

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FAR EASTERN BRANCH

Institute of Volcanology

V.L. Leonov, E.N. Grib

THE STRUCTURAL POSITION
AND VOLCANISM
OF THE QUATERNARY CALDERAS,
KAMCHATKA, RUSSIA


Vladivostok
Dalnauka
2004

124625

1-А ЭМО.

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Институт вулканологии

В.Л. Леонов, Е.Н. Гриб

СТРУКТУРНЫЕ ПОЗИЦИИ
И ВУЛКАНИЗМ
ЧЕТВЕРТИЧНЫХ КАЛЬДЕР
КАМЧАТКИ

124625


Владивосток
Дальнаука
2004

188 стр.

СИБИРСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗ НАУК ДАЛ

Глава I. ОБЩИЕ ДАННЫЕ О ЧЕТВЕРТИЧНЫХ КАЛЬДЕРАХ КАМЧАТКИ

С тех пор как вышли в свет первые обобщающие работы по четвертичным кальдерам Камчатки (Зубин и др., 1971; Erlich et al., 1973), прошло более 30 лет. В (Erlich et al., 1973) на территории полуострова было выделено 15 кальдер, в т. ч. две кальдеры гавайского типа (связанные с базальтовым вулканизмом) и 13 типа Кракатау (связанных с извержениями пепла и пемзы). Даже крупные взрывные воронки на вулканах в данной работе в группу кальдер не включались.

Большая сводная работа по кальдерам была опубликована в 80-х годах XX в. в США (Newhall, Dzurisin, 1988). В ней на Камчатке было отмечено 24 кальдеры. При этом в список таковых, к сожалению, попали и те, которые были выделены ошибочно еще на раннем этапе изучения Камчатки (например, «кальдеры» вулканов Унана, Зимина, Белянкина и пр.). В то же время не были выделены многочисленные четвертичные кальдеры, приуроченные к вершинам щитовых базальтовых вулканов Срединного хребта (Огородов и др., 1972). Единственная из кальдер данного хребта, упоминаемая всеми исследователями, — это кальдера Уксичан, хотя и возраст, и происхождение ее до сих пор остаются дискуссионными (Леонов, 2003).

В 1991 г. была опубликована крупная двухтомная монография «Действующие вулканы Камчатки», в которой в отдельных статьях и на картах было отмечено 37 кальдер четвертичного возраста, но специально в этой работе кальдеры не рассматривались.

Из данных, приведенных выше, видно, что в настоящее время нет однозначных сведений о количестве четвертичных кальдер на Камчатке, не проведена их систематизация, не определены типы. В то же время, как нам представляется, выяснение этих вопросов имеет большое значение как для лучшего понимания закономерностей развития вулканических и магматических процессов, так и для оценки опасности крупных катастрофических извержений, которые часто связаны с процессами кальдерообразования. Изучение

поднятых вопросов — это большой труд. Мы в настоящей работе не ставили перед собой цели ответить на все вопросы, но попытались уточнить применение некоторых терминов, определить хотя бы примерно количество известных в настоящее время на Камчатке четвертичных кальдер, разбить их по типам, рассмотреть их структурную позицию.

Вопросы терминологии

Понятие «кальдера» (рис. 2) не вполне определено, что отмечали И.В. Лучицкий (1971) и В.И. Влодавец (1984).

В вышедшей недавно «Энциклопедии по вулканам» (Lipman, 2000) принято определение, данное еще Х. Вильямсом (Williams,

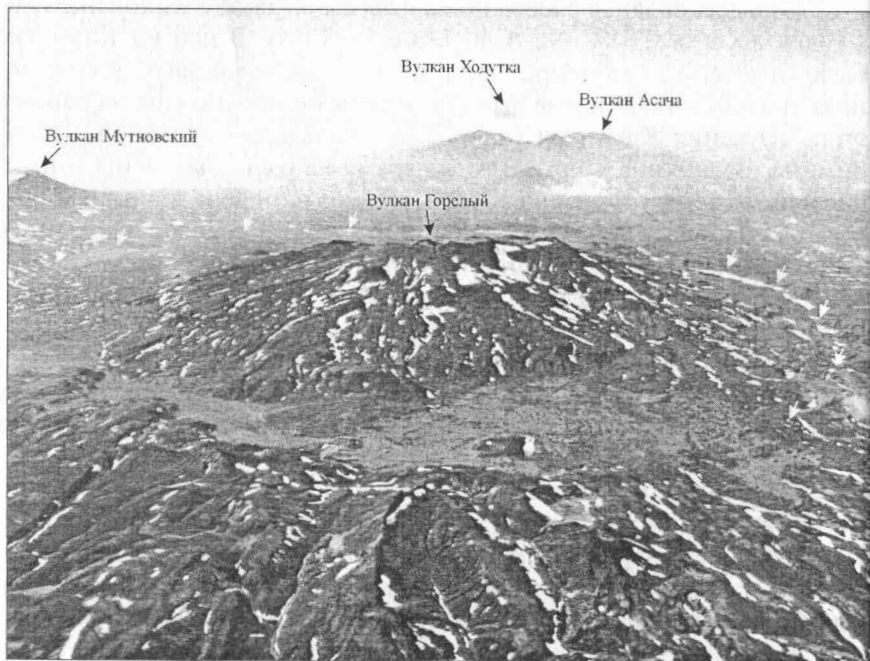


Рис. 2. Вулкан Горелый и его кальдера (границы кальдеры, имеющей размеры 9 x 12 км, отмечены белыми стрелками), вид с северо-востока. Фото А.Ю. Озерова

1941): «кальдеры — это крупные вулканические депрессии более или менее округлой формы, диаметр которых во много раз больше, чем заключенные в них жерла». Можно добавить, что кальдеры чаще всего завершают длительный и многоэтапный путь развития вулкана или вулканического центра и бывают связаны со сложными вулканическими постройками.

Можно выделить несколько пунктов, по которым возникают разногласия при отнесении тех или иных депрессионных форм к кальдерам. Относить ли к ним крупные воронки взрыва и где провести границу между кратерами и взрывными кальдерами? Что относить к вулcano-тектоническим депрессиям? Рассматривать ли в качестве кальдер просадки не округлой, а линейной или полигональной формы? Относить ли к кальдерам просадки, которые произошли в районах, где вулканизма на докальдерном этапе не было, но после образования просадки он проявился активно, и, соответственно, можно предполагать связь образования просадки с предваряющими вулканическую деятельность глубинными перемещениями магмы? Как быть в тех случаях, когда с одной вулканической постройкой связано несколько кальдер, — рассматривать ли в данном случае каждую кальдеру отдельно или выделять эту структуру как одну кальдеру сложного строения?

Далее мы попробуем найти ответ на каждый из поставленных вопросов, определить, что относить на Камчатке к кальдерам и сколько здесь четвертичных кальдер.

О различии кратеров, кальдер и вулcano-тектонических депрессий

Чем отличаются кратеры от кальдер — давний вопрос. Он обсуждался неоднократно с самого начала изучения последних. Исторический обзор различных точек зрения на эту тему дал И.В. Лучицкий (1971), который сделал вывод, что «нет ясных морфологически определенных границ между кратерами и кальдерами, как нет различий между эскарпами, ограничивающими кальдеру, и сомой вулкана» (с. 343). Им же отмечалось, что рубеж, разделяющий кратеры и кальдеры, весьма условен, что «...рассматривая различные вулканические постройки конической формы, можно найти

располагающиеся близ их вершины углубления и депрессии весьма различных размеров — от десятков метров до многих сотен метров и километров» (Лучицкий, 1971, с. 342). Соглашаясь с ним, мы считаем, что вопрос разграничения кратеров и кальдер может быть решен только принятием какого-то условного численного значения, разделяющего эти структуры по размеру.

Такие условные границы предлагалось обозначить неодноразно. Так, американские исследователи (Макдоналд, 1975; и др.) относили к эксплозионным кальдерам вулканические депрессии, имеющие в поперечнике более мили (1,6 км). Японские исследователи (Katsui, 1969; Арамаки, 1977) проводили границу по диаметру 2 км — то, что меньше, относили к кратерам, а то, что больше, к кальдерам. В России было предложено считать взрывными кальдерами вулканические впадины диаметром более 2,5 км (Геологический словарь, 1973; Влодавец, 1984).

В настоящей работе чтобы разделить кратеры и кальдеры на Камчатке, мы также должны принять какой-то условный диаметр за границу между этими формами. По-видимому, наиболее правильным будет принять границу в 2,5 км, как предлагается в (Геологический словарь, 1973; Влодавец, 1984). При этом мы должны будем отнести к кратерам вершинные депрессии диаметром 2–2,5 км на влк. Мутновский, такую же депрессию диаметром 2 км на вершине Северного конуса влк. Крашенинникова (рис. 3) или «взрывную кальдеру» влк. Козельского. В то же время мы должны будем отнести к кальдерам «сомму» влк. Авача, имеющую диаметр 4 км, или «сомму» влк. Заречный, имеющую размеры 3,7×4,5 км.

Подобно тому как термин «кальдера» применяется к вулканическим впадинам, имеющим размеры значительно большие, чем заключенные в них жерла, так и термин «вулкано-тектоническая депрессия» обычно используется по отношению к вулканическим впадинам, значительно превышающим по размерам кальдеру (Williams, 1941). В качестве типичных примеров вулкано-тектонических депрессий Х. Вильямс в свое время привел районы развития крупных просадок на Северном острове Новой Зеландии и на о-ве Суматра в Индонезии. Отмечалось, что формирование вулкано-тектонических депрессий связано с крупнообъемными извержениями кислой пирокластики, чем они отличаются от грабенов типа Рейнского или Восточно-Африканских. Хотя в дальнейшем было

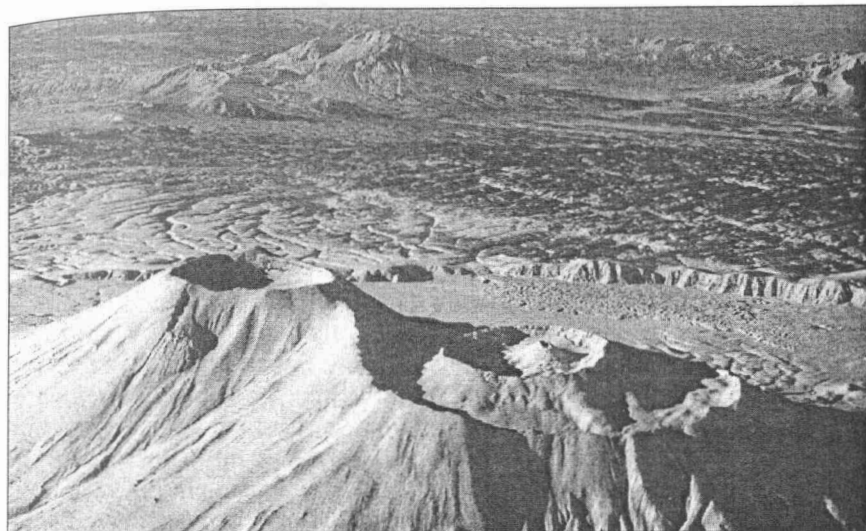


Рис. 3. Вулкан Крашенинникова (на переднем плане), за ним виден борт кальдеры, в которой он расположен. Диаметр кальдеры — 10 км. Диаметр самого крупного кратера на вершине северного конуса вулкана — 2 км. Фото Н.П. Смелова

установлено, что практически во всех случаях извержения кислой пирокластики все же связаны с кальдерами (Lipman, 2000), тем не менее термин «вулкано-тектоническая депрессия» сохраняется и применяется обычно для обширных просадок, включающих в себя вулканические постройки и часто группы кальдер.

На Камчатке впервые выделил подобные вулкано-тектонические просадки Э.Н. Эрлих, который писал, что это «крупные депрессии овальной или кольцевой формы с диаметром 20–60 км и амплитудой опускания в первые сотни метров, в пределах которых располагаются значительные группы вулканических аппаратов» (Эрлих, 1966, с. 49). Выделенная им, в частности, депрессия в междуречье Жупановой и Нового Семячика размером 50×60 км включала в себя целый комплекс более мелких кальдер. В дальнейшем в центре этой структуры была обособлена еще одна более мелкая депрессия, названная Карымско-Семячинская кальдерная система (Селянгин, 1974). Подобная структура позднее была выделена и севернее, в районе кальдер вулканов Большой Семячик и Узон (Леонов, Гриб, 1998).

Расположенная на юге полуострова Паужетская депрессия на начальном этапе ее изучения рассматривалась некоторыми исследователями как кальдера (Мелекесцев и др., 1974). В опубликованной в США в 1988 г. сводке крупных кальдер мира она также названа «Паужетская кальдера» (Newhall, Dzurisin, 1988). В то же время детальное изучение этой структуры показало, что ее происхождение «нельзя объяснить кальдерообразующими процессами» (Кожемяка, Огородов, 1977). Депрессия имеет вид прямоугольника размером 20×25 км (а по кромке окружающих ее обрывов — 23×33 км). Она возникла на вершине крупного (диаметром около 40 км) куполообразного поднятия в завершающий этап мощного плиоценового преимущественно базальтового вулканизма, проявившегося в кольцевой зоне по краям купола. Границы депрессии прямолинейны и протягиваются вдоль зон региональных тектонических нарушений (Леонов, 1981). Выбросы кислой пирокластики произошли значительно позже формирования депрессии, при этом центры извержений находились в основном за пределами этой структуры и были сосредоточены на большой площади, т.е. имели ареальный характер (Кожемяка и др., 1980; Егоров, 1984; Леонов, 1989). В голоцене извержения кислой пирокластики продолжались, и внутри депрессии образовалась просадка Курильского озера, которую одни исследователи считают кальдерой (Мелекесцев и др., 1974), другие — вулcano-тектонической депрессией компенсационного типа (Кожемяка, Огородов, 1977; Кожемяка и др., 1980). Приведенная краткая характеристика Паужетской депрессии показывает, что по особенностям своего строения она ближе всего к вулcano-тектоническим депрессиям, выделенным Х. Вильямсом (Williams, 1941), и рассматривать ее как кальдеру, строго говоря, нельзя.

Термин «вулcano-тектоническая депрессия» традиционно, после работ Э.Н. Эрлиха (1966, 1974), применяется и к Узон-Гейзерной структуре (Шеймович, 1979; Белоусов и др., 1983). Э.Н. Эрлих, употребив данный термин, считал, что в образовании этой депрессии большую роль играла тектоника. Однако детальные работы по изучению бортов выявили, что для выделения крупных разломов, формирующих границы этой структуры, нет оснований (Леонов и др., 1991; Леонов, Гриб, 1998).

Границы депрессии, представляющей собой овальную впадину размером 9×18 км, вытянутую в широтном направлении, обра-

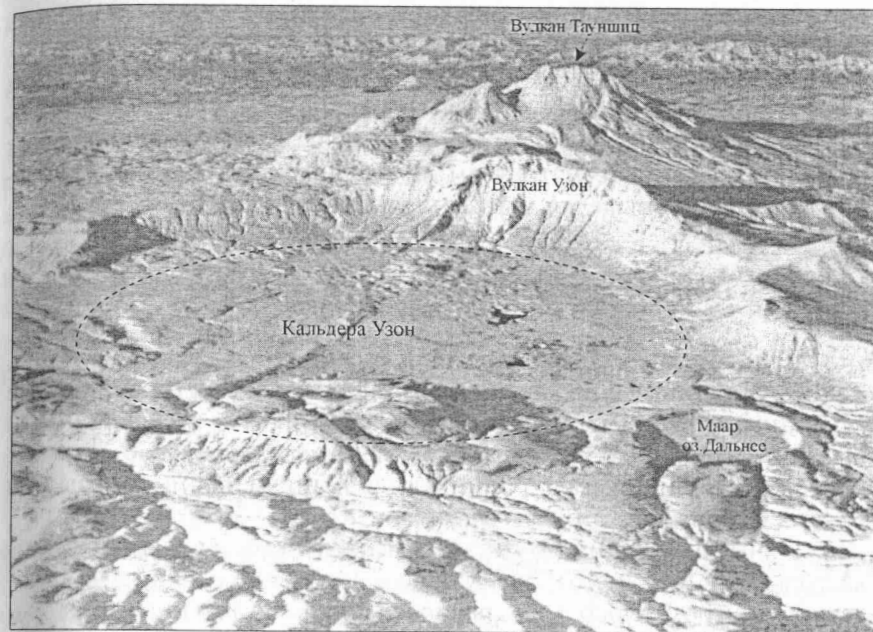


Рис. 4. Кальдера Узон (очерчена пунктиром), вид с востока. Фото Н.П. Смелова

зованы фрагментами серии слившихся кальдер (Леонов, Гриб, 1998). Западная часть депрессии имеет собственное имя — кальдера Узон (рис. 4). В связи с этим в данном случае правильнее было бы применять термин «кальдерная система».

Этот же термин, по-видимому, имеет смысл применять и к таким сложным кальдерам, как Призрак, Ксудач, Большой Семячик, Ушковский (Дальний Плоский). Кальдерообразование в этих случаях происходило неоднократно, и в итоге сформировались сложные комплексы из серии слившихся кальдер. Так, на влк. Ксудач выделяется до пяти кальдер позднеплейстоценового и голоценового возраста (Селянгин, 1987б, 1991; Мелекесцев и др., 1995). Кальдерный комплекс Узон Гейзерной депрессии состоит не менее чем из 6 отдельных кальдер (Леонов, Гриб, 1998), но их выделение и описание затруднены из-за того, что вся внутренняя часть этой впадины заполнена мощной толщей озерных отложений и экструзивными куполами (Брайцева и др., 1974; Леонов и др., 1991). Так же

сложно в настоящее время выделить отдельные кальдеры на вулканах Призрак и Большой Семячик. Они изучены пока не достаточно. Можно отметить, что для влк. Большой Семячик приводятся данные по крайней мере о двух кальдерах (Леонов, Гриб, 1991, 1998).

Ввиду существующей описанной выше неопределенности мы в данной работе рассматриваем кальдерные системы как единые образования, не выделяя в них отдельные кальдеры.

Кальдеры, сформированные без участия вулканизма

Данный тип кальдер выделяли с самого начала их изучения. Так, Х. Рекк определил группу «интрузивных кальдер», связанных с глубинными перемещениями магмы, а Х. Вильямс (Williams, 1941) выделил специальную группу «смешанных кальдер обрушения», которые, как он полагал, формируются при изменении формы или объема магматического тела на глубине.

Примеров подобного типа кальдер немного, и чаще всего ссылаются на депрессию Сьерра-Морро в Аргентине — округлую кальдеру диаметром около 3 км, расположенную на вершине горы высотой 600 м. Стенки и внешние склоны этой кальдеры состоят преимущественно из древних кристаллических пород, главным образом слюдястых сланцев и гнейсов (Лучицкий, 1971). Такого же типа кальдера Босумтви в Гане, расположенная среди докембрийских сланцев и гнейсов, или кальдера бассейна Штейнгейм, окаймленная юрскими известняками (Лучицкий, 1971).

На Камчатке к подобному типу относится кальдера Хангар, расположенная в центральной части крупного гранито-гнейсового купола (Кутыев и др., 1976). Она представляет собой впадину овальных очертаний размером 12 × 16 км, стенки которой сложены мигматитами, гнейсами, плагиогранитами и гранодиоритами. Вулканизм докальдерного этапа по одним данным в радиусе 100 км вокруг вообще отсутствует (Кутыев и др., 1976), по другим данным — имеются остатки игнибритовых покровов (Мелекесцев и др., 1974), хотя их возраст, распространение и роль в образовании кальдеры не ясны. Остатков вулканических аппаратов, сформировавшихся на докальдерном этапе, вблизи этой структуры не обнаружено. После образования депрессии внутри нее сформировались крупный вул-

кан и множество экструзий преимущественно андезитового и дацитового состава. В голоцене в вершинной части вулкана произошел крупный взрыв, было выброшено более 14–15 км³ пироклаستيки, в результате чего возник огромный кратер, имеющий сейчас размеры 2,1 × 2,8 км (Мелекесцев и др., 1996). Таким образом, кальдера Хангар относится к совершенно особому типу кальдер, которые формируются на обширных тектонических куполах, где вулканизм на докальдерном этапе либо совсем не проявляется, либо проявляется, но незначительно. В то же время активный вулканизм, имевший место после формирования кальдеры, может свидетельствовать о наличии в недрах магматического очага, подвижки магмы в котором и могли явиться причиной образования кальдеры.

Подходы, используемые при классификации кальдер

124625
Классификации кальдер, предложенные на начальном этапе их изучения, были в основном генетическими. Обычно выделялись группы кальдер, связанные с эксплозиями, с обрушениями или опусканиями, с эрозией, а также иногда, как уже отмечалось, с глубинными перемещениями магмы (Лучицкий, 1971). В то же время выяснить способ образования кальдер в конкретных случаях бывает непросто, разные способы могут действовать совместно (и чаще всего именно так и бывает). Иными словами, признак, по которому в предложенных генетических классификациях ведется классифицирование, не поддается однозначному определению, а значит, нарушается одно из основных правил классификации (Черкасов, 1986).

С самого начала изучения кальдер предлагались и другие виды классификаций. Так, А. Мак-Бирней и Х. Вильямс в 1969 г. разделили их по признаку связи с вулканизмом разного состава. Они выделили две группы: 1) кальдеры, ассоциирующиеся с эксплозивными извержениями больших объемов кислой магмы, и 2) кальдеры, ассоциирующиеся с эффузивными извержениями базальтовой магмы (цит. по: И.В. Лучицкий, 1971, с. 388). Такое деление благодаря однозначности и ясности в дальнейшем применялось многими исследователями.

В некоторых классификациях в качестве классификационного признака бралось положение кальдеры относительно вулканической

Таблица 1

Общие данные о четвертичных кальдерах Камчатки

№ п/п	Название кальдеры	Координаты		Возраст, тыс. лет	Диаметр, км	Тип (см. текст)
		с.ш.	в.д.			
1	Кошелевская	51,36	156,65	Q ₂₋₃	3	Б
2	Влк. Явинский	51,54	156,55	Q ₂	8,5	А
3	Курильского озера	51,45	157,1	Q ₄ (7,7)	7	В
4	Ильинская	51,5	157,2	Q ₄ (7,7)	6	Б
5	Желтовская	51,58	157,32	Q ₃ ⁴ - Q ₄ (15)?	4	Б
6	Призрак*	51,66	157,35	Q ₂₋₃	6	Б
7	Ксудач*	51,8	157,54	Q ₃ ⁴ - Q ₄ (40 - 1,8)	8	В
8	Влк. Иголки	52,03	156,9	Q ₂	7	А
9	Опала	52,5	157,35	Q ₃ ⁴ (39-40)	15	В
10	Влк. Горелый	52,55	158,05	Q ₃ ⁴ (33-34)	9×12	В
11	Влк. Авачинский	53,25	158,82	Q ₃ ⁴ (29-30)	4	Б
12	Половинки (Крайняя)	53,95	159,44	Q ₂ (180-150)	11	В
13	Влк. Однобокий	53,98	159,46	Q ₂₋₃ (110-80)	4×6	Б
14	Академии Наук	53,99	159,46	Q ₃ ⁴ (28-48)	4	Б
15	Карымская	54,05	159,5	Q ₄ (7,9)	5	Б
16	Влк. Соболиный	54,14	159,52	Q ₂ (180-150)	9	В
17	Влк. Стена	54,1	159,7	Q ₂ (180-150)	12	В
18	Малый Семячик	54,11	159,65	Q ₃ ⁴ (-20)	7	Б
19	Большой Семячик*	54,31	159,85	Q ₂₋₃ (120-80)	10	В
20	Узон-Гейзерная депрессия*	54,5	160,00	Q ₃ ⁴ (-40)	9×18	В
21	Крашенинникова	54,61	160,25	Q ₃ ⁴ (35-38)?	10	В
22	Комарова	55,02	160,72	Q ₃ ³	2,5×4	А
23	Плоский Толбачик	55,81	160,38	Q ₄	3	А
24	Влк. Ушковский (Дальний Плоский)*	56,07	160,45	Q ₃ ⁴	5	А
25	Влк. Заречный	56,37	160,83	Q ₃ ⁴	3,7	А
26	Влк. Шивелуч	56,62	161,3	Q ₃ ⁴ (30)	9	Б
27	Хангар	54,75	157,4	Q ₃ ⁴ (?)	12×16	Г
28	Влк. Ичинский	55,7	157,75	Q ₃ ⁴	3×5	Б
29	Уксичан	56,08	158,4	Q ₂ (?)	18	Б (?)
30	Влк. Большой	56,45	157,75	Q ₁₋₂	3	А
31	Влк. Кекукнайский	56,47	157,95	Q ₂	5,5	Б (?)
32	Влк. Малая Кетепана	56,69	158,43	Q ₂	4	А
33	Влк. Тигильский	56,55	159,45	Q ₁₋₂	4	А
34	Влк. Большой Чекчебонай	56,8	159,08	Q ₁	5	А
35	Влк. Переваловый	56,74	159,42	Q ₂	8	А
36	Влк. Черный	56,83	159,68	Q ₂ (?)	6	А
37	Влк. Малый Чекчебонай	56,93	159,44	Q ₂	6	А

* Кальдерная система.

Примечание. При составлении таблицы использованы данные многих авторов (Зубин и др., 1971; Огородов и др., 1972; Мелекесцев и др., 1974; Эрлих, 1974; Шеймович, 1979; Действующие вулканы..., 1991; Брайцева и др., 1994; и мн. др.). Подробнее см. (Леонов, 2003).

постройки. Такой подход мы находим в ранних классификациях кальдер Ф. Вольфа, Х. Танакадате, Р. Беммелена, а недавно В.И. Федорченко с соавторами по этому признаку разделили кальдеры Курильских островов. Подробнее о работах отмеченных авторов см. в (Леонов, 2003).

Предложенная в (Lirman, 1997, 2000) классификация кальдер, основанная на характере их просадки и строении дна, с нашей точки зрения, не очень удачна, особенно для молодых кальдер, так как структуру их дна удается наблюдать редко.

Подводя итог, можно отметить, что поскольку признак, берущийся в основу при классифицировании, не должен вызывать сомнений при делении совокупности объектов на классы, то наиболее приемлемым кажется разделение кальдер по таким признакам, как состав вулканизма, с которым связаны их формирование, и положение относительно вулканических построек.

Классификация четвертичных кальдер Камчатки

Принимая во внимание сделанные замечания о том, что относиться на Камчатке к кальдерам, а что нет и что взять за основу при их типизации, мы предложили для обсуждения список четвертичных кальдер Камчатки (табл. 1). Надо отметить, что в этот список не попали кальдеры, выделение которых проблематично (Леонов, 2003).

Расположение четвертичных кальдер на Камчатке показано на рис. 5, где кроме них нанесен также рельеф поверхности, отождествляемой с докайнозойским (верхнемеловым) комплексом (при составлении рисунка использованы данные Ю.Ф. Мороза, 1991). В качестве основных наиболее крупных структур на Камчатке выделяются: Срединный массив, представляющий собой по своей геофизической характеристике наиболее жесткий и устойчивый к тектонической переработке блок земной коры, Камчатско-Корякский, Восточно-Камчатский и Тигильский антиклинории, Паланский, Центральнo-Камчатский и Восточно-Камчатский прогибы. Антиклинории и прогибы осложнены структурами более высокого порядка.

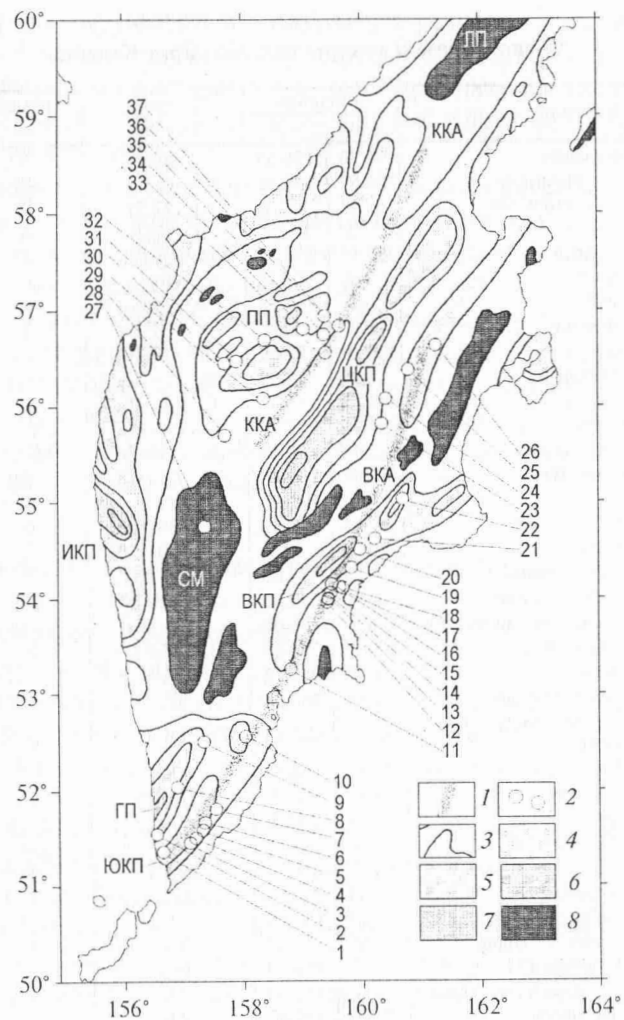


Рис. 5. Структурная схема фундамента (по: Ю.Ф. Мороз, 1991) и четвертичные кальдеры Камчатки. 1 — осевые линии четвертичных вулканических поясов; 2 — четвертичные кальдеры Камчатки (1–37 — номера кальдер, см. табл. 1); 3–7 — изолинии глубин и глубина до пород докайнозойского комплекса, залиты районы с глубинами: 4 — от 2 до 3 км, 5 — от 3 до 4 км, 6 — от 4 до 5 км, 7 — более 5 км; 8 — выходы пород докайнозойского комплекса на поверхность. Буквами обозначены

Восточно-Камчатский вулканический пояс, в пределах которого расположено большинство кальдер, на юге полуострова наложен на Южно-Камчатский антиклинорий. Далее на северо-восток он пересекает Восточно-Камчатский прогиб, одноименный антиклинорий и заканчивается вулканами, расположенными в пределах Центрально-Камчатского прогиба. Центрально-Камчатский (Срединный) вулканический пояс наложен на Камчатско-Корякский антиклинорий, а в центральной части — на Паланский прогиб.

Разделение кальдер на типы А, Б, В и Г (табл. 1) проведено по признаку их связи с вулканизмом и позицией относительно вулканической постройки. В группу А отнесены кальдеры, связанные с базальтовым вулканизмом (все эти кальдеры приурочены к вершинам крупных щитовых вулканов или стратовулканов). В группы Б и В отнесены кальдеры, связанные с выбросами пирокластики кислого и среднего состава (приуроченные либо к одному вулкану — Б, либо к группе вулканов — В). В группу Г отнесены кальдеры в районах, где вулканизм на докальдерном этапе отсутствовал или был развит незначительно (на Камчатке в эту группу попадает лишь одна кальдера Хангар).

В табл. 2 приведены списки кальдер групп А, Б и В. Отнесение кальдер к выделенным группам в большинстве случаев однозначное. Затруднения возникают лишь с кальдерой Уксичан, данные по которой, как уже отмечалось, очень противоречивые.

Рассмотрим такую характеристику, как диаметр кальдер (необходимо отметить, что он во всех случаях измерялся по кромке уступа, ограничивающего кальдеру, т.е. это не структурная, а морфологическая характеристика). На рис. 6, а показан диаметр кальдер группы А. Видно, что он колеблется в среднем в интервале 3–6 км. Немного больше (7–8 км) диаметр кальдер вулканов Явинский, Иголки и Переваловый.

На рис. 6, б показан диаметр кальдер группы Б. Видно, что он также колеблется в среднем около 5 км. Выделяются своими

структуры фундамента: ЮКП — Южно-Камчатский прогиб, ГП — Гольгинский прогиб, ВКП — Восточно-Камчатский прогиб, СМ — Срединный массив, ИКП — Ичинско-Колпаковский прогиб, ВКА — Восточно-Камчатский антиклинорий, ККА — Камчатско-Корякский антиклинорий, ЦКП — Центрально-Камчатский прогиб, ПП — Паланский прогиб, ЛП — Лесновское поднятие

Таблица 2

Списки кальдер групп А, Б и В

Кальдеры, связанные с базальтовым вулканизмом (группа А)	Кальдеры, связанные с выбросами пирокластики кислого и среднего состава	
	приуроченные к одному вулкану (группа Б)	секущие разные вулканические постройки (группа В)
1 Влк. Явинский	Кошелевская	Курильского озера
2 Влк. Иголки	Ильинская	Ксудач
3 Влк. Комарова	Желтовская	Опала
4 Влк. Плоский Толбачик	Призрак	Влк. Горелый
5 Влк. Ушковский	Влк. Авачинский	Половинка (Крайняя)
6 Влк. Заречный	Влк. Однобокий	Влк. Соболиный
7 Влк. Большой	Академии Наук	Влк. Стена
8 Влк. Малая Кетепана	Карымская	Большой Семячик
9 Влк. Тигильский	Малый Семячик	Узон-Гейзерная депрессия
10 Влк. Большой Чекчебоной	Влк. Шивелуч	Крашенинникова
11 Влк. Переваловый	Влк. Ичинский	
12 Влк. Черный	Уксичан (?)	
13 Влк. Малый Чекчебоной	Влк. Кекунайский	

размерами кальдера влк. Шивелуч, диаметр которой достигает 9 км, и кальдера Уксичан, ее диаметр 18 км. В отношении кальдеры

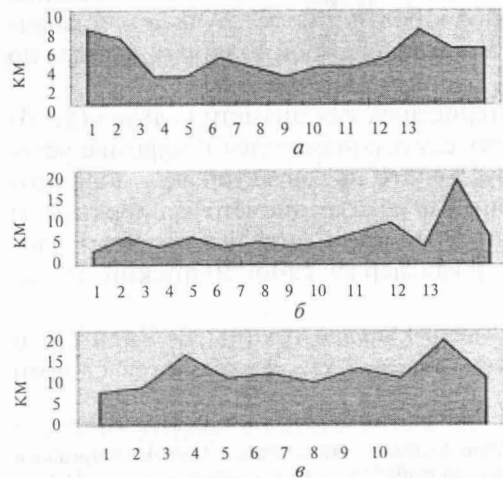


Рис. 6. Диаметр кальдер: а — группы А; б — группы Б; в — группы В. По осям абсцисс — номера кальдер соответствующих групп (см. табл. 2)

групп А и Б, и колеблется в среднем около 10 км. Выделяются своими размерами кальдера Опала и Узон-Гейзерная депрессия, которые имеют удлиненную форму и по длинной оси достигают соответственно 15 и 18 км.

Данные о возрасте кальдер, приведенные в табл. 1, показывают, что большинство кальдер имеют средне-верхнечетвертичный возраст. Наиболее древними являются кальдеры щитовых базальтовых вулканов, расположенных на Срединном хребте и в западной зоне Южной Камчатки; наиболее молодыми — кальдеры, сформировавшиеся в голоцене: Курильского озера, Ильинская, Желтовская, часть кальдер влк. Ксудач, Карымская и влк. Плоский Толбачик. Подробные данные о возрасте позднеплейстоценовых и голоценовых кальдер Камчатки можно найти в работе (Брайцева и др., 1994).

Структурная позиция и условия формирования кальдер на Камчатке

На рис. 5 видно, что кальдеры размещаются на Камчатке группами и в основном приурочены к тем местам, где фундамент погружен. Рассмотрим размещение кальдер более подробно, отдельно на Южной Камчатке, на центральном участке Восточной Камчатки, в пределах Центральной Камчатской депрессии и на Срединном хребте.

На Южной Камчатке многие исследователи выделяют два крупных прогиба фундамента — Голыгинский и Южно-Камчатский (Зубин, 1980; Апрельков, Попруженко, 1984; Апрельков, Ольшанская, 1989; Мороз, 1991). Вулканы образуют ряды, вытягивающиеся вдоль этих прогибов и глубинных разломов, окаймляющих их (Кожемяка и др., 1980; Огородов и др., 1980). В размещении кальдер также отчетливо видна связь с разломами, ограничивающими прогибы фундамента. Кальдеры западной подзоны (вулканов Явинский, Иголки и Опала) приурочены к юго-восточной границе Голыгинского прогиба. По данным С.Е. Апрелькова и О.Н. Ольшанской (1989), эта граница имеет тектонический характер, что подтверждается резкой гравитационной ступенью и ступенчатообразным подъемом поверхности докайнозойского основания. Кальдера влк. Кошелевский расположена в зоне разломов, ограничивающих с северо-запада

Южно-Камчатский прогиб. Большинство кальдер Южной Камчатки (Курильского озера, Ильинская, Желтовская, Призрак, Ксудач, влк. Горелый) расположено вдоль юго-восточной границы Южно-Камчатского прогиба.

На центральном участке Восточной Камчатки почти все кальдеры (кроме кальдеры влк. Комарова) приурочены к юго-восточной границе Восточно-Камчатского прогиба. Причем большинство из них расположено здесь очень компактно, на участке длиной всего около 100 км. Кальдера влк. Комарова приурочена к северо-восточному окончанию прогиба, к его северо-западной границе.

Кальдеры на вулканах в пределах Центральной Камчатской депрессии пролегают вдоль юго-восточной границы Центрально-Камчатского прогиба, но ввиду того что прогиб здесь осложнен более мелким прогибом второго порядка, связь кальдер с конкретными глубинными границами менее определена.

Большинство кальдер на Срединном хребте Камчатки расположено также на участке, где зафиксировано погружение пород фундамента (рис. 5). Единственное исключение — кальдера Хангар, которая расположена на Срединном массиве, — блоке поднятых пород фундамента. Паланский прогиб, к которому приурочены почти все кальдеры Срединного хребта, имеет сложное строение. Максимально погружена его юго-восточная часть, и именно здесь, вдоль границ этой наиболее погруженной части прогиба, расположено большинство кальдер.

В целом, как мы видим, четвертичные кальдеры Камчатки (за единственным исключением — кальдеры Хангар) имеют одинаковую структурную позицию: они расположены там, где вулканический пояс наложен на крупные прогибы фундамента, при этом в большинстве случаев кальдеры находятся вблизи юго-восточных границ этих прогибов.

Как показывают приведенные выше данные о размещении четвертичных кальдер на Камчатке и их связи с прогибами фундамента, наличие таких прогибов и заполняющих их отложений (осадочно-вулканогенного чехла) — это, по-видимому, необходимое условие формирования близповерхностных магматических очагов и связанных с ними кальдер. Нам представляется, что кальдерообразование может произойти, если соблюдены следующие условия: 1) происходит подъем магмы с глубоких уровней земной коры к поверхности, 2) существует зона проницаемости в фундаменте, 3) имеется достаточно мощный

слабопроницаемый чехол, перекрывающий зоны проницаемости в фундаменте, 4) существует зона проницаемости в чехле.

Эти условия соблюдаются в тех местах, где четвертичные вулканические пояса (зоны подъема магмы к поверхности) наложены на глубокие прогибы фундамента. Границы прогибов, представленные в большинстве случаев крупными зонами разломов, являются основными структурами повышенной проницаемости, вдоль которых происходит подъем магмы к поверхности. В то же время с прогибами связаны и наиболее мощные накопления осадочно-вулканогенных отложений, которые создают относительно слабо проницаемый чехол, перекрывающий зоны разломов в фундаменте и способствующий накоплению магмы на сравнительно небольшой глубине.

В тех районах, где вулканические пояса пересекают зоны поднятий и где отсутствует осадочно-вулканогенный чехол, как, например, на участках пересечения Восточно-Камчатским вулканическим поясом Начикинской складчато-глыбовой зоны или Восточно-Камчатского антиклинория, или на большей части Центрально-Камчатского (Срединного) вулканического пояса, где он наложен на Камчатско-Корякский антиклинорий, условия для кальдерообразования, по-видимому, неблагоприятны. На этих участках хотя и формируются вулканы (например, Вилучинский и Кизимен на Восточной Камчатке, влк. Алней-Чашаконджа и все те, что расположены севернее его на Срединном хребте), но кальдер на них не образуется. Мы считаем, что это связано с тем, что в таких районах из-за отсутствия осадочно-вулканогенного чехла не созданы условия для накопления более или менее значительных объемов магмы в верхних этажах земной коры.

Неоднократное возобновление вулканизма и кальдерообразования на отдельных участках, формирование комплексов телескопированно вложенных друг в друга кальдер свидетельствуют о том, что большую роль в этих процессах играет также проницаемость осадочно-вулканогенного чехла, наличие в нем разломов, узлов их пересечения. В таких узлах формируются устойчивые, длительно существующие зоны подъема магмы к поверхности и вулканизм возобновляется при каждой очередной активизации.

На рис. 7 в схематичном виде показана та ситуация, в которой, как можно предполагать из вышесказанного, происходит формирование верхнекоровых магматических очагов и связанных с ними кальдер на Камчатке.

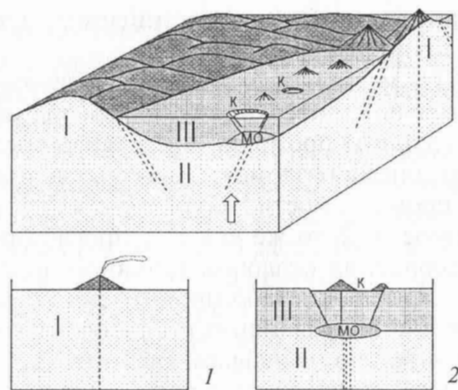


Рис. 7. Блок-диаграмма, отражающая структурные условия, при которых магма достигает поверхности на Камчатке. I — зоны поднятий докайнозойского фундамента, II — прогибы фундамента, III — породы осадочно-вулканогенного чехла, заполняющие прогибы фундамента и современные депрессии. Стрелкой показана зона подъема магмы в недрах вулканического пояса. Пунктирные линии — зоны проницаемости в земной коре (разломы фундамента). Буквами обозначены: МО — магматические очаги, К — кальдеры. 1, 2 — режимы поступления магмы на поверхность (1 — в районах структурных поднятий, 2 — в районах прогибов, где зоны проницаемости в фундаменте перекрыты осадочно-вулканогенным чехлом и созданы условия для формирования верхнекорových магматических очагов и кальдер)

жение кальдер группами. На Южной Камчатке на небольшом расстоянии друг от друга находятся кальдеры Курильского озера, Ильинская, Желтовская, Призрак и Ксудач. На центральном участке Восточной Камчатки также близко друг от друга расположены кальдеры Половинки, Стены, Соболиного, Большого Семячика, Узон-Гейзерная, Крашенинникова. Выяснение условий кальдерообразования на таких участках представляет особый интерес, так как здесь видно, что причины кальдерообразующих процессов имеют не локальный, а региональный характер.

Глава II. ОСОБЕННОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ КАЛЬДЕР НА ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКЕ

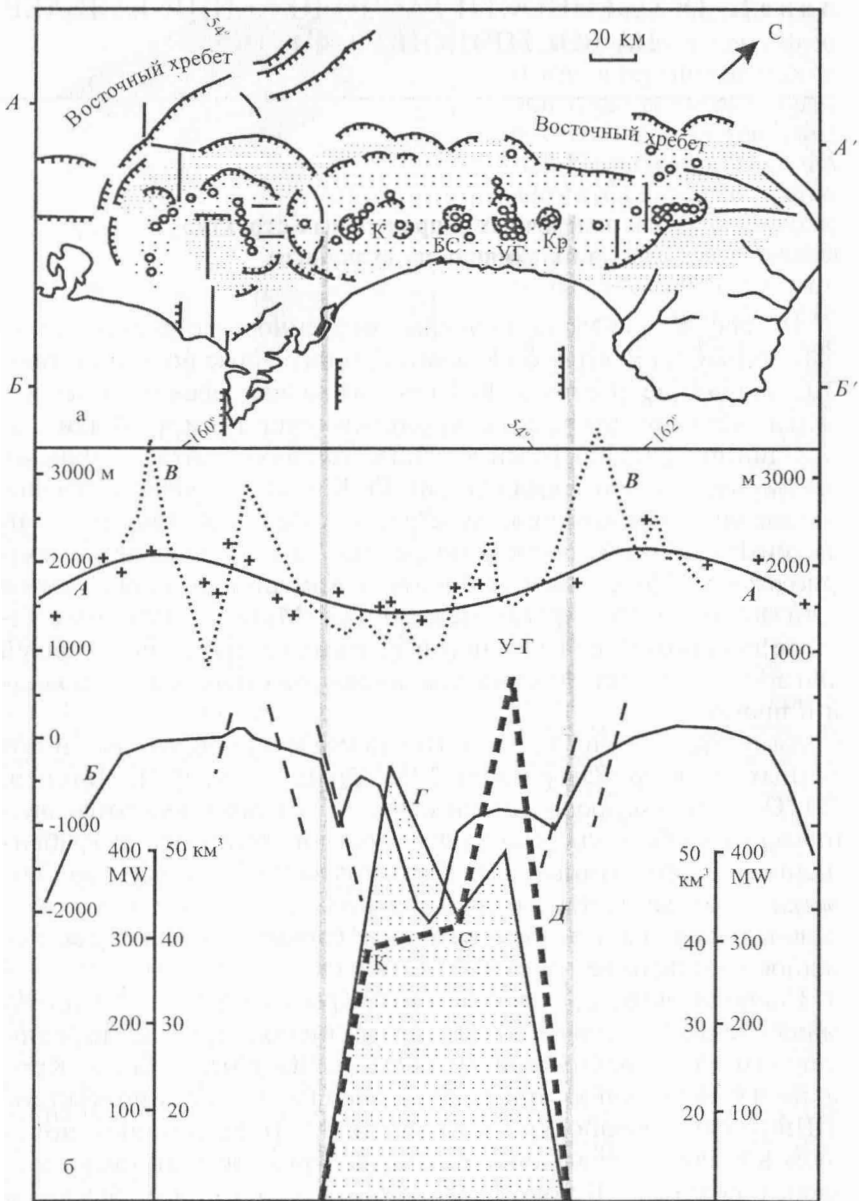
Роль поперечных и продольных структур и их влияние на вулканизм

На рис. 8 приведены основные особенности строения центрального участка Восточной Камчатки, поперечные поднятия, прогибы, положение Восточно-Камчатской вулканической зоны и в нижней части поперечные к отмеченным поднятиям профили.

Один профиль проведен вдоль Восточного хребта (график А), второй — через полуострова (график Б). Как можно видеть, профили однотипны — поднятия полуостровов прослеживаются и в морфологии Восточного хребта, хотя амплитуда их уменьшается примерно в 2 раза. Пояс вулканов Восточно-Камчатской зоны наложен на эти поднятия и на прогиб между ними. Многие различия в характере вулканизма центральной и краевых частей зоны, с нашей точки зрения, связаны именно с наличием этих поперечных поднятий и прогиба.

Камчатка — яркий пример взаимодействия продольных и поперечных структур (Заварицкий, 1955; Эрлих и др., 1974; Шанцер, 1979). Основными продольными структурами здесь являются вулканические хребты, система узких горст-антиклиналей и грабен-синклиналей, протягивающихся вдоль полуострова в северо-восточном направлении. К поперечным структурам относят систему разрывов, а также поднятых и опущенных блоков, имеющих северо-западное простирание.

Наиболее ярко поперечные структуры выражены на восточном побережье Камчатки, где на расстоянии примерно 200 км один от другого расположены три крупных залива (Авачинский, Кроноцкий и Камчатский) и три далеко вдающихся в океан полуострова (Шипунский, Кроноцкий и Камчатский). Продолжением полуостровов являются подводные хребты, которые рассматривают как сводовые поднятия. В новейшее время продольные и поперечные



структуры развиваются одновременно (Эрлих и др., 1974), что позволяет рассматривать тектоническую систему Камчатки на современном этапе как систему поперечного сочленения перекрестного типа (Боровиков, 1971).

Исследователи, изучавшие Восточную Камчатку ранее, отмечали, что вулканизм в центральной ее части по многим параметрам отличается от вулканизма краевых частей. Так, согласно (Эрлих, 1966), в центре этой зоны широко развиты крупные вулcano-тектонические депрессии, породы по составу образуют полный ряд от базальтов до риолитов, молодые вулканические постройки располагаются внутри депрессий. В то же время по краям зоны кольцевые структуры отсутствуют, основной формой вулканических аппаратов являются стратовулканы, состав вулканических пород колеблется от базальтов до андезитов, преобладают базальты.

Ю.П. Масуренков (1991), выделяя в этой зоне ряд крупных вулканических центров, также отмечал, что те из них, которые расположены по краям (Налачевский и Гамченский), по строению, развитию, составу вулканических пород существенно отличаются от центров, расположенных в средней части зоны (Карымского и Узонского). В краевых центрах более ярко выражены тектонические поднятия и проявлена структура продольного глубин-

Рис. 8. Основные особенности современной структуры центрального участка Восточно-Камчатской вулканической зоны и разломов, обрамляющих эту зону. а — схема расположения четвертичных вулканов (кружки) Восточно-Камчатской вулканической зоны и разломов, обрамляющих эту зону; линия с бергштрихами). Крапом показаны области распространения вулканических пород четвертичного (редкий крап) и плиоценового (частый крап) возраста. Буквами обозначены кальдеры и кальдерные системы: К — Карымская, БС — Больше-семячинская, УГ — Узон-Гейзерная, Кр — Крашенинникова. б — графики: А — линия тренда наиболее высоких вершин Восточного хребта (в 10-километровой полосе вдоль линии А — А' на схеме «а»); отдельные вершины показаны крестиками). Б — профиль по линии Б — Б' на схеме «а» (пунктирными линиями показаны основные сбросы, формирующие опускание в центре района); В — линия высот четвертичных вулканов в Восточно-Камчатской зоне; Г — объем магмы, выброшенной в виде кислой пирокластики при кальдерообразующих изверженных в позднечетвертичное время; Д — тепловая мощность геотермальных систем, в MW (Сугробов, Яновский, 1991; Вакин, Пилипенко, 2001), буквами обозначены гидротермальные системы: К — Карымская, С — Семячикская, У-Г — Узонская и Гейзерная. Серые вертикальные линии показывают границы поперечной зоны относительного опускания и центрального участка Восточно-Камчатской зоны четвертичного вулканизма

ного разлома (названного Ю.П. Масуренковым «Термальным рифтом»). В то же время в Карымском и Узонском центрах более ярко проявлены среднекислый вулканизм и покровное игнимбритообразование. Отмечалось также, что вулканизм последнего верхнеплейстоцен-голоценового этапа проявился гораздо больше в краевых центрах (объем вулканитов этого этапа в Налачевском и Гамченском центрах составляет 110 км³, а в Карымском и Узонском — 30 км³).

Причину столь резких различий в строении и вулканизме краевых и центрального участков Восточно-Камчатской зоны названные исследователи понимали по-разному. Э.Н. Эрлих (1966) исходил из цикличности вулканизма и считал, что в центральной части зоны еще не закончился вулканизм предыдущего цикла, а в краевых частях уже начался новый цикл развития. Ю.П. Масуренков (1991) различия связывал с особенностями развития вулканических центров и отмечал, что Налачевский и Гамченский находятся в узлах пересечения продольных и поперечных структур Камчатки, и именно узловое положение этих центров определяет их отличие от тех, что расположены между ними (Карымского и Узонского). Обе рассмотренные выше точки зрения связывают особенности развития вулканизма в различных частях Восточно-Камчатской зоны с самим вулканизмом — становлением и развитием вулканических центров, цикличностью вулканического процесса и т. д. В то же время отмеченные различия, как нам представляется, могут быть обусловлены совсем другими причинами, в т. ч. тем, что Восточно-Камчатский вулканический пояс, протягиваясь в северо-восточном направлении, наложен на систему поперечных поднятий и прогибов.

На графике *В* (рис. 8) показаны абсолютные высоты вулканических построек. Видно, что наиболее высокие из них расположены на тех участках, где вулканическая зона наложена на поперечные поднятия, — здесь средняя высота вулканов составляет около 2000 м (наиболее крупные имеют высоту более 3000 м). На центральном участке средняя высота вулканов всего 1500 м. В то же время к центральному участку зоны приурочены все наиболее крупные позднеплейстоценовые кальдеры. По краям зоны, на участках наложения ее на поднятия, крупные кальдеры отсутствуют. Здесь известны лишь небольшие вершинные кальдеры на вулканах Авачинском и Комарова. С крупными кальдерами центрального участка

связаны обширные поля пирокластики, имеющей состав дацитов и риодацитов. Объем кислой магмы, поступившей здесь на поверхность при кальдерообразующих извержениях в позднем плейстоцене, оценивается в 220 км³ (Леонов и др., 2000).

Распределение кислых пород позднечетвертичного возраста вдоль Восточно-Камчатской вулканической зоны показано на графике *Г* (рис. 8). На центральном участке рассматриваемой зоны, там, где расположены крупнейшие кальдеры, известны и наиболее крупные на Камчатке высокотемпературные гидротермальные системы — Карымская, Семьячинская, Узонская, Гейзерная (график *Д*). В краевых частях зоны, там, где она наложена на поднятия, известны лишь средне- и низкотемпературные термальные источники и фумаролы в привершинных частях действующих вулканов. Общая позиция высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке, связь их с крупными прогибами мел-палеогенового фундамента были рассмотрены нами недавно отдельно (Леонов, 2001).

На поднятиях, имеющих северо-западное простирание, расположение четвертичных вулканов жестко контролируется разрывами северо-западного простирания. Такие разрывы по рядам вулканов Авачинско-Корякской, Дзэндзур-Жупановской групп и вулканам Гамчен-Конради-Кизимен выделял еще А.Н. Заварицкий (1955). В центральной части Восточно-Камчатской зоны ряды вулканов выражены не так отчетливо, а те, которые выделяются, имеют иные простирания, чаще всего меридиональные и субширотные.

Приведенные данные, как нам представляется, свидетельствуют в пользу того, что характер вулканизма в Восточно-Камчатской зоне в большой мере определяется поперечными структурами. Только на тех участках, где вулканические зоны пересекают прогибы, в позднечетвертичное время широко проявился кислый вулканизм и сформировались наиболее крупные гидротермальные системы. С этих позиций отличие выделенных на Камчатке Ю.П. Масуренковым (1991) Налачевского и Гамченского вулканических центров (или крайних частей вулканической зоны, наложенных на поперечные поднятия) от Карымского и Узонского центров (или средней части рассматриваемой вулканической зоны, наложенной на прогиб) очень существенное, и это не связано с развитием самих центров. Соответственно, перспективность этих

центров в плане нахождения в них геотермальных месторождений и рудопоявлений также разная, и вряд ли правомерно считать, что в Налачевском центре можно обнаружить столь же крупную гидротермальную систему, какие известны в Карымском и Узонском центрах (Масуренков, Комкова, 1978; Масуренков и др., 1987). То же относится, с нашей точки зрения, и к оценке перспективности вулканогенно-рудных центров (Василевский и др., 1974), или центров эндогенной активности (Егоров, 1984). Во всех случаях необходимо учитывать структурную неоднородность фундамента, на который наложены вулканические пояса и который может существенно влиять на вулканизм, гидротермальную и рудообразующую деятельность, протекающую в этих поясах.

Структурные позиции кальдер на центральном участке Восточной Камчатки

Как отмечалось выше, на Восточной Камчатке плиоцен-четвертичный вулканический пояс накладывается на крупный прогиб земной коры (рис. 9). Прогиб вытянут в северо-восточном направлении почти на 300 км, ширина его меняется от 30 до 50 км. По данным Ю.Ф. Мороза (1991), кровля мелового фундамента в пределах этого прогиба погружена на 3–4 км, а кристаллического фунда-

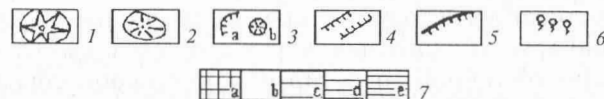
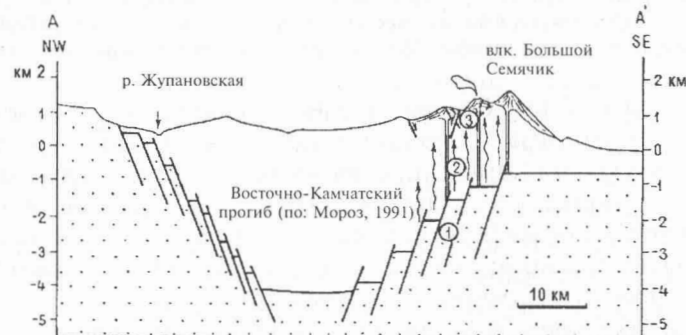
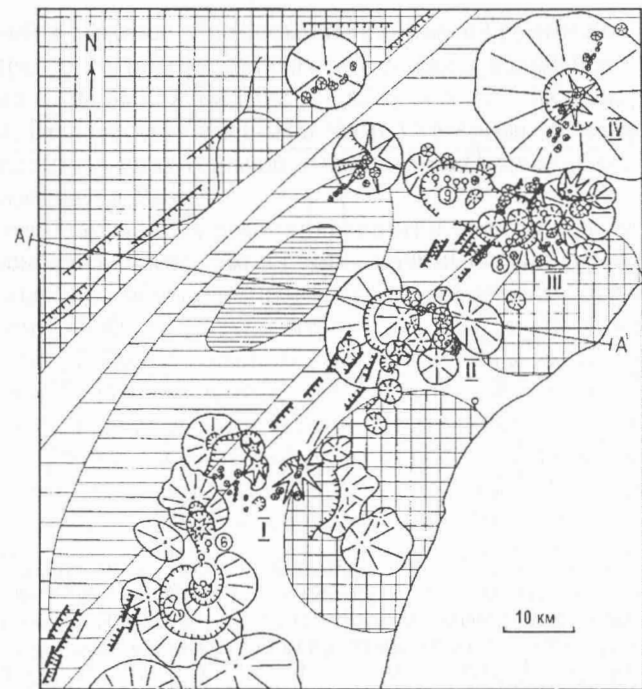


Рис. 9. Карта и разрез, показывающие расположение вулканов, высокотемпературных гидротермальных систем и позицию прогибов фундамента на Восточной Камчатке (по: Леонов, 2001). 1 – позднеплейстоцен-голоценовые вулканы; 2 – средневерхнеплейстоценовые вулканы; 3 – кальдеры (а), мелкие вулканы и шлаковые конусы (b); 4 – крупные разломы северо-восточного простирания; 5 – позднеплейстоцен-голоценовые трещины и сбросы; 6 – термопроявления; 7 – глубина поверхности мелового фундамента, км (по: Ю.Ф. Мороз, 1991): а – менее 1; б – 1–2; с – 2–3; d – 3–4; e – более 4. Римскими цифрами обозначены вулканические центры: I – Карымский, II – Большесемьячкский, III – Узон-Гейзерный, IV – Крашениникова. Цифры в кружках – высокотемпературные гидротермальные системы (6 – Карымская, 7 – Большесемьячкская, 8 – Гейзерная, 9 – Узон; по: В.М. Сугрбов, Ф.А. Яновский, 1991). А - А' – линия разреза. На разрезе точечным крапом показан фундамент (докайнозойский комплекс), цифрами в кружках отмечены зоны: 1 – зона разломов, ограничивающих прогиб и являющихся глубинными ловушками для магмы и гидротермальных флюидов, 2 – зона подъема магмы и гидротермальных флюидов к поверхности, 3 – зона развития позднеплейстоценовых трещин и сбросов на поверхности

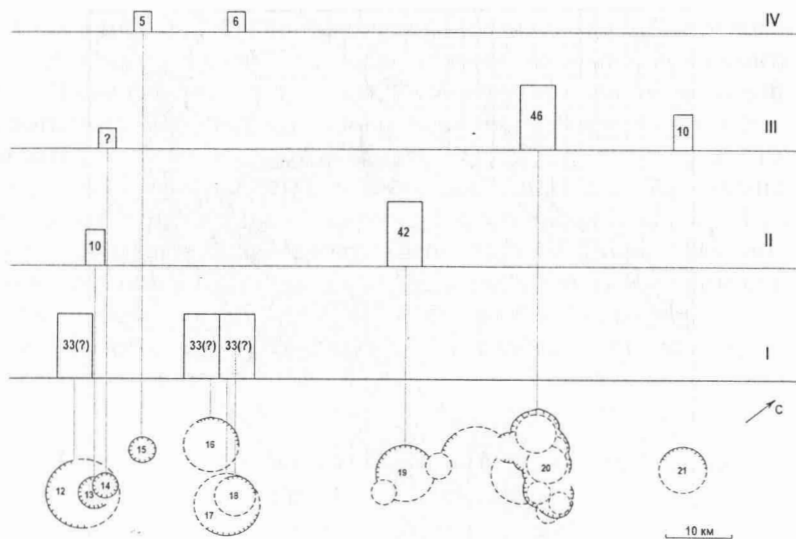


Рис. 10. Этапы кальдерообразующих извержений и объемы магмы, выброшенной при образовании кальдер на центральном участке Восточной Камчатки. В нижней части рисунка показано расположение кальдер. Номера кальдер соответствуют номерам в табл. 1. I–IV – этапы кальдерообразующих извержений (возрастные границы этапов: I – 180–140 тыс. лет, II – 120–80 тыс. лет, III – 60–35 тыс. лет, IV – 20–0 тыс. лет). Прямоугольники отражают примерное соотношение объемов магмы, выброшенной при кальдерообразующих извержениях. Цифры в прямоугольниках – объем магмы в кубических километрах (по: Масуренков и др., 1980; Леонов и др., 2000)

мента – на 6–7 км. Северо-западная граница прогиба отчетливо выражена в рельефе – это одновременно юго-восточная граница Восточного хребта Камчатки, в пределах которого породы докайнозойского основания выходят на поверхность. Юго-восточная граница прогиба в рельефе не проявлена. Её перекрывают широко развитые на центральном участке Восточной Камчатки вулканогенные породы преимущественно позднечетвертичного возраста. В поле развития этих пород отчетливо проявлены лишь молодые, позднелайстоцен-голоценовые разрывы. Они имеют северо-северо-восточное простирание, образуют несколько групп, расположенных кулисообразно друг относительно друга, и в целом вытягиваются полосой северо-восточного простирания, примерно совпадающей с юго-восточной границей прогиба.

В этой же полосе расположены наиболее крупные вулканические центры, с которыми связаны комплексы кальдер и обширные поля пемз и игнимбритов (рис. 9). С тремя из этих центров – Карымским, Большесемячикским и Узон-Гейзерным – связаны высокотемпературные гидротермальные системы (Карымская, Семячикская, Гейзерная и Узон).

На расположение термопроявлений в пределах гидротермальных систем здесь оказывают влияние крупные структуры, занимающие секущее положение по отношению к разломам, ограничивающим прогиб. В Карымском центре – это разлом меридионального простирания. В Большесемячикском – северо-западного простирания, в Узон-Гейзерном центре – субширотный разлом.

Узлы пересечения этих разломов с глубинными проницаемыми зонами северо-восточного простирания и являются местом сосредоточения наиболее интенсивной вулканической и гидротермальной деятельности. Термопроявления известных гидротермальных систем, расположенных в этих узлах, вытянуты в большинстве случаев вдоль секущих разломов (рис. 9).

На рис. 10 отражены некоторые закономерности кальдерообразующих процессов на центральном участке Восточной Камчатки. Мы можем видеть здесь кустовое расположение кальдер, которые концентрируются на отдельных участках. Кальдерообразующие процессы постепенно распространялись со временем все дальше на северо-восток – от Карымского центра к влк. Большой Семячик, затем к Узон-Гейзерной депрессии и далее к кальдере влк. Крашенинникова (игнимбриты, связанные с этими центрами, последовательно перекрывают друг друга). На фоне этого в Карымском центре кальдерообразование возобновлялось вновь и вновь на всех этапах активизации вулканизма в данном районе. В итоге здесь образовались наиболее сложные комплексы вложенных друг в друга кальдер. Здесь же сформировалась наиболее молодая из кальдер центрального участка Восточной Камчатки – Карымская. Необходимо отметить, что для кальдер, сформировавшихся на первом этапе в Карымском центре (Половинка, Соболиная, Стена), известен общий объем выброшенной магмы (около 100 км³), но не известно, сколько магмы было выброшено при формировании каждой из этих кальдер. Приведенные на рисунке цифры – по 33 км³ магмы для

каждой кальдеры — приняты условно. Для кальдеры Половинка объем выброшенной магмы, по нашим оценкам (см. гл. V), составляет около 42 км^3 .

Имеющиеся данные, а именно формирование кальдер группами, образование сложных просадок, развивающихся и на площадях, значительно удаленных от кальдер (Леонов, Гриб, 1998), свидетельствуют о том, что магматические очаги, с которыми было связано кальдерообразование, могли иметь размеры, значительно превышающие размеры отдельных кальдер. Об этом же говорит, по-видимому, последовательное смещение процессов кальдерообразования на центральном участке Восточной Камчатки в северо-восточном направлении. Это смещение может быть связано с тем, что в глубоких очагах (или едином очаге?) магма со временем постепенно распространялась все далее на северо-восток (Леонов, 1991).