микроэлементов — возгонам как сульфатов, так и хлоридов [Иванов, 1970].

Карымские термальные источники располагаются в 3 км к юго-востоку от конуса вулкана и в юго-западной части широкой долины р. Карымской (рис. 129–134). Гидротермальная деятельность выражена двумя формами проявлений — выходом низкотемпературных термальных вод ( $18-28^\circ\text{C}$ ) в северо-западной части долины и грифонами с температурой  $32-43^\circ\text{C}$  в пойме р. Карымской. Химический состав терм. разнообразный по всем источникам и характеризуется преобладанием сульфат-иона и гидрокарбонатов магния, а также повышенным содержанием кремнекислоты [Иванов, 1974].

**Геофизическая характеристика.** Данные региональных гравиметрических съемок дают основание предполагать, что в районе Карымского вулкана меловой фундамент находится на глубине около 4 км. Положительные магнитная и гравитационная аномалии, приуроченные к кальдере Карымского вулкана, связываются с субвулканической интрузией или периферическим магматическим очагом. Глубина залегания его центра тяжести 4–5 км, глубина верхней кромки около 1,5 км, избыточная положительная масса аномального тела  $1,7 \cdot 10^{16}$  г. При сферической форме и допустимых значениях избыточной плотности радиус предполагаемого очага может составлять от 2,3 до 3,5 км [Зубин и др., 1971]. Геодезические и аэрофотограмметрические наблюдения позволяют предполагать существование под вулканом магматического очага в виде сферы радиусом 0,5–0,7 км на глубине 1–1,5 км [Магуськин и др., 1982].

При сейсмологическом изучении вулcano-тектонических землетрясений выявлена важная особенность их пространственного размещения — не отмечено ни одного землетрясения в сферической области радиусом 2,5 км, центр которой расположен на глубине 6,5 км и в плане совпадает с кратером вулкана. Гипоцентры всех землетрясений оказались расположенными внутри сферического слоя, ограниченного радиусами  $R_1 = 2,5$  и  $R_2 = 7,5$  км.

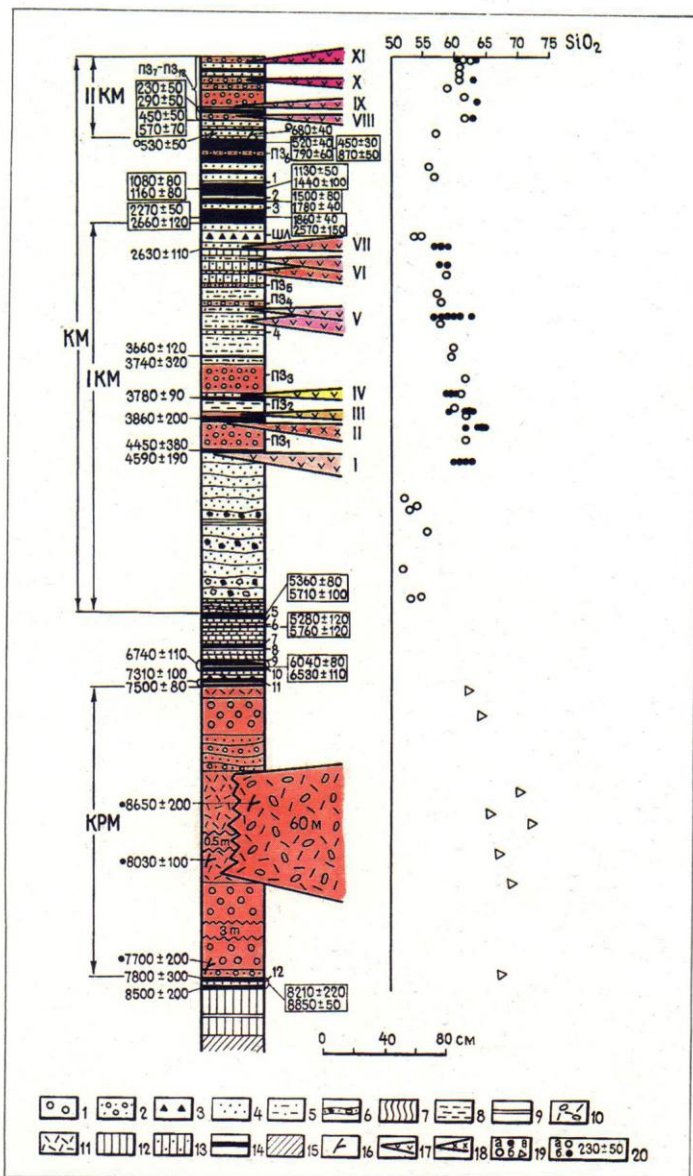
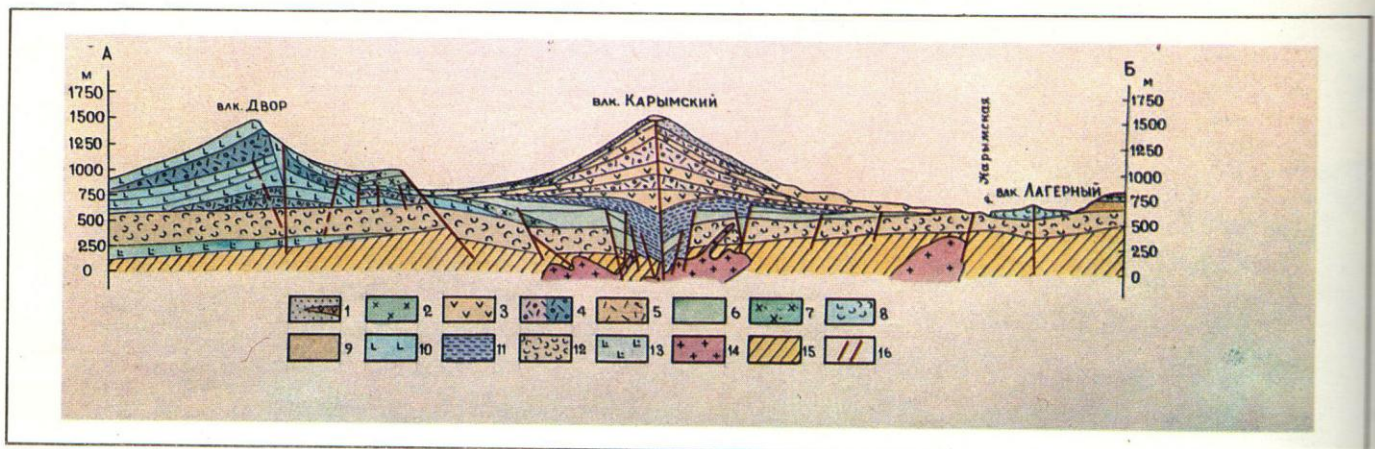
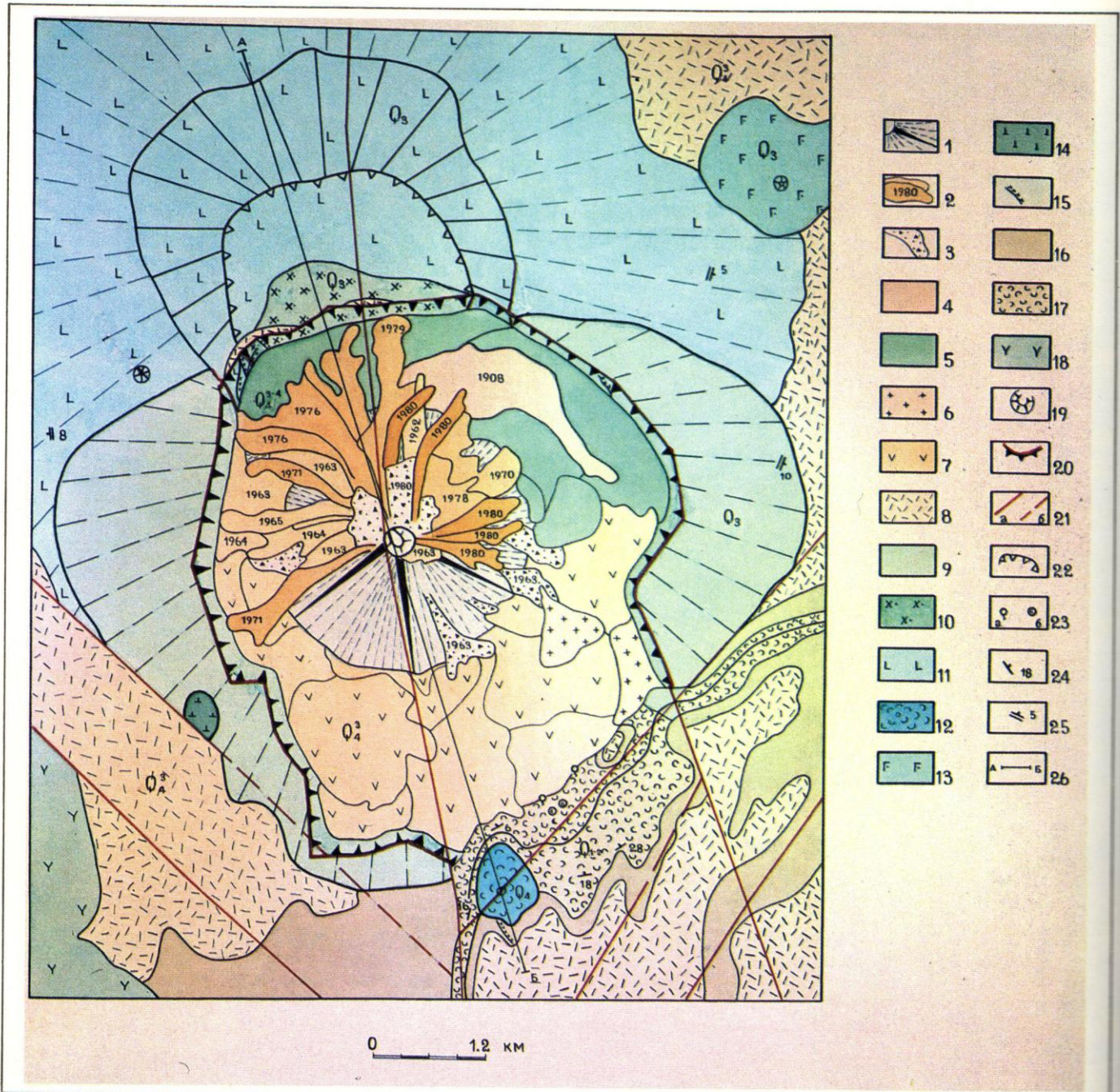


Рис. 122. Сводный разрез лаво-пирокластических отложений подножия вулкана Карымский

1 — бомбы и лапилли пемзы; 2 — лапилли пемзы и грубый пепел; 3 — лапилли шлака и грубый пепел; 4 — грубый пепел; 5 — стратифицированные грубые пеплы; 6 — те же пеплы с лапилли, бомбами и примесью резургентного материала; 7 — грубые обожреные пеплы; 8 — стратифицированные тонкие и грубые пеплы; 9 — тонкий пепел; 10 — отложения пирокластических потоков; 11 — тонкие пеплы кальдерообразующих извержений; 12 — супеси; 13 — супеси с примесью грубых пеплов; 14 — погребенные почвы; 15 — подстилающие отложения; 16 — древесина и угли; 17 — андезитовые потоки; 18 — андезитовые и дацитовые потоки; 19 — фигуративные точки: а — тephра вулкана Карымского, б — его лава, в — пирокластика кальдерообразующих извержений; 20 — радиоуглеродные даты: а — по древесине, б — по углям, остальные по погребенным почвам (в рамках даты по щелочным вытяжкам из одного и того же образца почвы). KPM — комплекс отложений, связанных с формированием кальдеры. KM — то же времени формирования вулкана. I KM, II KM — отложения периодов активизации вулкана. I—VIII — возрастные группы лавовых потоков. ПЗ,—ПЗ,— маркирующие прослои пемзовой тephры вулкана Карымского, ШЛ — маркирующий прослой его шлака, цифры 1-12 (справа от колонки) — горизонты транзитных пеплов

Fig. 122. Summary section of lava-pyroclastic strata at the foot of Karymsky

1 — bombs and lapilli of pumice; 2 — lapilli of pumice and coarse ash; 3 — lapilli of cinder and coarse ash; 4 — coarse ash; 5 — stratified coarse ashes, and ashes with lapilli, bombs and an admixture of resurgent material; 7 — coarse ochre-covered ashes; 8 — stratified fine and coarse ashes; 9 — fine ash; 10 — strata of pyroclastic flows; 11 — fine ashes of caldera-building eruptions; 12 — loams; 13 — loams with admixture of coarse ashes; 14 — buried soils; 15 — underlying strata; 16 — wood and coals; 17 — andesitic flows; 18 — andesitic and dacitic flows; 19 — figurative points: a — tephra of Karymsky; b — lava of Karymsky, c — pyroclastics of caldera-building eruptions; 20 — radiocarbon data: a — on wood, b — on coals, the rest on buried soils (within the dates on alkaline extracts of one and the same soils sample). KPM — a complex of strata associated with the formation of caldera. KM — the same complex of strata of the time of Karymsky formation. I KM, II KM — deposits of the periods of Karymsky activation. I—VIII — age groups of lava flows. ПЗ,—ПЗ,— marker interlayers of Karymsky cinder, ШЛ — marker interlayer of its cinder, numbers 1—12 (to the right of the column) are horizons of transit ashes



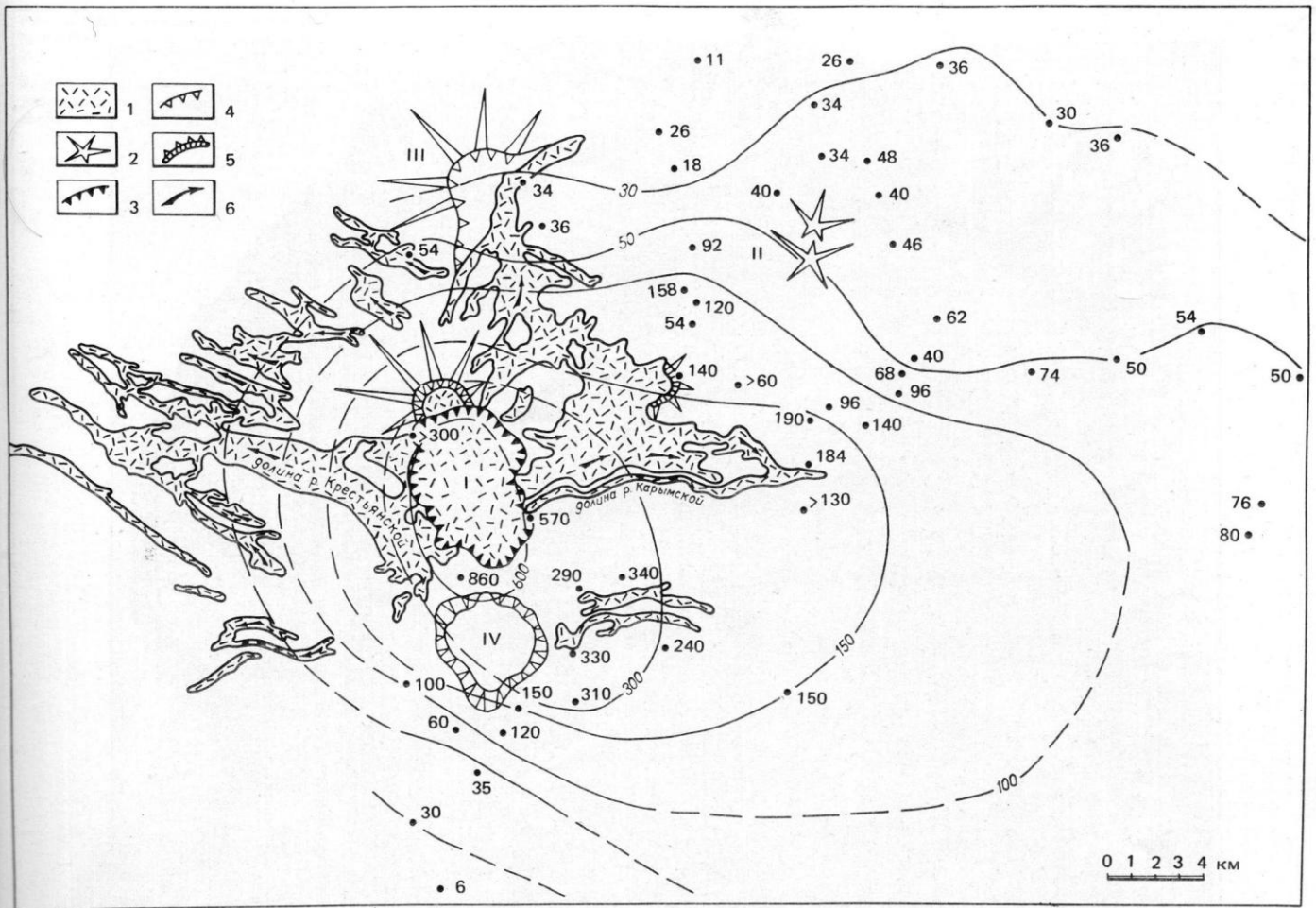


Рис. 125. Схема распространения пирокластических потоков, связанных с формированием кальдеры Карымского вулкана, и изопахиты тифры кальдерообразующих извержений (по О.А. Брайцевой)  
 1 — пирокластические потоки; 2 — стратовулканы; 3 — уступы кальдеры вулкана Карымского; 4 — уступы верхнеплейстоценовых кальдер и эксплозивных форм; 5 — маары; 6 — направления течения пирокластических потоков

Fig. 125. Scheme showing distribution of pyroclastic flows associated with Karymsky caldera building, and isopachytes of the tephra of caldera-building eruptions (after O.A. Braitseva)  
 1 — pyroclastic flows; 2 — stratovolcanoes; 3 — scarps of Karymsky caldera; 4 — scarps of Upper Pleistocene calderas and explosive forms; 5 — maars; 6 — directions of pyroclastic flows

Рис. 123. Схема геологического строения вулкана Карымского (по: [Иванов, 1970])  
 1 — современные рыхлые отложения склонов конуса; 2 — датированные лавовые потоки кислых андезитов и андезито-дацитов; 3 — агломеративные потоки; 4 — лавовый поток дацитового состава 1908 г.; 5 — двупироксеновые андезиты северного лавового комплекса ( $Q_1^{+4}$ ); 6 — двупироксеновые дациты южного лавового комплекса ( $Q_1$ ); 7 — двупироксеновые андезито-дациты южного лавового комплекса ( $Q_1$ ); 8 — пемзы дацитового состава, связанные с образованием кальдеры ( $Q_1^+$ ); 9 — двупироксеновые андезиты древнего Карымского вулкана ( $Q_1$ ); 10 — лавовые потоки двупироксеновых андезито-базальтов древнего Карымского вулкана; 11 — базальты, андезито-базальты и андезиты вулкана Двор; 12 — лавовый купол Лагерный и его лавы двупироксеновых андезито-базальтов; 13 — моногенные образования и их лавовые потоки андезито-базальтового состава; 14 — экструзия гиперстеновых андезито-базальтов; 15 — дайки преимущественно андезито-базальтового состава; 16 — верхнечетвертичные ( $Q_1$ ) туфы андезито-базальтового состава; 17 — нижне-среднечетвертичные туфы ( $Q_{1,2}$ ) фундамента вулканической постройки; 18 — базальты и андезито-базальты вулкана Разлатого; 19 — кратер вулкана Карымского; 20 — тектонические границы кальдеры Карымского вулкана; 21 — линии тектонических нарушений; а — установленные, б — предполагаемые; 22 — дугообразная постройка вулкана Двор; 23 — термальные источники (а) и сольфатары (б); 24 — элементы залегания фундамента вулканической постройки; 25 — угол наклона лавовых потоков; 26 — линия геологического разреза

Fig. 123. Scheme of the geologic structure of Karymsky volcano (Ivanov, 1970)  
 1 — modern loose strata of the cone's slopes; 2 — dated lava flows of acid andesites and andesite-dacites; 3 — agglomerate flows; 4 — dacitic lava flow of 1908; 5 — bipyroxene andesites of the northern lava complex ( $Q_1^{+4}$ ); 6 — bipyroxene dacites of the southern lava complex ( $Q_1$ ); 7 — bipyroxene andesite-dacites of the southern lava complex ( $Q_1$ ); 8 — dacitic pumices associated with caldera-building ( $Q_1^+$ ); 9 — bipyroxene andesites of the ancient Karymsky volcano ( $Q_1$ ); 10 — lava flows of bipyroxene andesite-basalts of the ancient Karymsky; 11 — basalts, andesite-basalts and andesites of Dvor volcano; 12 — Lagerny lava dome and its lavas of bipyroxene andesite-basalts; 13 — monogenous units and their lava flows of andesite-basaltic composition; 14 — an extrusion of hypersthene andesite-basalts; 15 — predominantly andesite-basaltic dykes; 16 — Upper Quaternary ( $Q_1$ ) andesitic tufts; 17 — Lower and Middle Quaternary tufts ( $Q_{1-2}$ ) of the basement of the volcanic structure; 18 — basalts and andesite-basalts of Razlaty volcano; 19 — Karymsky crater; 20 — tectonic boundaries of Karymsky caldera; 21 — lines of tectonic faults; а — established, б — hypothetical; 22 — the arcuate structure of Dvor volcano; 23 — thermal springs (а) and solfataras (б); 24 — elements of occurrence of the basement of the volcanic structure; 25 — lava flows tilt angle; 26 — lines of the geologic section

Рис. 124. Схематический геологический разрез Карымского вулкана (по Б.В. Иванову)  
 1 — современные рыхлые образования и лавовые потоки конуса; 2 — двупироксеновые андезиты северного лавового комплекса ( $Q_1^{+4}$ ); 3 — двупироксеновые андезиты южного лавового комплекса ( $Q_1$ ); 4 — пирокластические образования вулканических построек андезито-базальтового состава; 5 — пемзы дацитового состава, связанные с образованием кальдеры ( $Q_1^+$ ); 6 — двупироксеновые андезиты древнего Карымского вулкана; 7 — двупироксеновые андезито-базальты древнего Карымского вулкана; 8 — лавовый купол Лагерный и его лавы двупироксеновых андезито-базальтов; 9 — верхнечетвертичные туфы ( $Q_1$ ) андезито-базальтового состава; 10 — базальты, андезито-базальты и андезиты вулкана Двор; 11 — рыхлые образования взрывного происхождения, генетически связанные с образованием кальдеры; 12 — фундамент древнего Карымского вулкана, нижне-среднечетвертичные ( $Q_{1,2}$ ) туфы; 13 — базальтовые лавы четвертичного плато; 14 — близповерхностные интрузии гранитоидного состава и их дайки плиоцен-четвертичного ( $N_1-Q_1$ ) возраста; 15 — плиоценовые отложения ( $N_2$ ); 16 — тектонические нарушения сбросо-сдвигового типа

Fig. 124. Schematic geologic section of Karymsky volcano (after B.V. Ivanov)  
 1 — modern loose strata and lava flows of the cone; 2 — bipyroxene andesites of the northern lava complexes ( $Q_1^{+4}$ ); 3 — bipyroxene andesites of the southern lava complex ( $Q_1$ ); 4 — pyroclastic units of the andesitic and basaltic volcanic structure; 5 — dacitic pumices associated with caldera building ( $Q_1^+$ ); 6 — bipyroxene andesites of ancient Karymsky; 7 — bipyroxene andesite-basalts of ancient Karymsky; 8 — Lagerny lava dome and its lavas of bipyroxene andesite-basalts; 9 — Upper Quaternary tufts ( $Q_1$ ) of andesitic composition; 10 — basalts, andesite-basalts and andesites of Dvor volcano; 11 — loose strata of explosive genesis associated with caldera-building; 12 — basement of ancient Karymsky, Lower Quaternary ( $Q_{1-2}$ ) tufts; 13 — basaltic lavas of a Quaternary plateau; 14 — subsurface intrusions of a granitoid composition and their Pliocene-Quaternary ( $N_1-Q_1$ ) dykes; 15 — Pliocene strata ( $N_2$ ); 16 — normal fault-strike-slip tectonic dislocations

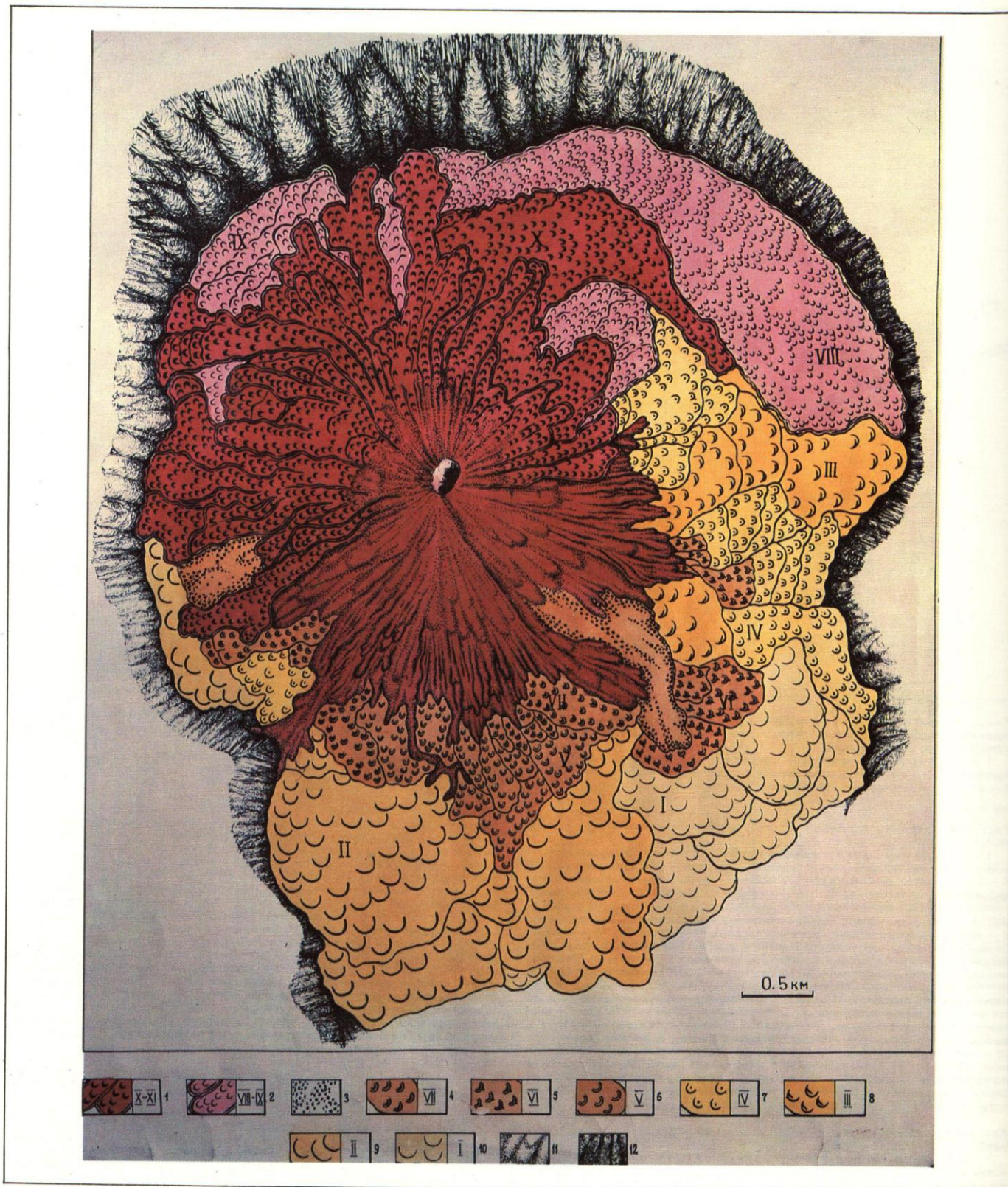


Рис. 126. Карта лавовых потоков вулкана Карымского (по О.А. Брайцевой)  
 1 — андезитовые лавовые потоки возрастных групп XI (исторических извержений — 1963—1980 гг.) и X (моложе 200 лет); 2 — андезитовые лавовые потоки IX—VIII групп — 200—400 лет назад; 3 — пирокластические лавины — 2800 лет назад; 4 — андезитовые лавовые потоки VII группы — 2800 лет назад; 5 — андезитовые лавовые потоки VI группы — 3000 лет назад; 6 — андезитовые лавовые потоки V группы — 3300—3400 лет назад; 7 — андезитовые лавовые потоки IV группы — 4200 лет назад; 8 — андезитовые лавовые потоки III группы — 4300 лет назад; 9 — дацитовые и андезитовые лавовые потоки II группы — 5100 лет назад; 10 — андезитовые лавовые потоки I группы — 5400 лет назад; 11 — пирокластика конуса вулкана и пирокластические лавины исторических извержений; 12 — форт кальдеры

Fig. 126. Map of Karymsky lava flows (O.A. Braitseva)  
 1 — andesitic lava flows of age groups XI (historic eruptions — 1963—1980) and X (younger than 200 years); 2 — andesitic lava flows IX—VIII groups — 200—400 years ago; 3 — pyroclastic avalanches — 2800 years ago; 4 — andesitic lava flows VII — 2800 years ago; 5 — andesitic lava flows VI — 3000 years ago; 6 — andesitic lava flows V — 3300—3400 years ago; 7 — andesitic lava flows IV — 4200 years ago; 8 — andesitic lava flows III — 4300 years ago; 9 — dacitic and andesitic lava flows II — 5100 years ago; 10 — andesitic lava flows I — 5400 years ago; 11 — pyroclastics of the cone and pyroclastic avalanches of historic eruptions; 12 — a flank of the caldera

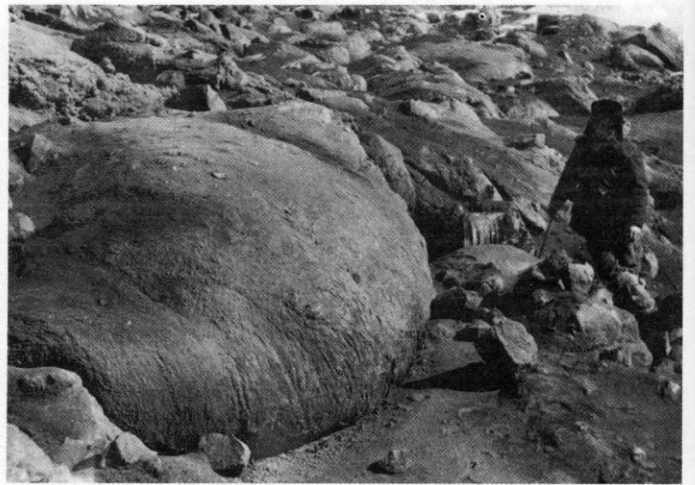


Рис. 128. Общий вид лавового потока подушечного строения (Pillow lava), излившегося из кратера Карымского вулкана 1963 г. (а); типичная подушка во фронтальной части потока (б). Фото Б.В. Иванова, М.В. Федорова

Fig. 128. General view of pillow lavas flowed from the Karymsky crater of 1963 (a) a typical pillow at the front of the flow (b). Photos by B.V. Ivanov, M.V. Fedorov

Эти данные подтверждают существование под вулканом Карымским магматического очага, который имеет форму, близкую к шаровой, хотя сейсмологические данные не противоречат также очагу в форме цилиндрического тела, верхняя кромка которого находится на глубине около 4 км [Широв и др., 1988].

**Прогноз извержений. Вулканическое районирование.** Вулкан Карымский находится в периоде активизации нового вулканического цикла, начавшемся около 500 лет назад. Учитывая длительность (700—1300 лет) аналогичных периодов активизации в прошлом и сохраняющуюся высокую продуктивность вулкана, вряд ли можно ожидать ослабления его активности в ближайшие 100—200 лет. Характер извержений сохранится — это будут разделенные короткими периодами покоя эксплозивные и эффузивно-эксплозивные извержения с

выбросами андезитовой тefры (часто пемз) и изливанием лавовых потоков, с общим объемом продуктов от 0,001—0,002 до 0,02—0,03 км<sup>3</sup>. Зона вулканической опасности от лавовых потоков ограничится пределами кальдеры, мощность тefры одного извержения может меняться в кальдере от 5—40 до 100—120 см непосредственно у подножия конуса. За границами кальдеры на расстоянии 4—5 км от вулкана она составит максимум 20—30 см, 10 км — около 3—5 см (грубый и тонкий пепел). Во время одного из извержений не исключено образование на вершине крупного эксплозивного кратера или небольшой кальдеры. Андезитовый состав продуктов извержений, появление экструзивного купола в кратере и образование агломератовых потоков в начале эксплозивно-эффузивной стадии извержения свидетельствуют о том, что вулкан способен дать и пелейский тип извержения.

**Synonym.** Karymskaya sopka.

**Location.** 54°04'N and 159°36'E.

**Geographic position.** Karymsky volcano is situated in the central part of the Eastern volcanic zone of Kamchatka (Figs 120, 121).

**Geology of the basement.** The basement of the volcano is a weakly dislocated sequence of Pliocene-Quaternary volcano-sedimentary and volcanic rocks over 2000 m thick overlying unconformably the Cretaceous-Paleogene geosynclinal basement.

Karymsky is located in a Holocene caldera imposed over Middle-Upper Pleistocene Dvor and Pra-Karymsky volcanoes.

**Morphology and structure.** Karymsky is a regular cone with an absolute height of 1536 m located in the centre of the caldera. The relative height of the cone is about 600 m, the diameter of the crater is 225-250 m. The area of the Karymsky caldera is 12 km<sup>2</sup>, its diameter is 5 km and the height of the slopes to 300 m. Adjoining the caldera on the north is an arcuate Dvor volcano whose central part is filled with ancient Karymsky lavas. The bottom of the caldera is covered by lavas of a young cone of about 3 km<sup>3</sup> in volume. Distinct structural and temporal links connect Karymsky with a Holocene lateral Lagerny lava dome at the southwestern edge of the caldera (Figs 122-124).

**Age and evolution.** The caldera that houses Karymsky was formed 7600-7700<sup>14</sup>C years ago by an eruption of pumice pyroclastics (about 11-12 km<sup>3</sup>) and a subsequent collapse. Eruptions began (Fig. 122) with ejection of tephra ("lower lapilli") followed by a series of pyroclastic flows (Fig. 125) with a visible thickness up to 50-60 m.

The interstream areas were accumulating largely fine ashes from glowing clouds, 50 to 60 cm thick. Pyroclastic flows were succeeded by a new series of explosive ejections; the last ones formed the horizon of "upper lapilli" and an overlying bed of fine ashes. Compositionally, all pyroclastics of the caldera-forming eruptions correspond to dacites. After the caldera had formed, the volcanic activity broke off for some time. This 2000-year period is marked in the soil-pyroclastic cover by buried soils with horizons of Maly Semiachik tephra.

Another outbreak of volcanic activity was associated with Karymsky stratovolcano emerging in the caldera. The volcano began forming around 6100 (5300<sup>14</sup>C) years ago, judging by the age of the soil horizon underlying the products of its first eruptions. The onset of the volcano's activity was marked by andesite-basaltic pyroclastics eruptions. The rather intense explosive activity consisted of a row of frequent, moderately strong eruptions, and continued for 700 years. At the end of that period, there was an eruption of the first, morphologically structured lava flows of the volcano (complex I) that are andesitic in composition (Fig. 126).

The mode of the activity changed 5400 years ago. The next one and a half thousand years were marked by several major explosive-effusive eruptions that brought out pumice pyroclastics (Π3<sub>1</sub>-Π3<sub>3</sub>) and a series of lava flows (complexes II-IV). Intervals between the eruptions sharply increased; they are recorded in the section as buried soil horizons. The biggest eruptions occurred about 5100 (4400<sup>14</sup>C) years ago (Π3<sub>1</sub>) and 4200 (3700<sup>14</sup>C) years ago (Π3<sub>3</sub>). The tephra volume was about 0.1 km<sup>3</sup> each. Lava flows of that period filled the southern part of the caldera thus almost entirely compensating it in the southwest. All ejecta are andesitic, and only among complex II lava flows dacites have been observed.

Some 4000 years ago, the volcano again changed its behaviour; intense explosive activity resumed in a series of weak and moderately strong eruptions following one another. In the sections, against the general background of grey, poorly stratified coarse ashes, separate bigger eruptions stand out as horizons of pumice tephra (Π3<sub>4</sub>, Π3<sub>5</sub>) and volcanic sands. In this period the volcano erupted lavas of age complexes V, VI and VII which build up the upper stage of lava flows of the southern piedmont. The activation period ended some 2800 (2600<sup>14</sup>C) years ago in a strong explosive-effusive eruption. Its tephra (IIIJ) consists of coarse cinder (bombs and lapilli), andesite-basaltic in composition.

Next was a long (about 2300 years) period of rest recorded in the section as a thick member of buried soils. Separate explosive eruptions are marked by beds of coarse andesitic ashes, and pumice tephra Π3<sub>6</sub> in the upper soil.

The next strong reactivation of the volcano began around 500 years ago to continue until now (activation period IIKM). The regime of the volcano at this stage is pulsating: eruptions are spaced by brief quiescent intervals, reflected in thin soil horizons. The eruptions are explosive and explosive-effusive; young lava flows of this stage (VIII-IX), the present ones (X-XI) including, cover the northern slopes and the foot of the volcano. Compositionally, the ejecta correspond to andesites (Figs 127, 128).

**Description of eruptions.** Karymsky volcano is one of the most active volcanoes of the Eastern zone [Ivanov, 1970; Khrenov et al., 1982]. Over 20 eruptions have been recorded in the course of 215 years. The major type of eruptions was Vulcanian that gave way at some periods to Vulcanian-Strombolian. Karymsky is characterized by a periodic emergence of an intra-crater extrusive dome. This phenomenon is commonly recorded either at the boundary between the explosive and the effusive-explosive stages or in the course of the latter, and almost always heralds lava flows.

Of particular interest among Karymsky ejecta is a flow of pillow lava, lava subaerially erupted on the northwestern slope of the cone in January, 1963. Pillows in its structure were predominant while spheric forms were ancillary [Ivanov, 1970].

The annual discharge by the volcano averaged over 6 thousand years is estimated at 2 × 10<sup>6</sup> tons/year (with a density of 1.7 g/cm<sup>3</sup>, 0.0012 km<sup>2</sup>). The productivity of Karymsky volcano in the 20th century exceeds the average annual discharge by a factor of 5 (10 × 10<sup>6</sup> tons/year), thus suggesting a pulsating andesitic volcanism. The energy of the explosive stages of eruptions is estimated at 10<sup>2-8</sup> Joules, and that of explosive-effusive stages (3-30) × 10<sup>16</sup> Joules. The average heat output of historic eruptions is 9 × 10<sup>8</sup> W.

**Products of eruptions.** All Karymsky lava flows correspond to acid bipyroxene andesites, andesite-dacites and dacites (Table 18). The cognate index (Phitman's index) lies between 2.05-2.27. All lavas show pronounced and stable Na predominance over K. Part of the andesites in the FeO\*/MgO ratio are tholeiitic. The variations suggest different magma sources for the andesites of the caldera and for those of the present Karymsky cone.

Karymsky andesites' petrographic properties are stable and repeated in all age complexes. The andesites have a unique diversity of the crystalline phase due to time variations in the trapping and disintegration of kin inclusions, with subsequent growing of admixed crystals. The overall amount of phenocrysts does not exceed 25%. They are represented by plagioclase (15-20% —

andesine-labradorite Nos 45-55), clinopyroxene (1.5% —  $Wo_{33-46}$ ,  $En_{41-46}$ ,  $Fs_{13-21}$ ), orthopyroxene (1-2% from 46 to 32% Fs), magnetite (0.5-1.0%) and sporadic olivine.

In rhyolite-dacite pumices of the 1963 eruption there is a weakly zonal plagioclase Nos 38-42 in phenocrysts, amounting to 14-15%; 0.3% clinopyroxene ( $Wo_{34}$ ,  $En_{46}$ ,  $Fs_{20}$ ), 0.2% orthopyroxene ( $Fs_{32}$ ), 0.2% titanomagnetite, and accessory apatite.

The pumices associated with the caldera formation contain various inclusions: (1) ultrabasic plagioclase rocks, allivalite and eucrites, (2) fine-grain porous inclusions with typical knitted, "framework" textures and a composition varying from basalts to andesites, they are permanently in association with (1); (3) olivine gabbro and gabbro-norite and (4) granitoids.

Table 18

Average Composition of Lavas of the Present Karymsky Volcano and of 1962-1965, and 1970-1982 Eruptions

Components	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	61.52	63.16	62.39	62.20	70.72
TiO <sub>2</sub>	1.10	1.00	0.94	0.84	0.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.28	16.79	16.90	16.51	12.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.38	1.81	1.96	1.97	1.24
FeO	3.65	4.04	3.78	3.96	1.22
MnO	—	0.14	0.17	0.15	0.06
MgO	1.9	1.93	2.06	1.64	0.50
CaO	5.84	5.30	5.17	5.32	2.17
Na <sub>2</sub> O	4.58	3.97	4.57	4.53	3.85
K <sub>2</sub> O	1.27	1.78	1.74	1.71	3.50
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.36	0.11	0.21	0.20	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.19	—	0.11	0.20	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.64	—	0.11	0.30	0.12
Total	99.97	100.72	100.11	99.53	—
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.7038	—	—	0.7040	—
δ <sup>18</sup> O	—	—	+7.0‰	+6.5‰	—

Note. 1 — andesite, the northern Holocene lava complex; 2 — andesite, the southern Early Holocene lava complex; 3 — andesite, of 1962-1965 eruption; 4 — andesite, 1970-1980 eruption; 5 — rhyolite-dacite, pumices of 11 May, 1963 eruption.

**Fumaroles, sublimates and springs.** Fumarolic activity has been observed on all lava flows; the highest amount of fumaroles is associated with the pillow-lava flow. In all samples CO<sub>2</sub> predominates in the acid part of the gases. There are large amounts of HCl and HF with higher concentrations of the former in high-temperature fumaroles. Condensates show up to 175 mg/l of fluorine. Gases of low temperature fumaroles (240°C) on lava flows have the following chemical composition (in volume %): H<sub>2</sub>O — 13.1; HCl — 0.009; HF — 0.0009; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — 0.007; H<sub>2</sub>S — 0.007; CO<sub>2</sub> — 0.5; N<sub>2</sub> — 70. The composition of the high-temperature gas (920°C) in the crater is in volume %: CO<sub>2</sub> — 10.5; N<sub>2</sub> — 86.4; H<sub>2</sub> — 2.15; Ar — 1.26; CH<sub>4</sub> — 0.002 [Menyailov et al., 1980].

Concentrations of radon in the spontaneous gas of one of the gryphons of Karymsky thermal springs were 0.7-1.0 eman during the 1967-1970 period of test of the volcano. Before the 1970 eruption the concentration of radon increased to 3.5 eman. At the initial stage of the 1970 eruption, on May 11—15, the amount of radon was maintained at 3-3.5 eman level. With the waning explosive activity, radon concentrations decreased to 1.5-2.0 eman [Khrenov et al., 1982].

Typical of Karymsky volcano is the uneven distribution of both fumarolic minerals and fumaroles proper depending on the types of flows. The developed are fluorides generated at the most high-temperature stage of lava cooling; fluorine-aluminates (ralstonite, hyolite, cryolite, weberite) and fluorine-silicates (cryptohaline, malladrite), alkaline and earth-alkaline metals and water-free

fluorides (fluorite). Less developed are chlorides and sulfates. Chlorides are represented by a group of ammonium chloride and halite; minerals of sulfates, by simple anhydrous, group of anhydrite, and simple water compounds — a group of astrakhanite, gypsum and vitriol. Most of all fumarolic minerals, and in particular minerals of fluorides, form on liquid pillow or sheet lava flows with high gas concentrations.

Fumarolic minerals of Karymsky andesitic lavas show high concentrations of the elements of the small petrogenous, rare metallic and metallic groups. The broadest spectrum of microelements is characteristic of sublimates of chlorides, whereas the sublimates of both sulfates and chlorides are marked by the highest concentrations of some microelements [Ivanov, 1970].

Karymsky thermal springs are 3 km southeast of the cone of the volcano, and in the southwestern part of the broad Karymsky river valley (Figs 129-134). The hydrothermal activity has two forms: a discharge of low-temperature thermal waters (18-28°C) in the northwestern part of the valley, and gryphons with a temperature of 32-43°C in the flood-plain of the Karymskaya river. The chemical composition of the therms is uniform throughout all the springs and characterized by the predominance of sulfate ion and magnesium hydrocarbonates, as well as by high silicic acid concentration [Ivanov, 1974].

**Geophysical characteristic.** Regional gravimetric survey data suggest that the Cretaceous basement near Karymsky is about 4 km deep. The positive magnetic and gravity anomalies associated with the Karymsky caldera are linked with a subvolcanic intrusion or a peripheral magma chamber. The depth to its gravity centre is 4-5 km, the depth to the upper edge is about 1.5 km, and the excess positive weight of the anomalous body is  $1.7 \times 10^{16}$  g. Given a spheric shape and allowed values of excess density, the radius of the hypothetical chamber can be from 2.3 to 3.5 km [Zubin et al., 1971]. Geodetic and aerial photogrammetry observations point to a possible magma chamber beneath the volcano, sphere-shaped and 0.5-0.7 km in radius at a depth of 1-1.5 km [Magus'kin et al., 1982].

Seismologic studies of volcano-tectonic earthquakes have identified a significant feature of their distribution: there has not been a single earthquake within a 2.5 km radius of the spheric zone, with a 6.5 km deep centre coinciding in plan with the crater of the volcano. The hypocentres of all earthquakes proved to be inside a spheric layer limited by radii  $R_1=2.5$  km and  $R_2=7.5$  km.

These data confirm the existence of a magma chamber under Karymsky volcano. It has a close to spheric shape though seismic evidence does not rule out also a cylindrical configuration, with the upper edge at the depth of 4 km [Shirokov et al., 1988].

**Prognosis of eruptions. Distribution of volcanoes.** Karymsky volcano is now in the activation period of a new volcanic cycle, already about 500 years old. Given the duration (700-1300 years) of similar activation periods in the past, and the maintained high productivity of the volcano, its activity will hardly weaken in the next 100-200 years.

The mode of eruptions is due to remain: there will be shortly spaced explosive and effusive-explosive eruptions releasing andesitic tephra (often pumices), and lava flows, with the total volume of the products from 0.001-0.002 to 0.02-0.03 km<sup>3</sup>. The volcanically dangerous zone threatened by lava flows will be limited to the caldera; thickness of the tephra of one eruption may vary in the caldera from 5-40 cm to 100-120 cm at the foot of the cone. Outside the caldera, 4-5 km away from the volcano it will be 20-30 cm maximum; at a distance of 10 km, about 3-5 cm (coarse and fine ash). A large explosive crater or a small caldera are possible as a result of one of the explosions. The andesitic composition of the ejecta, emergence of an extrusive dome in the crater and agglomerate flows at the start of the explosive-effusive stage indicate that the volcano is capable of a Peléean eruption.



Рис. 129. Над облачным покровом поднимается кратерная вершина Карымского вулкана, происходит извержение пепла. На переднем плане — гребни лавовых потоков. Снимок с уступа вершины вулкана Двор, с севера. Фото В.Е. Гилпенрейтера

Fig. 129. The crater summit of Karymsky rises over the clouds; note the ejection of ashes. In the foreground are crests of lava flows. The photo was taken from a cliff at the summit of Dvor volcano, from the north.