

Синоним. Сопка Жупановская, сопка Вахильская.

*Местоположение.* Координаты наивысшей точки: 54° 35' с.ш., 159° 17' в.д.

Геологическое положение. Вулкан расположен в юго-восточном вулканическом поясе Камчатки. Основная особенность структурного положения вулкана—приуроченность к разлому северо-западного простирания, вдоль которого расположена цепь четвертичных вулканов, образующих Дзендзурско-Жупановский вулканический хребет.

Геология **фундамента.** Дислоцированные и метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения мел-палеогенового фундамента выходят на дневную поверхность к востоку и юго-востоку на расстоянии 20—30 км от вулкана, где достигают высоты 600—700 м над уровнем моря. Выше мел-палеогенового фундамента залегают миоценовые вулканические образования первого этапа. Они представлены вулканитами разных фаций и состава и интрузиями габбро и диоритов. Отложения этой толщи дислоцированы в связи с деформациями куполообразования.

Второй этап развития соответствовал формированию плиоцен-среднеплейстоценовых вулканических и вулканогенно-осадочных отложений. Основная масса вулканических аппаратов располагалась на своде Налачевского купола, т.е. к ЮЗ от Жупановского вулкана, однако часть из них несомненно располагалась и под ним. Они также деформированы в связи с продолжающимся куполообразованием и формированием кальдерных просадок. Непосредственно под вулканом располагается одна такая кальдера плиоцен-раннеплейстоценового возраста. Размеры ее, судя по реконструированным контурам, составляют примерно 25X30 км. Высота кальдерного уступа к востоку от вулкана достигает 350 м.

Морфология и **строение.** Жупановский вулкан представляет собой восточную часть Дзендзур-Жупановского вулканического хребта, образованную четырьмя слившимися конусами стратовулканов близкого возраста и строения. Абсолютная высота самого низкого западного конуса 2505,6 м, самого высокого восточного — 2958,0 м. Относительная высота вулкана 2300—2400 м. Западная часть Дзендзур-Жупановского вулканического хребта длиной 6 км и высотой до 2300 м представлена руинами вулкана Дзендзур, средняя часть — проявлениями многовыходного вулканизма с относительно крупными вулканами Юрьевский, Тетяева, Сириневый и большим количеством мелких аппаратов в виде экструзий и лавовых конусов с длинными лавовыми потоками. Общая длина вулканического хребта 20 км, средней части 7 км, цепи конусов Жупановского вулкана — 6 км.

Жупановский вулкан отличается относительно хорошей сохранностью первичных форм, прорезан лишь неглубокими барранкосами, лучше выраженными на северных склонах. Конусы составляющих его стратовулканов морфологически различаются только в привершинной части массива, ниже высоты 2300 м сливаясь в единую постройку. На вершинах конусов имеются кратеры диаметром от 0,3 до 1 км. Кратер четвертого (с востока) конуса представляет собой овальное углубление, вытянутое с ЮВ на СЗ, размером 0,35X0,55 км. Глубина ~ 150 м. На третьем конусе имеется вершинный кратер округлой формы диаметром около 300 м и глубиной до 100 м с

отвесными стенками. На дне и в восточной стенке в 1966 г. наблюдались три фумаролы, в 1970 г. осталась только одна. На ЮЗ склоне конуса в 200 м от края кратера имеется воронка взрыва диаметром 80 м и глубиной 40 м. Два фумарольных поля расположены соответственно на высоте 2650 (площадка 30X20 м) и 2750 м (крутая стена высотой 50—60 м и шириной 40—50 м) на СЗ склоне третьего конуса. Кратер второго конуса сохранился лишь в виде гребня, открытого на север. У его западного окончания — две фумарольные воронки и одно фумарольное поле, выделяющее основную массу газов и тепла вулкана. Первый, восточный конус также не имеет хорошо выраженного кратера, и сохранились лишь его фрагменты.

Таким образом, по степени сохранности и свежести первичных форм третий конус является наиболее молодым — все исторические извержения происходили через него. Однако по выносу энергии в настоящее время первое место занимает второй конус, характеризующийся наиболее мощной фумарольной деятельностью.

Лавовые потоки вулкана морфологически хорошо выражены на южном склоне, так как северный сильно засыпан пирокластикой. На южном склоне вулкана отмечаются многочисленные купола типа тьюя. С деятельностью вулкана связаны также пирокластические потоки, отложения которых фиксируются в пределах южного и восточного подножий, распространяясь до 20 км от вершины вулкана. Кальдера вулкана морфологически выражена только в восточном секторе его подножий в виде дугового уступа длиной 12 км и высотой до 350 м.

Жупановский вулкан—центр мощного современного оледенения. Наиболее крупные ледники от привершинных фирновых полей спускаются по северным склонам массива (рис. 139—142).

**Возраст и история развития.** Возраст кальдеры, в пределах которой расположен вулкан, судя по породам, слагающим кальдерный уступ, плиоцен-раннеплейстоценовый. Образование кальдеры связано с извержением пирокластики игнимбритового облика. Следовательно, уже в течение второго этапа развития Налачевского вулканического центра в основании Жупановского вулкана сформировался самостоятельный вулкан или группа вулканов, которые можно считать начальной фазой его деятельности. О состоянии вулкана в среднеплейстоценовое время сведений не имеется, но в течение верхнего плейстоцена, по крайней мере 40—50 тыс. лет назад, существовал крупный центр верхнеплейстоценового оледенения. К началу голоцена сформировались три крупных конуса стратовулкана (I, II, IV, рис. 140, 143). Их мощные протяженные лавовые потоки распространились на юг до р. Налачевой и на север до р. Жупановой. В конце верхнего плейстоцена образовались также лавовые купола на южном склоне вулкана. Излияние лав происходило в подледных условиях, с чем связана их своеобразная морфология типа тьюя.

Формирование третьего конуса происходило в течение голоцена. Оно имело эффузивно-эксплозивный характер. Следы эксплозий запечатлены десятками пепловых горизонтов в почвенно-пирокластических чехлах подножья вулкана. В начале голоцена деятельность вулкана характеризовалась частым чере-

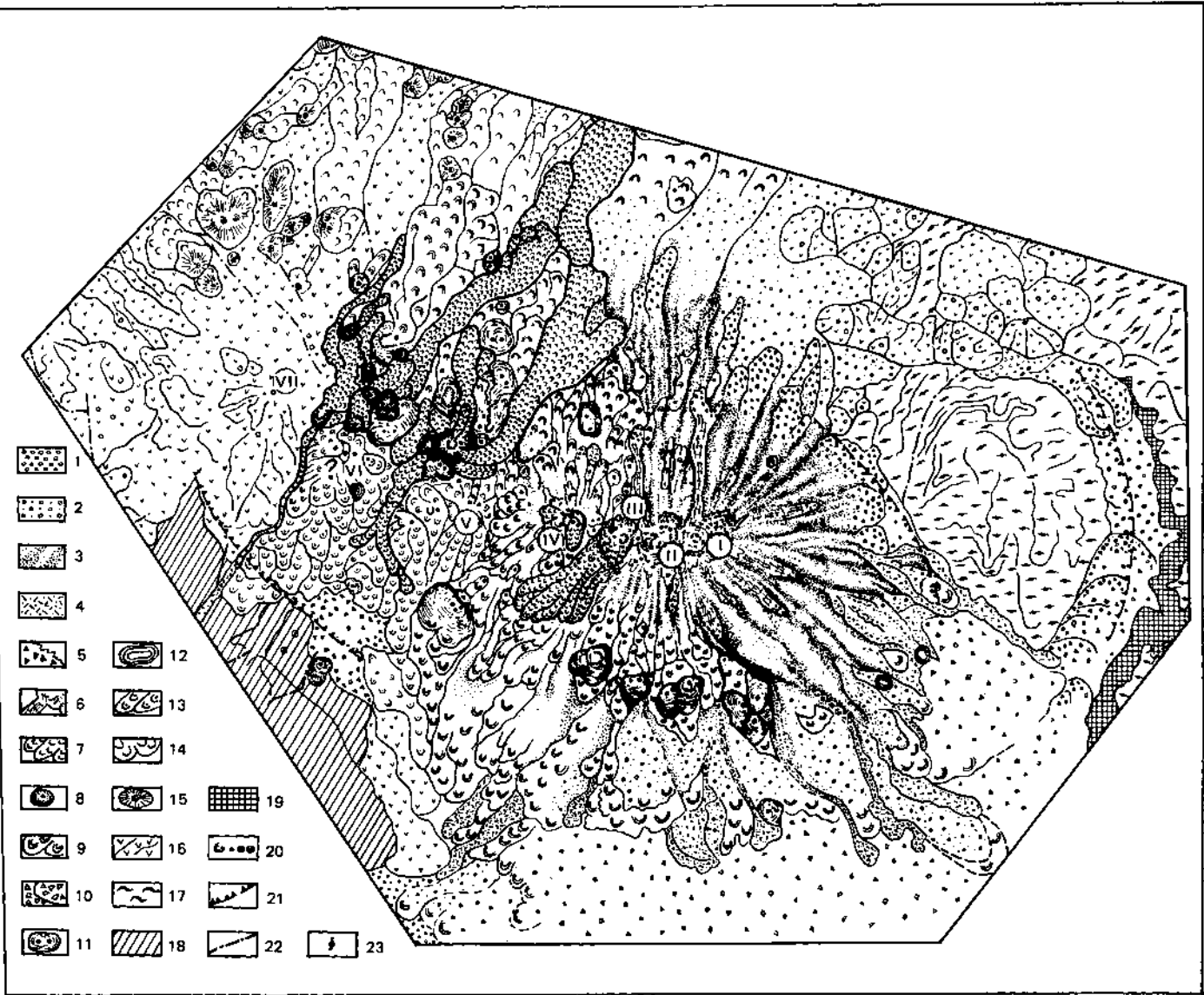


Рис. 140. Схематическая геологическая карта Жупановского и Дзензурского вулканов

1 — современные аллювиальные отложения (Q<sub>1</sub>); 2 — пролювиальные отложения (Q<sub>2</sub>); 3 — пирокластическая конуса стратовулкана (Q<sub>3</sub>); 4 — отложения пирокластических потоков (Q<sub>4</sub>); 5 — морены современных ледников (Q<sub>5</sub>); 6 — современные ледники (Q<sub>6</sub>); 7 — лавовые потоки базальтов, андезито-базальтов и андезитов (Q<sub>7</sub>); 8 — шлаковые конусы (Q<sub>8</sub>); 9 — лавовые потоки, слегка обработанные ледниками (Q<sub>9</sub>); 10 — морены верхнеледниковых ледников (Q<sub>10</sub>); 11 — лавовые купола типа туйя (Q<sub>11</sub>); 12 — экструзивные купола (Q<sub>12</sub>); 13 — лавовые потоки (Q<sub>13</sub>); 14 — лавовые потоки, плохо выраженные в рельефе (Q<sub>14</sub>); 15 — шлаковые конусы (Q<sub>15</sub>); 16 — разрушенные стратовулканы (Q<sub>16</sub>); 17 — туфы и игнимбриты (N<sub>1</sub>—Q<sub>1</sub>); 18 — останцы стратовулканов (N<sub>2</sub>—Q<sub>2</sub>); 19 — дислоцированные вулканогенно-осадочные и осадочные отложения (Cr<sub>1</sub>—Pg<sub>1</sub>); 20 — центры вулканических извержений; а — хорошо выраженные в рельефе кратеры, б — эруптивные центры голоцен-верхнеледниковых возрастов, в — эруптивные центры верхнеледниковых возрастов, г — предполагаемые центры плиоцен-нижнечетвертичного возраста; 21 — предполагаемые кольцевые разломы, ограничивающие кальдерные депрессии; 22 — тектонические нарушения; 23 — фумаролы. I, II, III, IV — вершины Жупановского вулкана; V — вулкан Сиреневый; VI — вулкан Юрьевский; VII — вулкан Дзензур

Fig. 140. Schematic geologic map of Zhupanovsky and Dzenzursky volcanoes

1 — modern alluvial strata — Q<sub>1</sub>; 2 — proluvial strata — Q<sub>2</sub>; 3 — pyroclastics of the cone of the stratovolcano — Q<sub>3</sub>; 4 — strata of pyroclastic flows — Q<sub>4</sub>; 5 — moraines of modern glaciers — Q<sub>5</sub>; 6 — modern glaciers — Q<sub>6</sub>; 7 — lava flows of basalts, andesite-basalts and andesites — Q<sub>7</sub>; 8 — cinder cones — Q<sub>8</sub>; 9 — lava flows slightly reworked by glaciers — Q<sub>9</sub>; 10 — moraines of Upper Pleistocene glaciers — Q<sub>10</sub>; 11 — tuya lava domes — Q<sub>11</sub>; 12 — extrusive domes — Q<sub>12</sub>; 13 — lava flows — Q<sub>13</sub>; 14 — lava flows indistinct in the relief — Q<sub>14</sub>; 15 — cinder cones — Q<sub>15</sub>; 16 — destroyed stratovolcanoes — Q<sub>16</sub>; 17 — tufts and ignimbrites — N<sub>1</sub>—Q<sub>1</sub>; 18 — relics of stratovolcanoes — N<sub>2</sub>—Q<sub>2</sub>; 19 — dislocated volcano-sedimentary and sedimentary strata — Cr<sub>1</sub>—Pg<sub>1</sub>; 20 — centres of volcanic eruptions: (a) pronounced in the relief of the crater, (b) eruptive centres of the Holocene—Upper Pleistocene age; (c) eruptive centres of the Upper Pleistocene age, (d) hypothetic centres of the Pliocene—Lower Quaternary age; 21 — hypothetic ring faults limiting the cauldron depressions; 22 — tectonic faults; 23 — fumaroles. I, II, III, IV — the summits of Zhupanovsky volcano; V — Sirenevsky volcano; VI — Yurievsky volcano; VII — Dzenzursky volcano

дованием умеренных и слабых извержений с пачками плохо-стратифицированных грубых пеплов (5–7 тыс. лет назад). Во второй половине голоцена характер эксплозивной деятельности меняется: отдельные сильные извержения разделяются продолжительными периодами покоя. Так, сильное извержение произошло около 2 тыс. лет назад — его тейфра залегают непосредственно под транзитным пеплом вулкана Ходутка с возрастом 1850–1900 лет назад. Ко второй половине голоцена относятся и извержения пирокластических потоков, один из которых датирован по содержащимся в нем углям возрастом 2170±50 (ИВ–546) лет назад. Последнее крупное извержение произошло, вероятно, около 800–900 лет назад, судя

по соотношению его тейфра с датированными пеплами вулкана Карымского (около 400–500 лет назад) и вулкана Опала (1400–1500 лет назад). Формирующиеся в это время лавовые потоки на южном склоне достигали длины 5–6 км.

В пределах остальной части постройки эффузивная деятельность имела ограниченный характер и была сосредоточена только в привершинной части конусов. Длина лавовых потоков не превышала здесь 1–2 км. Эти потоки изливались главным образом из бок в привершинной части и, реже, из самих вершинных кратеров.

**Описание извержений.** Исторические извержения связаны с третьим конусом. Их даты: 1776, 1882, 1925, 1929, 1940,

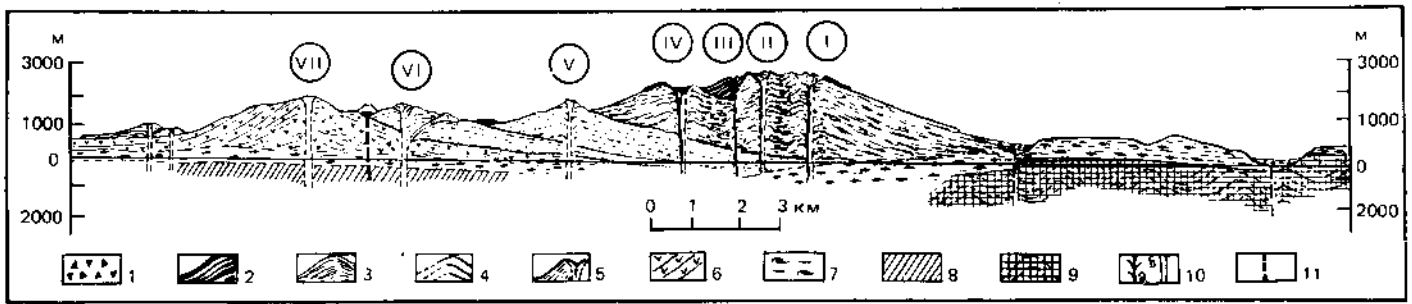


Рис. 143. Геологический разрез (восток—северо-запад) через вершины вулканов Жупановского (I—IV), Сиреневого (V), Юрьевского (VI), Дзвензурского (VII)

1 — морены современных и верхнеплейстоценовых ледников ( $Q_3-Q_4$ ); 2 — лавовые потоки базальтов, андезитов-базальтов и андезитов ( $Q_4$ ); 3 — лавы и туфы, слогающие конусы Жупановского вулкана ( $Q_1^1-Q_2^1$ ); 4 — лавы и туфы, слогающие конусы Юрьевский и Сиреневый ( $Q_2$ ); 5 — шлаковые конусы и их лавовые потоки ( $Q_3$ ); 6 — лавы и туфы, слогающие вулкан Дзвензурский ( $Q_2$ ); 7 — туфы, игнимбриты ( $N_1-Q_1$ ); 8 — вулканические образования и вулканогенно-осадочные отложения ( $N_1-Q_1$ ); 9 — дислоцированные вулканогенно-осадочные и осадочные отложения ( $Cr_1-Pg$ ); 10 — предполагаемые подводные каналы вулканов: а — голоценовые, б — верхнеплейстоценовые; 11 — кольцевые разломы кальдерной депрессии

Fig. 143. Geologic section (east-northwest) transecting the summits of Zhupanovsky (I—IV), Sirenev (V), Yuriyevsky (VI) and Dzenzursky (VII)

1 — moraines of modern and Upper Pleistocene glaciers —  $Q_3-Q_4$ ; 2 — lava flows of basalt, andesite-basalts and andesites —  $Q_4$ ; 3 — lavas and tufts composing Zhupanovsky —  $Q_1^1-Q_2^1$ ; 4 — lavas and tufts composing Yuriyevsky and Sirenev —  $Q_2$ ; 5 — cinder cones and their lava flows —  $Q_3$ ; 6 — lavas and tufts composing Dzenzursky  $Q_2$ ; 7 — tufts, ignimbrites —  $N_1-Q_1$ ; 8 — volcanic units and volcano-sedimentary strata —  $N_1-Q_1$ ; 9 — dislocated volcano-sedimentary and sedimentary strata —  $Cr_1-Pg$ ; 10 — hypothetical conduits of the volcanoes: (a) Holocene; (b) Upper Pleistocene; 11 — ring faults of the caldera depression

1956—1957 гг. Все они имели характер сравнительно небольших эксплозий. Общий объем пород, извергнутых вулканом с верхнего плейстоцена, не менее  $350 \text{ км}^3$ . Средняя продуктивность равна  $7 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ , или  $(15-20) \cdot 10^6 \text{ т/год}$ , что эквивалентно  $20-25 \cdot 10^7 \text{ кал/с}$ . Такой расход энергии дает основание отнести вулкан к весьма продуктивным (рис. 144).

**Продукты извержения.** Породы вулкана Жупановского представлены базальтами, андезитов-базальтами, андезитами и дацитами. Наиболее распространенными являются андезиты. Они составляют около 50%, а вместе с дацитами — 68% выборки проанализированных образцов. На долю базальтов и андезитов-базальтов приходится по 16%. Эти данные хорошо совпадают с подсчетом площадей распространения типов пород: базальты и андезитов-базальты — 34%, андезиты и дациты — 66% площади [Ермаков и др., 1973]. Следовательно, можно принять такое распределение типов пород как близкое к их объемному соотношению в вулкане. Тогда среднее и средневзвешенное содержание окиси кремния в породах Жупановского вулкана должно быть равно 59,66%, т.е. вулкан относится к андезитовым. Фактически гистограмма распределения окиси кремния в породах свидетельствует о присутствии трех породных групп: базальтов, андезитов-базальтов и андезитов, дацитов, разделенных глубокими минимумами.

По химическому составу в подавляющей массе породы относятся к известково-щелочной серии (табл. 23). Это в первую очередь касается андезитов-базальтов и андезитов.

Таблица 23

Средний химический состав пород вулкана Жупановского, % массы

Оксиды	Вулканиды				Ксенолиты				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	50,52	55,60	60,47	68,80	46,60	52,00	50,20	55,11	59,0
TiO <sub>2</sub>	1,26	0,92	0,79	0,52	0,95	1,20	1,12	0,95	0,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,31	16,91	16,38	15,20	22,59	16,12	18,36	17,64	18,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,56	2,94	2,51	1,20	7,38	3,42	4,76	8,99	7,60
FeO	4,55	4,62	3,72	1,40	2,64	6,85	5,45		
MnO	0,19	0,18	0,15	0,12	0,14	0,21	0,19	Н.о.	Н.о.
MgO	4,68	5,05	2,93	0,84	4,36	4,72	4,60	"	"
CaO	9,50	7,76	6,24	3,14	12,17	8,76	9,89	"	"
Na <sub>2</sub> O	3,49	4,06	4,07	4,87	2,84	4,22	3,76	"	"
K <sub>2</sub> O	0,85	1,32	1,60	2,71	0,18	0,67	0,51	"	"
H <sub>2</sub> O	0,15	0,18	0,15	0,14	0,18	0,10	0,13	"	"
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,64	0,53	0,56	0,91	0,17	0,68	0,51	"	"
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,29	0,20	0,14	0,10	0,11	0,11	"	"
Сумма	100,00	100,36	99,77	99,99	100,30	99,05	99,59		

Примечание. 1 — базальты (6 ан.); 2 — андезитов-базальты (6 ан.); 3 — андезиты (18 ан.); 4 — дациты (7 ан.); 5 — габбро-анортозит (1 ан.); 6 — габбро (1 ан.); 7 — средние из 1 части 5-го и 2 частей 6-го; 8 — габбро-диорит (7 ан.); 9 — диорит (3 ан.).

Здесь все характеристики показывают устойчивые признаки этой серии. Однако для базальтов характерно слишком высокое содержание окиси железа, что сближает их с породами толеитовой серии. Аналогично соотношение между железом и магнием и в дацитах. По этому признаку они напоминают продукты дифференциации толеитовых базальтов. По минералогическому составу все породы довольно однообразны: преобладание во вкрапленниках плагиоклазов, одновременное присутствие ромбического и моноклинового пироксенов. В базальтах обычны оливин. В андезитах и дацитах довольно часто встречаются амфиболы, очень редко в единичных зернах присутствует кварц. Общее количество вкрапленников колеблется от 5 до 35%, наиболее насыщены ими андезиты. Неравновесные ассоциации минералов и наибольшее их разнообразие также свойственны андезитам.

Широко распространены ксенолиты и гомеогенные включения. Ксенолиты представлены кристаллическими сланцами основного состава, габбро-анортозитами, габбро, диоритами. Гомеогенные включения в центре ядра часто содержат реликты непереработанных ксенолитов. Обращает на себя внимание химическое подобие основных ксенолитов базальтам, габбро-диоритовым — андезитов-базальтам и диоритовым — андезитам. Наряду с признаками явного плавления ксенолитов, их реакционного преобразования и ассимиляции это указывает на возможный источник образования магм — плавление кристаллического субстрата, подобного ксенолитам.

**Фумаролы, возгоны.** Выше было описано размещение фумарольных площадок и воронок на втором и третьем конусах. Согласно данным А.П. Горшкова и Ю.Б. Слезина [1972], температура фумарол колеблется от 94 до 430°C, скорость выхода парагазовой смеси — от 0,2 до 29,0 м/с, расход смеси — от 0,05 до 15,5 кг/с, общая тепловая мощность составляет  $7 \cdot 10^7 \text{ кал/с}$ , что эквивалентно расходу лавы примерно в  $5,5 \cdot 10^6 \text{ т/год}$ . Вокруг фумарол породы сильно изменены, импрегнированы серой, самородная сера образует сплошной покров площадью несколько десятков метров вокруг одной из воронок второго конуса.

**Геофизическая характеристика.** Мощность коры под Жупановским вулканом оценивается в 25—30 км. Вулкан расположен на пересечении продольной и поперечной градиентных зон в поле силы тяжести. Сейсмическое просвечивание корней вулкана выявило непосредственно под границей Мохо область ослабления сигнала на 65—85%. Размеры неоднородности, расположенной под Жупановским вулканом, составляют примерно  $5 \times 15 \text{ м}$ . Неоднородность вытянута от вулкана в ЗЮЗ направлении [Фарберов, 1974]. Существование асейсмической области, совпадающей с выделенной неоднородностью и распространенной на большей территории к югу от вулкана, а по глубине — включая фокальный слой, выявляется на картах распределения эпицентров землетрясений [Горельчик, 1974].



Рис. 144. Вид на вулкан Жупановский с юго-запада. Третий с востока конус — место исторических извержений вулкана. Фото В.Е. Гиппенрейтера

Fig. 144. A southwestern view of Zhupanovsky volcano. The third cone from the east is the site of historic eruptions of the volcano. Photo by V.Ye. Gippenreiter

**Вулканическое районирование, прогноз извержений.** Сопоставление средней продуктивности вулкана с его тепловой разгрузкой в настоящее время (соответственно  $20-25 \cdot 10^7$  и  $7 \cdot 10^8$  кал/с) указывает на некомпенсированный вынос тепла фумаролами и на вероятность накопления энергии в недрах вулкана. Если извержение 1956—1957 гг. привело вулкан в состояние равновесия, то с того времени в его глубинах могло быть накоплено такое количество избыточной энергии, которое эквивалентно извержению  $3-4 \cdot 10^8$  т, или  $0,1-0,2 \text{ км}^3$  вулканитов. Извержение подобного масштаба не является исключительным и большой опасности представлять не будет.

Однако следует иметь в виду, что сделанные оценки приблизительны, особенно в допущении того, что при последнем извержении вулкана была сброшена вся избыточная энергия его недр.

Накопленная энергия может значительно превышать указанный уровень, а процесс накопления будет продолжаться. Будущее извержение Жупановского вулкана может представлять некоторую опасность для г. Петропавловска-Камчатского и других населенных пунктов лишь в том случае, если масштабы его существенно превысят оценочные и оно будет иметь эксплозивный характер.

Synonym. Zhupanovskaya sopka, Vakhul'skaya sopka.

*Location.* Coordinates of the highest point: 53°35'N, 159°17'E.

**Geographic position.** The volcano is located within the southeastern volcanic belt of Kamchatka. It is associated structurally with a northwestern fault aligned with a chain of Quaternary volcanoes of Dzenzursky-Zhupanovsky volcanic ridge.

**Geology of the basement.** Dislocated and metamorphosed, volcano-sedimentary strata of the Cretaceous-Paleogene basement outcrop in the east and southeast 20-30 km from the volcano where they are 600-700 m above sea level. The Cretaceous-Paleogene basement underlies Miocene volcanic units belonging to the first stage of the volcanic formations. The volcanics vary in terms of their facies and composition, showing intrusions of gabbros and diorites. The strata are dislocated due to dome-building deformations.

The second stage corresponded to Pliocene-Middle Pleistocene formation of volcanic and volcano-sedimentary deposits. They are also deformed due to the continuous dome-building and cauldron sinking. There is such a Pliocene-Early Pleistocene caldera immediately below the volcano. The reconstructed outlines suggest it was 25 by 30 km in size. The height of the cauldron scarp east of the volcano is 350 m.

**Morphology and structure.** Zhupanovsky volcano is the eastern part of the Dzenzur-Zhupanovsky volcanic range composed of four merged cones of stratovolcanoes of similar ages and structures. The absolute height of the lowest, western, cone is 2505.6 m, that of the highest, eastern, is 2958.0 m. The relative height of the volcano is 2300-2400 m. The western part of Dzenzur-Zhupanovsky ridge is 6 km long and up to 2300 m high, represented by ruins of Dzenzursky volcano; the middle part are units of multiple-vent volcanism with relatively big volcanoes of Yurievsky, Tetyaev and Sirenev, and a large number of smaller apparatuses in the form of extrusions and lava cones with long lava flows. The overall length of the volcanic range is 20 km, that of the middle part is 7 km, and that of the chain of Zhupanovsky cones 6 km.

Zhupanovsky has relatively well preserved primary forms and shows only shallow barrancos pronounced on northern slopes. The cones of the constituent stratovolcanoes are morphologically distinguishable only at the summit of the massif while below 2300 m they merge in a single structure. The summits of the cones have craters from 0.3 to 1 km in diameter. The crater of the fourth from the east cone is an oval depression 0.35X0.55 km in size and extended from SE to NW. It is — 150 m deep. The third cone has a round summit crater about 300 m in diameter and is up to 100 m deep, with steep walls. In 1966, three fumaroles were observed at the bottom of the crater and in its eastern wall but by 1970 only one remained. On the southwestern slope of the cone 200 m from the edge of the crater there is a blast crater 80 m in diameter and 40 m deep. Two fumarole fields are situated at a height of 2650 m (30 by 20 m) and 2750 m (a steep wall 50-60 m high and 40-50 m wide) on the northwestern slope of the third cone. The crater of the second cone is preserved only in a crest facing north. There are two fumarolic craters and one fumarole field at its western tip which release the bulk of the gases and heat of the volcano. The first, eastern cone does not have a pronounced crater, with only fragments of it preserved. Thus, the third cone, as the best preserved and with the freshest primary forms, is the youngest: it has gone through all the historic eruptions. However, in terms of heat losses, the first place belongs to the second cone which has the strongest fumarolic activity.

Lava flows of the volcano are morphologically distinct on the southern slope since the northern one is buried under pyroclastics. There are numerous tuya-type domes on the southern slope. Pyroclastic flows are associated with the activity of the volcano their deposits at the southern and eastern foot of the volcano are developed up to 20 km from the summit of the volcano. The caldera is morphologically pronounced only in the eastern sector of the piedmont as an arcuate scarp 12 km long and up to 350 m high.

Zhupanovsky is a centre of intense modern glaciation. The biggest glaciers descend from summit firn fields along the northern slopes of the massif (Figs 139—142).

**Age and evolution.** Rocks composing the caldera scarp suggest a Pliocene-Early Pleistocene age of the volcano's caldera. Formation of the caldera is associated with the eruption of ignimbrite pyroclastics. Consequently, already at the second stage of the evolution of the Nalachevo volcanic centre there was an independent volcano, or a group of volcanoes, at the base of Zhupanovsky that could be regarded as an initial phase of its activity. There are no data on the Middle Pleistocene behaviour of the volcano though it is known that at least 40-50 thousand years ago, in the Upper Pleistocene, there was a major centre of Upper Pleistocene glaciation. By the start of the Holocene, there had been three big cones of a stratovolcano (I, II, IV, Figs 140, 143). Their thick long lava flows spread southward as far as Nalachevaya river and northward to Zhupanovskaya river. Late in the Upper Pleistocene, there were also lava domes on the southern slope of the volcano. Lavas erupted under ice producing a specific, tuya-type morphology.

The third cone formed during the Holocene in effusive-explosive eruptions. Traces of explosions are registered by scores of ash horizons in the soil-pyroclastic sheets at the foot of the volcano. Early in the Holocene, the activity of the volcano was characterized by frequent alternation of moderate and weak eruptions that deposited members of poorly stratified coarse ashes (5-7 thousand years ago). The mode of explosive activity changed in the later half of the Holocene: then, single strong eruptions were separated by long periods of rest. A strong eruption took place about 2 thousand years ago: its tephra lies immediately under 1850-1900-year old ashes of Khodutka volcano. The later half of the Holocene is marked also by eruptions of pyroclastic flows; one of those has been dated from the enclosed coals as 2170 ± 5 (IB-546) years old. The last big eruption must have occurred about 800-900 years ago judging by its tephra relation with the dated ashes of Karymsky volcano (about 400-500 years ago) and Opala volcano (1400-1500 years ago). The then formed lava flows on the southern slope were up to 5-6 km long.

In other parts of the structure effusive activity was limited, concentrated only at the summits of the cones. Lava flows rarely exceeded 1-2 km in length. They were erupted largely from bocche close to the summit or rarely from the central-vent craters.

**Description of eruptions.** Historic eruptions are associated with the third cone. Their dates are 1776, 1882, 1925, 1929, 1940, 1956-1957. They all were relatively small explosions. The overall volume of the rocks erupted by the volcano since the Upper Pleistocene is as large as 350 km<sup>3</sup>. Average productivity is 7-10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/year, or (15-20)10<sup>6</sup> tons/year, which is 20-25-10<sup>7</sup> cal/sec. Such output of energy gives reasons to regard the volcano as productive (Fig. 144).

**Products of eruptions.** Zhupanovsky rocks are represented by basalts, andesite-basalts, andesites and dacites. The most widespread are andesites. They account for 50%, or 68% together with dacites,

of the sample of analyzed specimens. Basalts and andesite-basalts make up 16% each. These data agree with the calculated areas of rock types distribution: basalts and andesite-basalts — 34%, andesites and dacites — 66% of the area [Yermakov et al., 1973]. Such distribution of rock types can therefore be assumed as close to their proportions by volume in the volcano. Then, the average and the weighted average silica content in rocks of Zhupanovsky must be 59.66%, which makes the volcano andesitic. Actually, the silica content histogram suggests three groups of rocks: basalts, andesite-basalts and andesites, and dacites separated by profound minima.

In the chemical composition, the bulk of the rocks belong to the calc-alkaline series (Table 23). This is true in the first place of

Table 23

Average Chemical Composition of Rocks of Zhupanovsky Volcano, per cent of Mass

Oxides	Volcanics				Xenoliths				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	50.52	55.60	60.47	68.80	46.60	52.00	50.20	55.11	59.0
TiO <sub>2</sub>	1.26	0.92	0.79	0.52	0.95	1.20	1.12	0.95	0.82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.31	16.91	16.38	15.20	22.59	16.12	18.36	17.64	18.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.56	2.94	2.51	1.20	7.38	3.42	4.76	8.99	7.60
FeO	4.55	4.62	3.72	1.40	2.64	6.85	5.45		
MnO	0.19	0.18	0.15	0.12	0.14	0.21	0.19	H.o.	H.o.
MgO	4.68	5.05	2.93	0.84	4.36	4.72	4.60	"	"
CaO	9.50	7.76	6.24	3.14	12.17	8.76	9.89	"	"
Na <sub>2</sub> O	3.49	4.06	4.07	4.87	2.84	4.22	3.76	"	"
K <sub>2</sub> O	0.85	1.32	1.60	2.71	0.18	0.67	0.51	"	"
H <sub>2</sub> O	0.15	0.18	0.15	0.14	0.18	0.10	0.13	"	"
H <sub>2</sub> O'	0.64	0.53	0.56	0.91	0.17	0.68	0.51	"	"
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.30	0.29	0.20	0.14	0.10	0.11	0.11	"	"
Total:	100.00	100.36	99.77	99.99	100.30	99.05	99.59		

Note. 1 basalts (6 an.); 2 andesite-basalts (6 an.); 3 andesites (18 an.); 4 dacites (7 an.); 5 gabbro-anorthosite (1 an.); 6 gabbro (1-6 an.); 7 average of 1 part of the 5th, and 2 parts of the 6th; 8 gabbro-diorite (7 an.); 9 diorite (3 an.).

andesite-basalts and andesites. All the properties here point to the persistent features of this series. Basalts though show Fe content, which brings them closer to rocks of the tholeiitic series. There is a similar relation between Fe and Mg in dacites as well, in that they resemble products of differentiation of tholeiitic basalts. Mineralogically, all rocks are rather uniform showing predominance of plagioclases in phenocrysts and synchronous presence of rhombic and monoclinical pyroxenes. Olivines are common in basalts. Andesites and dacites often show amphotiboles, quartz is very rare in singular grains. The overall number of phenocrysts ranges from 5 to 35%, the

biggest number is in andesites. Disequilibrium associations of minerals and their highest diversity are also typical of andesites.

Xenoliths and homogenous inclusions are widely spread. Xenoliths are crystalline schists with basic composition, gabbro-anorthosites, gabbros and diorites. Homogenous inclusions at the centre of the nucleus often contain relics of unaltered xenoliths. Note the chemical affinity of basic xenoliths and basalts, and that of gabbro-diorite xenoliths and andesite-basalts, and that of diorite xenoliths and andesites. Along with distinct features of melting of xenoliths, their reaction alteration and assimilation this indicates a possible source of magmas: melting of a crystalline substratum similar to xenoliths.

**Fumaroles and sublimates.** Location of fumarolic fields and craters on the second and third cones is described above. According to A.P. Gorshkov and Yu.B. Slezin [1972], the temperature of the fumaroles ranges from 94 to 430°C, the issue rates of the gas-steam mixture are from 0.2 to 29.0 m/sec, the discharge is from 0.05 to 15.5 kg/sec, and the overall heat output is  $7 \cdot 10^7$  cal/sec, which is equal to a discharge of lavas of approximately  $5.5 \cdot 10^6$  tons/year. Rocks surrounding fumaroles are heavily altered, and impregnated with sulfur; native sulfur forms a veneer scores of metres wide around one of the craters on the second cone.

**Geophysical characteristic.** The thickness of the crust below Zhupanovsky is estimated at 25-30 km. The volcano is located at the intersection of the longitudinal and transverse gradient zones in the gravity field. Seismic screening of the roots of the volcano revealed a region of a 65-85% attenuation of the signal immediately below Moho discontinuity. The size of the discontinuity under Zhupanovsky is about  $5 \times 15$  m. It is extended WSW-ward of the volcano [Farberov, 1974]. The presence of the aseismic zone that coincides with the identified discontinuity and occupies a bigger area south of the volcano and its focal layer can be distinguished on maps of earthquake epicentres [Gorel'chik, 1974].

**Distribution and prognosis of eruptions.** Comparison of the average productivity of the volcano with its present thermal output ( $20 \cdot 10^7$  and  $7 \cdot 10^7$  cal/sec, respectively) indicates uncompensated losses of heat by fumaroles and probable accumulation of energy in the interiors of the volcano. If the 1956-1957 eruption brought the volcano to a state of equilibrium, its deeper parts might since then have accumulated an energy excess equivalent to  $3 \cdot 4 \cdot 10^8$  tons or  $0.1 \cdot 0.2$  km<sup>3</sup> of volcanics. An eruption of such a magnitude is not exceptional and will be of no serious danger. It shall be remembered however that the estimates are tentative, assuming that in the last eruption the volcano has let out all the excess energy of its entrails. The accumulated energy may exceed the indicated level while the process of accumulation will continue. The future eruption of Zhupanovsky may be of some danger for Petropavlovsk-Kamchatsky and some other settlements only if its magnitude seriously exceeds the estimates, and it is explosive.