

УДК 551.21

## ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ КАЛЬДЕРЫ КАМЧАТКИ: ОБЗОР, КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРУКТУРНАЯ ПОЗИЦИЯ\*

©2003 г. В. Л. Леонов

*Институт вулканологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006*

Поступила в редакцию 26.12.2001 г

Систематизированы данные о четвертичных кальдерах Камчатки. Рассмотрены вопросы терминологии, отличие кальдер от кратеров и вулcano-тектонических депрессий, проблемы классификации. Приведены данные о 37 кальдерах на Камчатке. По составу связанного с ними вулканизма и по отношению к вулканической постройке кальдеры разделены на 4 группы. В первую группу отнесены кальдеры, связанные с базальтовым вулканизмом. Во вторую и третью группы - кальдеры, связанные с выбросами пирокластики кислого и среднего состава (во вторую - приуроченные к отдельным вулканам, в третью - срезающие разные вулканические постройки). К четвертой группе относятся кальдеры, которые формировались без участия вулканизма. Рассмотрена структурная позиция кальдер. Показано, что они располагаются на Камчатке группами в тех местах, где вулканический пояс наложен на крупные прогибы фундамента, причем в большинстве случаев кальдеры располагаются вдоль юго-восточных границ прогибов. Рассмотрены условия, при которых происходило формирование кальдер. Предложена модель, в которой большое значение придается наличию слабопроницаемого экранирующего чехла, который способствует растеканию под ним магмы, накоплению ее, возникновению близповерхностных магматических очагов, что и приводит в итоге к формированию кальдер.

Прошло 30 лет с тех пор, как вышли в свет первые обобщающие работы по четвертичным кальдерам Камчатки [25, 85]. В [85] на территории полуострова было выделено 15 кальдер, в том числе две кальдеры гавайского типа (связанные с базальтовым вулканизмом) и 13 кальдер типа Кракатау (связанных с извержениями пепла и пемзы). Взрывные воронки на вулканах, даже крупные, в данной работе в группу кальдер не включались.

Две большие сводные работы по кальдерам были опубликованы в 1980-х годах XX в. в США [86, 90]. В последней работе на Камчатке было отмечено 24 кальдеры. При этом в список кальдер, к сожалению, попали и такие, которые были выделены ошибочно еще на раннем этапе изучения Камчатки (например, "кальдеры" вулканов Унана, Зимина, Беянкина и др.). В то же время не были упомянуты многочисленные четвертичные кальдеры, приуроченные к вершинам щитовых базальтовых вулканов Срединного хребта [61]. Единственная из кальдер Срединного хребта, упоминаемая всеми исследователями - это кальдера Уксичан, хотя возраст и происхождение ее до сих пор остаются дискуссионными [60, 63, 72, 73].

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 явлением кальдерообразования. В настоящей статье мы не ставим перед собой цели ответить на все вопросы, но попытаемся 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" не вполне определено, что отмечали И.В. Лучицкий [45] и В.И. Влодавец [15]. В вышедшей недавно "Энциклопедии по вулканам" [84] принято определение, данное еще Х.Вильямсом [94]: "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 цент-

\* Статья публикуется в дискуссионном порядке

ра и чаще всего бывают связаны со сложными вулканическими постройками.

Можно выделить несколько пунктов, по которым чаще всего возникают разногласия при отношении к кальдерам тех или иных депрессионных форм. Относить ли к кальдерам крупные воронки взрыва и где провести границу между кратерами и взрывными кальдерами? Что относить к вулканотектоническим 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 каждую кальдеру отдельно или выделять эту структуру как одну кальдеру сложного строения?

Далее мы попробуем найти ответ на каждый из поставленных вопросов и определить, сколько же четвертичных кальдер на Камчатке.

**О различии кратеров и взрывных кальдер.** Данный вопрос обсуждался неоднократно с самого начала изучения кальдер. Исторический обзор различных точек зрения на эту тему дал И.В.Луцицкий [45], который в итоге сделал вывод, что "нет ясных морфологически определенных границ между кратерами и кальдерами, как нет различий между эскарпами, ограничивающими кальдеру, и соммой 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" [45, 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 предлагались неоднократно. Так, Р. Уолкер [93] относил к эксплозионным кальдерам вулканические депрессии, имеющие в поперечнике более мили (1.6 км). Такую же границу принял Г. Макдоналд [46]. Японские исследователи считают приемлемым провести границу по диаметру 2 км — то, что меньше, относить к кратерам, а то, что больше, к кальдерам [5, 87]. В России было предложено считать взрывными кальдерами вулканические впадины диаметром более 2.5 км [15, 18].

В настоящей статье для разделения кратеров и кальдер на Камчатке за "граничный" условный

диаметр нами принята величина в 2.5 км, как это предлагается в Геологическом словаре [18]. При этом мы должны будем отнести к кратерам вершинные депрессии диаметром 2-2.5 км на вулкане Мутновский [68], такую же депрессию диаметром 2 км на вершине Северного конуса вулкана Крашенинникова [64] или "взрывную кальдеру" [51] вулкана Козельского. В то же время мы должны считать кальдерой "сомму" вулкана Авача, имеющую диаметр 4 км [51] или "сомму" вулкана Заречный, имеющую размеры 3.7 x 4.5 км [17].

**О различии кальдер, кальдерных систем и вулканотектонических депрессий.** Подобно тому, как термин "кальдера" применяется к вулканическим впадинам, имеющим размеры значительно большие, чем заключенные в них жерла, так и термин "вулканотектоническая депрессия" обычно применяется к вулканическим впадинам, значительно превышающим по размерам кальдеру [94]. В качестве типичных примеров вулканотектонических депрессий Х. Вильямс [94] в свое время привел районы развития крупных просадок на Северном острове Новой Зеландии и на острове Суматра в Индонезии. Отмечалось, что формирование вулканотектонических депрессий связано с крупнообъемными извержениями кислой пироклаستي, чем они отличаются от грабенов типа Рейнского или Восточно-Африканских [95]. Хотя в дальнейшем было установлено, что практически во всех случаях извержения кислой пироклаستي все же связаны с кальдерами [88, 89], тем не менее, термин "вулканотектоническая депрессия" сохраняется и применяется обычно для обширных просадок, включающих в себя вулканические постройки и часто группы кальдер.

На Камчатке подобные вулканотектонические просадки впервые выделил 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" [82, с. 49]. Выделенная им, в частности, депрессия в междуречье Жупановой и Нового Семячика размером 50 x 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 [65]. Подобная структура позднее была выделена и севернее, в районе кальдер вулканов Большой Семячик и Узон [42].

Расположенная на юге полуострова Паужетская депрессия на начальном этапе ее изучения рассматривалась некоторыми исследователями как кальдера [62, 53]. В опубликованной в США в 1988 г. сводке крупных кальдер мира она также названа "Паужетская кальдера" [90]. В то же вре-

мя детальное изучение этой структуры показало, что ее происхождение "нельзя объяснить кальдерообразующими процессами" [32]. Депрессия, которая имеет вид прямоугольника размером 20 x 25 км (а по краям окружающих ее обрывов - 23 x 33 км), 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 [37]. Выбросы кислой пироклаستيки произошли значительно позже формирования депрессии, при этом центры извержений находились в основном за пределами этой структуры и были рассредоточены на большой площади, т.е. имели ареальный характер [21, 22, 32, 39]. В голоцене извержения кислой пироклаستيки продолжались, и внутри депрессии образовалась просадка Курильского озера, которую одни исследователи считают кальдерой [10], другие - вулканотектонической депрессией компенсационного типа [32, 34]. Приведенная краткая характеристика Паужетской депрессии показывает, что по особенностям своего строения она ближе всего к вулканотектоническим депрессиям, выделенным Х. Вильямсом [94], и рассматривать ее как кальдеру, строго говоря, нельзя.

Термин "вулканотектоническая депрессия" традиционно, после работ Э.Н. Эрлиха [82, 83], применяется и к Узон-Гейзерной структуре [6, 44, 80]. Э.Н. Эрлих, употребив данный термин, считал, что в образовании этой депрессии большую роль играла тектоника. Однако детали работы по изучению бортов показали, что для выделения крупных разломов, формирующих границы этой структуры, нет оснований [38, 42]. Границы депрессии, представляющей собой овальную впадину размером 9 x 18 км, вытянутую в широтном направлении, образованы фрагментами серии слившихся кальдер [42]. В связи с этим, в данном случае правильнее было бы применять термин "кальдерная система". Этот же термин, по-видимому, имеет смысл применять к таким сложным кальдерам как Призрак, Ксудач, Большой Семячик, вулкан Ушковский (Дальний Плоский). Кальдерообразование в этих случаях происходило неоднократно, и в итоге сформировались сложные комплексы из серии слившихся кальдер. На вулкане Ксудач выделяется до пяти кальдер позднплейстоценового и голоценового возраста [52, 66, 67]. Кальдерный комплекс Узон-Гейзерной депрессии состоит не менее чем из 6 отдельных кальдер [42], но их выделение и описание затруднено из-за того, что вся внутренняя часть этой впадины заполнена мощной толщей озерных отложений и экструзивными куполами [9, 44]. Также сложно в настоящее время выделить

отдельные кальдеры на вулканах Призрак и Большой Семячик, которые изучены пока недостаточно. Можно отметить, что для вулкана Большой Семячик приводятся данные по крайней мере о двух кальдерах [14, 41, 42, 57].

Ввиду существующей, описанной выше неопределенности мы в этой статье 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. Х. Рекк [91] выделил группу "интрузивных кальдер", связанных с глубинными перемещениями магмы. Х. Вильямс [94] 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, при этом 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 [45]. Такого же типа кальдера Босумтви в Гане, расположенная среди докембрийских сланцев и гнейсов, или кальдера бассейна Штейнгейм, окаймленная юрскими известняками [45].

На Камчатке к подобному типу относится кальдера Хангар, расположенная в центральной части крупного гранитогнейсового купола [36]. Кальдера представляет собой впадину овальной очертаний размером 12x16 км. Стенки кальдеры сложены мигматитами, гнейсами, плагиогранитами и гранодиоритами. Вулканизм докальдерного этапа, по одним данным, в радиусе ста километров вокруг вообще отсутствует [36], по другим данным - имеются остатки игнимбритовых покровов [53], хотя их возраст, распространение и роль в образовании кальдеры не совсем ясны. Остатков вулканических аппаратов, сформировавшихся на докальдерном этапе, вблизи этой структуры не обнаружено. После образования депрессии внутри нее сформировался крупный вулкан и множество экструзий преимущественно андезитового и дацитового состава [36, 47]. В голоцене в вершинной части вулкана произошел крупный взрыв, было выброшено более 14-15 км<sup>3</sup> пироклаستيки, в результате чего возник огромный кратер, имеющий сейчас размеры 2.1 x 2.8 км [55]. Таким образом, кальдера Хангар относится к совершенно особому типу кальдер, формирующихся 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.** 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 [45]. 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). То есть, признак, по которому в предложенных генетических классификациях ведется классифицирование, не поддается однозначному определению, а значит, нарушается одно из основных правил классификации [78].

С самого начала изучения кальдер предлагались и другие виды классификаций. А. Мак-Бирней и Х. Вильяме в 1969 г. разделили кальдеры по признаку их связи с вулканизмом разного состава. Они выделили две группы: 1) кальдеры, ассоциирующиеся с эксплозивными извержениями больших объемов кислой магмы, 2) кальдеры, ассоциирующиеся с эффузивными извержениями базальтовой магмы ([45], с. 388). Такое деление, благодаря однозначности и ясности, в дальнейшем применялось многими исследователями.

В некоторых классификациях в качестве классификационного признака принимали положение кальдеры относительно вулканической постройки. Такой подход мы находим в ранних классификациях кальдер Ф. Вольфа [96], Х. Танакадате [92], Р. Беммелена [7]. В.И. Федорченко с соавторами по этому признаку разделили кальдеры Курильских островов [74].

Недавно была предложена классификация кальдер, основанная на характере просадки и строения дна кальдер [88, 89]. С нашей точки зрения такая классификация не очень удачна, особенно для молодых кальдер, так как структуру дна таких кальдер 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 связано формирование кальдер, и положение кальдер относительно вулканических построек.

**Общие данные о четвертичных кальдерах Камчатки и их классификация.** После сделанных замечаний о том, что относить на Камчатке к кальдерам, а что нет, и что взять за основу при их типизации, мы предлагаем для обсуждения спи-

сок четвертичных кальдер Камчатки (табл. 1). Надо отметить, что в этот список не попали кальдеры, выделение которых проблематично. Это касается среднеплейстоценовой кальдеры, выделенной Ю.П. Масуренковым в центре Налачевского купола [48]. В последующих работах, в частности О.Н. Егорова [22], эта кальдера не выделялась.

Ю.М. Стефанов и Б.И. Широкий [73] выделили позднеплейстоценовую кальдеру диаметром 9-10 км на вулкане Богдановича (хребет Гамчен Восточной Камчатки). В более поздних работах выделение этой кальдеры также не проводилось [35].

Не включили мы в список и ряд кальдерообразных депрессий, расположенных в вершинной части крупных нижнечетвертичных щитовых базальтовых вулканов Козыревского хребта [1, 77]. Эти депрессии в разных работах авторы называют либо просто кальдерами, либо эрозионными или эрозионно-тектоническими кальдерами, либо вулканотектоническими депрессиями. Роль тектоники и эрозионных процессов в происхождении этих структур не ясна, как не ясно, можно ли их относить к кальдерам.

Проблематично также выделение кальдер в районе вулкана Ходутка. В ранних работах было сделано заключение, что вулкан располагается на краю кальдеры диаметром около 7 км [23]. Ссылки на эту кальдеру приведены в работах С.И. Набоко [58] и В.А. Апродова [4]. Вошла она и в список крупных кальдер мира [90]. В то же время детальные работы, проведенные в этом районе, не подтвердили существование данной кальдеры [28, 79, 81]. На некоторых схемах четвертичных вулканов Южной Камчатки выделена небольшая кальдера в привершинной части вулкана Ходутка [30, 34], но детально ее строение не рассмотрено, а подтверждения ее выделения у других авторов мы не нашли и поэтому в список кальдер также не включили.

Сомнительно, с нашей точки зрения, выделение кальдер в районе Жупановского вулкана. Они схематично нарисованы на схеме [49], отмечается, что возраст их плиоцен-нижнеплейстоценовый, однако подробного описания их не приводится. Ввиду неопределенности генезиса и возраста этих образований мы их также не включили в список четвертичных кальдер Камчатки.

В то же время мы включили в список две малоизвестные кальдеры на вулканах Явинский и Иголки на Южной Камчатке. Эти кальдеры приурочены к ниже-среднечетвертичным щитовым базальтовым вулканам, формирующим вместе с вулканом Опала западный ряд Южно-Камчатской вулканической зоны [12, 30, 34]. В отношении выделения кальдеры на вулкане Явинском - вопрос спорный. Некоторые исследователи считают, что дугообразная форма этого вулкана связана с тем, что излияния лавы на нем происходили по

Таблица 1. Общие данные о четвертичных кальдерах Камчатки

№	Название кальдеры	Координаты		Возраст (тыс. лет)	Диаметр (км)	Тип (см. текст)	Использованные материалы
		с.ш.	в.д.				
1.	Кошелевская	51.36	156.65	$Q_{2-3}$	3	<b>Б</b>	[70]
2.	влк. Явинский	51.54	156.55	$Q_2$	8.5	<b>А</b>	[22, 30]
3.	Курильского озера	51.45	157.1	$Q_4$ (7.7)	7	<b>В</b>	[8, 10, 11]
4.	Ильинская	51.5	157.2	$Q_4$ (7.7)	6	<b>Б</b>	[8, 31]
5.	Желтовская	51.58	157.32	$Q_3^4 - Q_4$ (15)?	4	<b>Б</b>	[31, 59]
6.	Призрак*	51.66	157.35	$Q_{2-3}$	6	<b>Б</b>	[23, 29]
7.	Ксудач*	51.8	157.54	$Q_3^4 - Q_4$ (40 - 1.8)	8	<b>В</b>	[52, 66, 67]
8.	влк. Иголки	52.03	156.9	$Q_2$	7	<b>А</b>	[30]
9.	Опала	52.5	157.35	$Q_3^4$ (39-40)	15	<b>В</b>	[11, 33]
10.	влк. Горелый	52.55	158.05	$Q_3^4$ (33-34)	9 × 12	<b>В</b>	[11, 27]
11.	влк. Авачинский	53.25	158.82	$Q_3^4$ (29-30)	4	<b>Б</b>	[11, 51]
12.	Половинка (Крайняя)	53.95	159.44	$Q_2$ (180-150)	11	<b>В</b>	[50, 65]
13.	влк. Однобокий	53.98	159.46	$Q_{2-3}$ (110-80)	4 × 6	<b>Б</b>	[50]
14.	Академии Наук	53.99	159.46	$Q_3^4$ (28-48)	4	<b>Б</b>	[50]
15.	Карымская	54.05	159.5	$Q_4$ (7.9)	5	<b>Б</b>	[26]
16.	влк. Соболиный	54.14	159.52	$Q_2$ (180-150)	9	<b>В</b>	[50]
17.	влк. Стена	54.1	159.7	$Q_2$ (180-150)	12	<b>В</b>	[50]
18.	Малый Семячик	54.11	159.65	$Q_3^4$ (~20)	7	<b>Б</b>	[65, 69]
19.	Большой Семячик*	54.31	159.85	$Q_{2-3}$ (120-80)	10	<b>В</b>	[19, 41]
20.	Узон-Гейзерная депрессия*	54.5	160.00	$Q_3^4$ (~40)	9 × 18	<b>В</b>	[9, 44, 76]
21.	Крашенинникова	54.61	160.25	$Q_3^4$ (35-38)?	10	<b>В</b>	[11, 64, 76]
22.	Комарова	55.02	160.72	$Q_3^3$	2.5 × 4	<b>А</b>	[13]
23.	Плоский Толбачик	55.81	160.38	$Q_4$	3	<b>А</b>	[20]
24.	влк. Ушковский (Дальний Плоский)*	56.07	160.45	$Q_3^4$	5	<b>А</b>	[71, 75]
25.	влк. Заречный	56.37	160.83	$Q_3^4$	3.7	<b>А</b>	[17]
26.	влк. Шивелуч	56.62	161.3	$Q_3^4$ (30)	9	<b>Б</b>	[11, 54]
27.	Хангар	54.75	157.4	$Q_3^4$ (?)	12 × 16	<b>Г</b>	[11, 36]
28.	влк. Ичинский	55.7	157.75	$Q_3^4$	3 × 5	<b>Б</b>	[16]
29.	Уксичан	56.08	158.4	$Q_2$ (?)	18	<b>Б</b> (?)	[60, 61, 72, 73]
30.	влк. Большой	56.45	157.75	$Q_{1-2}$	3	<b>А</b>	[61]
31.	влк. Кекукнайский	56.47	157.95	$Q_2$	5.5	<b>Б</b> (?)	[61]
32.	влк. Малая Кетепана	56.69	158.43	$Q_2$	4	<b>А</b>	[61]
33.	влк. Тигильский	56.55	159.45	$Q_{1-2}$	4	<b>А</b>	[61]
34.	влк. Большой Чекчебонай	56.8	159.08	$Q_1$	5	<b>А</b>	[61]
35.	влк. Переваловый	56.74	159.42	$Q_2$	8	<b>А</b>	[61]
36.	влк. Черный	56.83	159.68	$Q_2$ (?)	6	<b>А</b>	[73]
37.	влк. Малый Чекчебонай	56.93	159.44	$Q_2$	6	<b>А</b>	[61]

Примечание. \* - кальдерная система

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	1. Кошелевская	1. Курильского озера
2. влк. Иголки	2. Ильинская	2. Ксудач
3. влк. Комарова	3. Желтовская	3. Опала
4. влк. Плоский Толбачик	4. Призрак	4. влк. Горелый
5. влк. Ушковский	5. влк. Авачинский	5. Половинка (Крайняя)
6. влк. Заречный	6. влк. Однобокий	6. влк. Соболиный
7. влк. Большой	7. Академии Наук	7. влк. Стена
8. влк. Малая Кетепана	8. Карымская	8. Большой Семячик
9. влк. Тигильский	9. Малый Семячик	9. Узон-Гейзерная депрессия
10. влк. Большой Чекчебонай	10. влк. Шивелуч	10. Крашенинникова
11. влк. Переваловый	11. влк. Ичинский	
12. влк. Черный	12. Уксичан (?)	
13. влк. Малый Чекчебонай	13. влк. Кекукнайский	

дугообразной трещине, а кальдера здесь отсутствовала [59]. Другие считают, что дугообразная форма вулкана связана с тем, что на нем была кальдера, которая в дальнейшем была частично разрушена [22]. Мы сторонники второй точки зрения и поэтому включили кальдеру в свой список.

Разделение кальдер на типы: А, Б, В и Г (табл. 1) проведено по признаку их связи с вулканизмом и

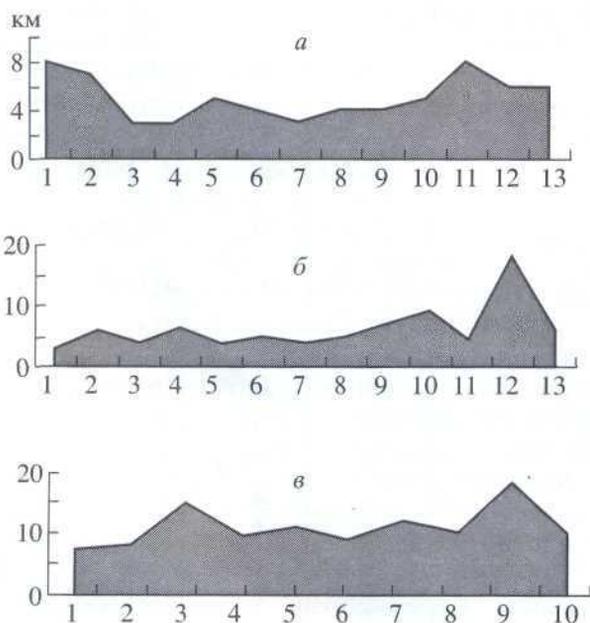


Рис. 1. Диаметр кальдер: а - группы А; б - группы Б; в - группы В. По осям абсцисс - номера кальдер соответствующих групп (табл. 2).

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, относящихся к группам 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 диаметр во всех случаях измерялся по кромке уступа, ограничивающего кальдеру, т.е. это не структурная, а морфологическая характеристика). На рис. 1а 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. 1б показан диаметр кальдер группы Б. Видно, что он также колеблется в среднем около 5 км. Выделяются своими размерами кальдера вулкана Шивелуч, диаметр которой достигает 9 км, и кальдера Уксичан, диаметр которой 18 км. В отношении кальдеры вулкана Шивелуч необходимо отметить, что она сильно расширена эрозионными

ми и обвальными процессами [54], диаметр ее по структурной границе значительно меньше. Кальдера Уксичан включена в группу Б условно, поскольку, как уже отмечалось, данные по этой кальдере очень противоречивы.

На рис. 1в приведены данные о диаметре кальдер группы В. Видно, что он значительно больше, чем у кальдер групп А и Б, и колеблется в среднем около 10 км. Выделяются своими размерами кальдера Опала и Узон-Гейзерная депрессия, которые имеют удлинненную форму и по длине они 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 вулкана Ксудач, Карымская и вулкана Плоский Толбачик. Подробные данные о возрасте позднеплейстоценовых и голоценовых кальдер Камчатки можно найти в [11].

**Структурная позиция четвертичных кальдер Камчатки.** На рис. 2 показано размещение на Камчатке кальдер, перечисленных в табл. 1. На этой же схеме показана структура докайнозойского фундамента (по данным Ю.Ф.Мороза [56]). Как можно видеть, 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 [2, 3, 24, 56]. Вулканы образуют ряды, вытягивающиеся вдоль этих прогибов и глубинных разломов, ограничивающих их [34, 59]. 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 СЕ. Апрелькова и О.Н. Ольшанской [3] эта граница имеет тектонический характер, что подтверждается резкой гравитационной ступенью и ступенчатообразным подъемом поверхности докайнозойского основания. Кальдера вулкана Кошелевский расположена в зоне разломов, ограничивающих с северо-запада Южно-Камчатский прогиб. Большинство кальдер Южной Камчатки (Курильского озера, Ильинская, Желтовская, Призрак, Ксудач, вулка-

на Горелый) расположено вдоль юго-восточной границы Южно-Камчатского прогиба.

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

Кальдеры на вулканах, расположенных в пределах Центральной Камчатской депрессии, в целом расположены 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 здесь менее определена. Вулканы Плоский Толбачик и Ушковский (Дальний Плоский) и их кальдеры расположены, по-видимому, над зоной меридиональных разломов, ограничивающих Центрально-Камчатский прогиб с востока. Кальдеры вулканов Заречный и Шивелуч расположены вдоль границ более мелкого прогиба второго порядка.

Большинство кальдер на Срединном хребте Камчатки расположено также на участке, где зафиксировано погружение пород фундамента (рис.2). 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 расположены вблизи юго-восточных границ этих прогибов.

**Обсуждение результатов. Анализ условий, при которых происходит формирование кальдер на Камчатке.** 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. В целом, как нам представляется, 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) существует до-

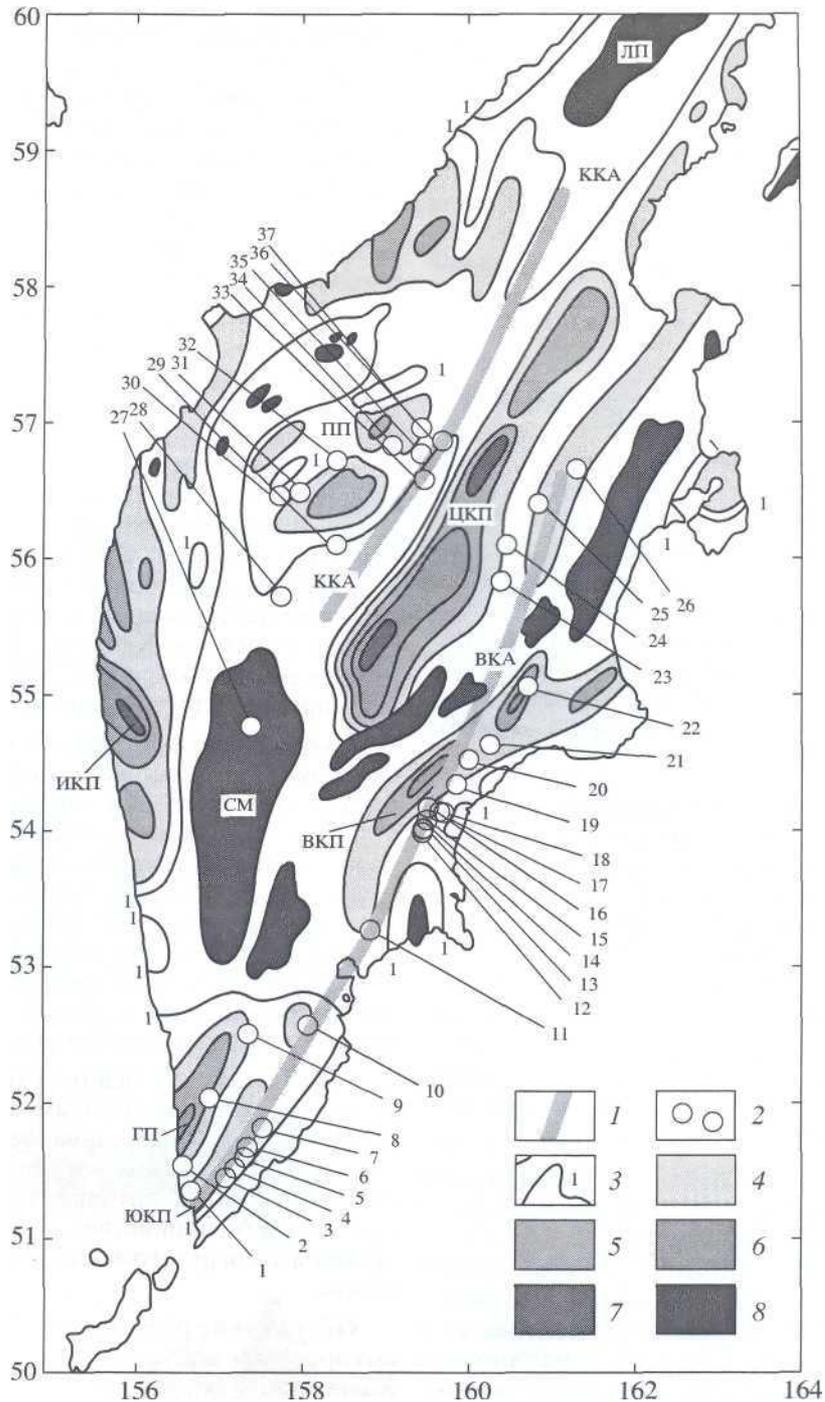


Рис. 2. Структурная схема фундамента (по Ю.Ф.Морозу [56]) и четвертичные кальдеры Камчатки. / - осевые линии четвертичных вулканических поясов; 2 - четвертичные кальдеры Камчатки (1-37 - номера кальдер, табл. 1); 3 - 7 - изолинии глубин и глубина до пород докайнозойского комплекса, залиты районы с глубинами: 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 структуры фундамента: ЮКП - Южно-Камчатский прогиб, ГП - Гольгинский прогиб, ВКП - Восточно-Камчатский антиклинорий, ККА - Камчатско-Корякский антиклинорий, ЦКП - Центрально-Камчатский прогиб, ПП - Паланский прогиб, ЛП - Лесновское поднятие.

статочный 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 про-

гибы 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, вулканы Вилючинский и Кизимен на Восточной Камчатке, вулкан Алней-Чашаконджа и все вулканы севернее его на Срединном хребте), но кальдер на них не образуются. 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, 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. 3 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. Магма, поднимаясь по проницаемым зонам в фундаменте, в верхних этажах земной коры встречает экран - осадочно-вулканогенный чехол. В основании этого чехла или глубже, вблизи границы мелового и кристаллического фундамента, магма накапливается и, таким образом, образуются магматические очаги, над которыми в дальнейшем при наличии проницаемых зон в чехле формируются кальдеры. Не исключено, что разделение кальдер на две группы, отличающиеся по диаметру (соответственно, 3-5 и 9-10 км), связано с тем, что эти кальде-

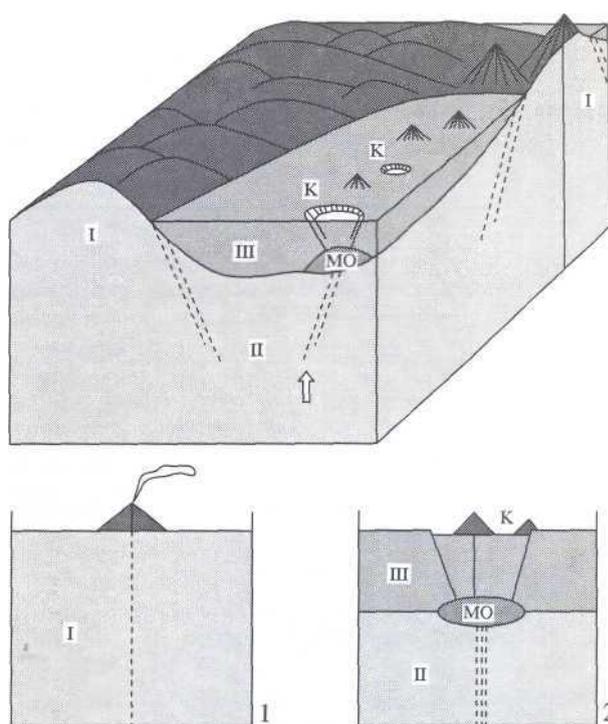


Рис. 3. Блок-диаграмма, показывающая структурные условия, при которых магма достигает поверхности на Камчатке. I - зоны поднятий докайнозойского фундамента, II - прогибы фундамента, III - породы осадочно-вулканогенного чехла, заполняющие прогибы фундамента и современные депрессии. Стрелка показывает зону подъема магмы в недрах вулканического пояса. Пунктирные линии - зоны проницаемости в земной коре (разломы фундамента). Буквами обозначены: МО - магматические очаги, К - кальдеры. 1, 2 - два режима 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 верхнекоровых магматических очагов и кальдер).

ры формируются над магматическими очагами, расположенными на двух уровнях, соответствующих, с одной стороны, границе осадочно-вулканогенного чехла и мелового фундамента, а с другой стороны - границе мелового и кристаллического фундамента.

В некоторых случаях мы обнаруживаем расположение кальдер группами. На Южной Камчатке на небольшом расстоянии друг от друга расположены 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 наглядно видно, что причины кальдерообразующих процессов имеют не локальный, а региональный характер.

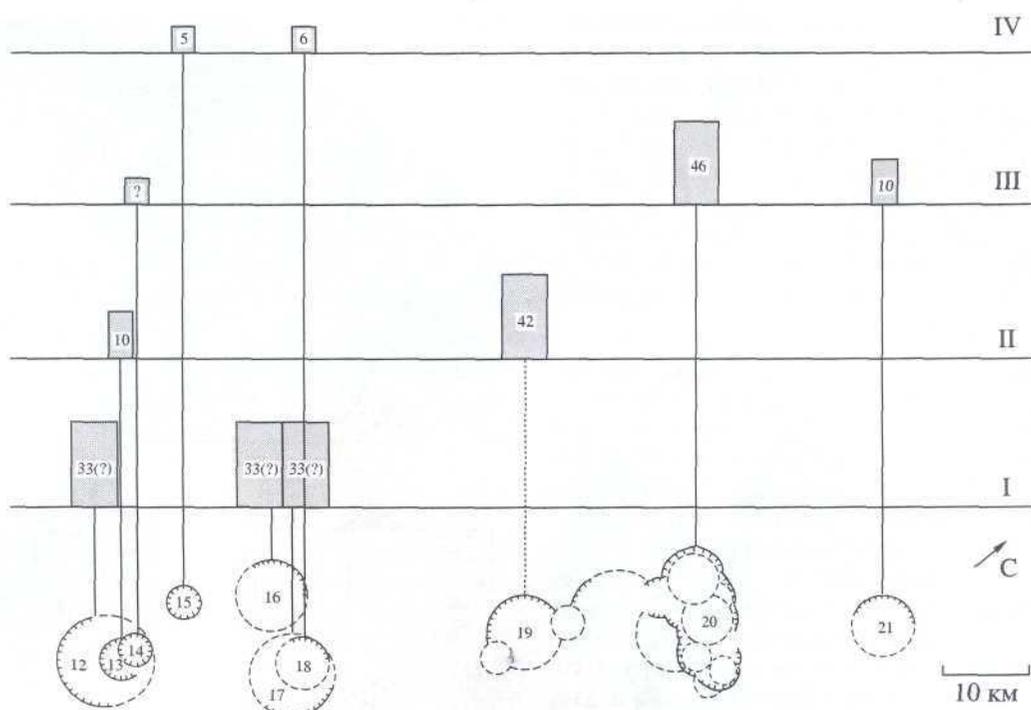


Рис. 4. Этапы кальдерообразующих извержений и объемы магмы, выброшенной при образовании кальдер на центральном участке Восточной Камчатки. В нижней части рисунка показано расположение кальдер. Номера кальдер соответствуют номерам в табл. 1. I-IV - этапы кальдерообразующих извержений (возрастные границы 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 км<sup>3</sup> (по [43, 50]). Для кальдер, сформировавшихся на первом этапе в Карымском центре (Половинка, Соболиная, Стена), известен общий объем выброшенной магмы (около 100 км<sup>3</sup>), но не известно, сколько магмы было выброшено при формировании каждой из этих кальдер. В связи с этим приведенные цифры - по 33 км<sup>3</sup> магмы для каждой кальдеры, приняты условно.

На рис. 4 отражены некоторые закономерности кальдерообразующих процессов на центральном участке Восточной Камчатки. Мы можем видеть здесь кустовое расположение кальдер, которые концентрируются на отдельных участках. Кальдерообразующие процессы здесь постепенно распространялись со временем все дальше на северо-восток - от Карымского центра к вулкану Большой Семячик, затем к Узон-Гейзерной депрессии и далее к кальдере вулкана 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 этом 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.

Имеющиеся данные, а именно: формирование кальдер группами, образование сложных просядок, развивающихся и на площадях, значительно удаленных от кальдер [42], - свидетельствуют, что магматические очаги, с которыми было связано кальдерообразование, могли иметь разме-

ры, значительно превышающие размеры отдельных кальдер. Об этом же свидетельствует, 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 [40].

**Заключение.** 1. В результате систематизации данных по четвертичным кальдерам Камчатки определено их количество - 37. Данную цифру, однако, нельзя считать окончательной. Это связано с тем, что, с одной стороны, многие кальдеры еще слабо изучены, а с другой стороны, есть, по-видимому, еще кальдеры, которые пока не выделены. Остаются и вопросы с применением тех или иных терминов. По-видимому, не все исследователи согласятся с принятым в данной работе основанием для разделения взрывных кальдер и кратеров, с признаками различия кальдер и вулканотектонических депрессий, с выделением кальдерных систем, объединяющих группы накладывающихся друг на друга и близких по времени образования кальдер. Тем не менее, нам

представляется, что эти вопросы необходимо обсуждать, и хотелось бы, чтобы данная работа привела к активизации исследований в этой области.

2. Проведено разделение кальдер на 4 типа: А, Б, В и Г. В качестве классификационного признака приняты тип вулканизма и позиция кальдеры 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). Показано, что диаметр кальдер из групп А и Б составляет в среднем около 5 км. Диаметр кальдер группы В значительно больше - в среднем около 10 км. Резко выделяются своими размерами: в группе Б - кальдера Уксичан (диаметр - 18 км), в группе В - кальдера Опала и Узон-Гейзерная депрессия (размеры по длинной оси, соответственно, 15 и 18 км). Названные структуры, наряду с кальдерой Хангар (размеры - 12 X 16 км), - крупнейшие на Камчатке.

3. Проанализирована структурная позиция четвертичных кальдер на Камчатке, рассмотрена связь их расположения с положением границ глубоких прогибов фундамента, оценена роль осадочно-вулканогенного чехла в образовании кальдер. В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы: 1) кальдеры расположены там, где вулканические пояса наложены на глубокие прогибы фундамента; 2) кальдеры приурочены к разломам, ограничивающим эти прогибы, и, в основном, к разломам, ограничивающим их с юго-востока; 3) для образования кальдер необходимо наличие относительно слабопроницаемого чехла, который играет роль экрана, способствующего накоплению магмы и образованию близповерхностных магматических очагов.

Автор признателен руководителю работ в рамках проекта РФФИ № 99-05-65371 академику С.А. Федотову за внимание и поддержку данного направления исследований. В процессе работы автор неоднократно пользовался консультациями специалистов, изучавших кальдеры Камчатки, и особенно благодарен Л.И. Базановой, О.А.Брайцевой, Е.Н. Гриб, О.Н. Егорову, Н.Н. Кожемяке, А.Б. Перепелову за данные, предоставленные ими по различным аспектам строения кальдер. Особую благодарность хочется выразить О.Н. Егорову и Н.Н. Кожемяке, которые прочли рукопись и сделали ряд полезных критических замечаний, уч-

тенных автором при работе над статьей. Автор также глубоко признателен В.И. Левиной, оказавшей помощь при работе над рис. 2.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 99-05-65371,00-15-98609).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Апрелков С.Е., Ежов Б.В.* Структуры вулканогенных полей Центрально-Камчатского пояса // Геология и геофизика. 1977. № 4. С. 130-136.
2. *Апрелков С.Е., Попруженко С.В.* Особенности глубинного строения Восточно-Камчатского вулканического пояса // Тихоокеанская геология. 1984. № 3. С. 68-73.
3. *Апрелков С.Е., Ольшанская О.Н.* Тектоническое районирование Центральной и Южной Камчатки по геологическим и геофизическим данным // Тихоокеанская геология. 1989. № 1. С. 53-66.
4. *Апродов В.А.* Вулканы. М.: Мысль, 1982. 367 с.
5. *Арамаки С.* Пирокластические потоки и кальдеры Японии // Вулканизм островных дуг. М.: Наука, 1977. С. 164-172.
6. *Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79.
7. *Беммелен Р.В.* Геология Индонезии. М.: Изд-во ИЛ. 1957. 394 с.
8. *Бондаренко В.И.* Сейсмоакустические исследования оз. Курильского // Вулканология и сейсмология. 1990. №4. С. 97-111.
9. *Брайцева О.А., Богоявленская Г.Е., Эрлих Э.Н.* Геологическое строение Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 10-32.
10. *Брайцева О.А., Краевая Т.С., Шеймович В.С.* О происхождении Курильского озера и пемз этого района // Вопросы географии Камчатки. Вып. 3. 1965. С. 49-57.
11. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д., Литасова С.Н.* Возраст действующих вулканов Курило-Камчатского региона // Вулканология и сейсмология. 1994. № 4-5. С. 5-32.
12. *Важеевская А.А., Огородов Н.В.* Петрохимические особенности четвертичных эффузивов // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 44-66.
13. *Важеевская А.А., Литасов Н.Н., Кожемяка Н.Н.* Вулкан Комарова // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 44-45.
14. *Влодавец В.И.* Вулканы и вулканические образования Семьячинского района // Тр. Лаб. вулканол. АН СССР. Вып.15. 1958. 197 с.
15. *Влодавец В.И.* Справочник по вулканологии. М.: Наука, 1984. 340 с.
16. *Вольнец О.Н., Патока М.Г., Мелекесцев И.В., Зубин М.И.* Вулкан Ичинский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 282-292.
17. *Вольнец О.Н., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Ягодзински Дж.М.* Харчинский и Заречный вулка-

- ны - уникальные центры позднеплейстоценовых магнезиальных базальтов на Камчатке: структурная приуроченность, морфология, возраст и геологическое строение вулканов // Вулканология и сейсмология. 1998. № 4-5. С. 5-18.
18. Геологический словарь: в Т. 1. М.: Недра, 1973. С. 299.
  19. Гриб Е.Н., Леонов ВЛ. Игнимбриты кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия образования // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5-6. С. 34-50.
  20. Двигало В.Н., Федотов С.А., Чирков А.М. Вулкан Плоский Толбачик // Действующие вулканы Камчатки: Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 200-209.
  21. Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. 172 с.
  22. Егоров О.Н. Центры эндогенной активности (вулканические системы). М.: Наука, 1984. 166 с.
  23. Заварицкий А.Н. Вулканы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 82 с.
  24. Зубин М.И. Геофизические поля и глубинное строение по геофизическим данным // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 10-19.
  25. Зубин М.И., Мелекесцев И.В., Таракановский А.А., Эрлих Э.Н. Четвертичные кальдеры Камчатки // Вулканизм и глубины Земли. М.: Наука, 1971. С. 55-66.
  26. Иванов Б.В., Брайцева О.А., Зубин М.И. Вулкан Карымский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 182-201.
  27. Кирсанов И.Т., Мелекесцев И.В. Вулкан Горелый // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 294-313.
  28. Кирсанова Т.П., Мелекесцев И.В. О происхождении и возрасте Ходуткинских терм // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 49-59.
  29. Кожемяка Н.Н. Морфогенетические типы вулканов // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 33-39.
  30. Кожемяка Н.Н. Тектоническое положение и общий очерк вулканов Южной Камчатки // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 276-278.
  31. Кожемяка Н.Н., Важеевская А.А. Вулкан Желтовский. Вулкан Ильинский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 356-379.
  32. Кожемяка Н.Н., Огородов Н.В. Некоторые особенности вулканизма и генезиса Паужетской вулкано-тектонической структуры (Южная Камчатка) // Бюл. вулканол. станций. М.: Наука, 1977. № 53. С. 92-101.
  33. Кожемяка Н.Н., Важеевская А.А., Зубин М.И. Вулкан Опала // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 284-289.
  34. Кожемяка Н.Н., Огородов Н.В., Литасов Н.Е., Важеевская А.А. Общая характеристика зоны четвертичного вулканизма // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 28-33.
  35. Кожемяка Н.Н., Литасов Н.Е., Важеевская А.А. и др. Основные черты геологического строения, вулканизм и эволюция вещества Кроноцко-Гамченской структуры на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1987. № 3. С. 37-50.
  36. Кутыев Ф.Ш., Лебедев М.М., Максимовский В.А. О природе вулкано-тектонической структуры Хангар // Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка. 1976. № 7. С. 35-46.
  37. Леонов ВЛ. Разрывные нарушения Паужетской вулкано-тектонической структуры // Вулканология и сейсмология. 1981. № 1. С. 24-36.
  38. Леонов ВЛ. Геологическое строение каньона р. Шумной и Узонско-Гейзерная депрессия Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1982. № 2. С. 100-103.
  39. Леонов ВЛ. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
  40. Леонов ВЛ. О некоторых закономерностях развития гидротермальной и вулканической деятельности на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1991. № 2. С. 28-40.
  41. Леонов ВЛ., Гриб Е.Н. Вулкан Большой Семячик // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 144-157.
  42. Леонов ВЛ., Гриб Е.Н. Кальдеры и игнимбриты Узон-Семячикского района, Камчатка: новые данные по результатам изучения разрезов Плато Широкое // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 41-59.
  43. Леонов ВЛ., Гриб Е.Н., Карташева Л.А. Расчленение игнимбритов и оценка объемов магмы, выброшенной при игнимбритообразующих извержениях на Восточной Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 3-18.
  44. Леонов ВЛ., Гриб Е.Н., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 94-141.
  45. Луцицкий И.В. Основы палеовулканологии. Т. 1. Современные вулканы. М.: Наука, 1971. 480 с.
  46. Макдоналд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.
  47. Маренина Т.Ю. Вулкан Хангар в Среднем хребте Камчатки // Вулканизм Камчатки и Курильских островов. М.: Изд-во АН СССР. 1959. С. 3-63.
  48. Масуренков Ю.П., Комкова Л.А. Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре. М.: Наука, 1978. 288 с.
  49. Масуренков Ю.П., Флоренский И.В., Мелекесцев И.В. Вулкан Жупановский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 218-225.
  50. Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Кочегура В.В., Лупкина Е.Г., Флоренский И.В. Геологические соотношения и последовательность формирования вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований // Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука, 1980. С. 8-17.
  51. Масуренков Ю.П., Егорова И.А., Пузанков М.Ю., Балеста С.Т., Зубин М.И. Вулкан Авачинский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 246-269.

52. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Катастрофические кальдерообразующие извержения вулкана Ксудач в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4-5. С. 28-53.
53. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Эрлих Э.Н., Кожемяка Н.Н. Вулканические горы и равнины // Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. С. 162-234.
54. Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А., Кирсанова Т.П., Масуренков Ю.П. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-97.
55. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Базанова Л.И., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д. Особый тип катастрофических эксплозивных извержений - голоценовые субкальдерные извержения Хангар, Ходуткинский "маар", Бараний Амфитеатр (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1996. № 2. С. 3-24.
56. Мороз Ю.Ф. Строение осадочно-вулканогенного чехла Камчатки по геофизическим данным // Тихоокеанская геология. 1991. № 1. С. 59-67.
57. Муравьев Я. Д., Егоров О.Н. Термальные источники в среднем течении р. Старый Семячик // Вопросы географии Камчатки. 1990. Вып. 10. С. 131-140.
58. Набоко СИ. Современные вулканы и газогидротермальная деятельность // Геология СССР. Т. 31. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Недра, 1964. С. 303-372.
59. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Литасов Н.Е. Четвертичные вулканы // Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980. С. 105-116.
60. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Вадеевская А.А., Огородова А.С. Вулкан Уксичан в Срединном хребте Камчатки. // Вулканизм и геохимия его продуктов. М.: Наука, 1967. С. 93-111.
61. Огородов Н.В., Кожемяка Н.Н., Вадеевская А.А., Огородова А.С. Вулканы и четвертичный вулканизм Срединного хребта Камчатки. М.: Наука, 1972, 192 с.
62. Паужетские горячие воды на Камчатке. М.: Наука, 1965. 208 с.
63. Перепелов А.Б., Прокофьев В.Ю., Дриль СИ. Гидротермально-магматическая система вулкана Уксичан (Камчатка) // Минерало-рудообразование в вулканогидротермальных системах островных дуг / Материалы Российско-Японского полевого семинара. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 119-124.
64. Пономарева В.В., Вольнец О.Н., Флоренский И.В. Вулкан Крашенинникова // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 62-69.
65. Селянгин О.Б. Петрогенезис базальт-дацитовый серии в связи с эволюцией вулканоструктур. М.: Наука, 1987. 148 с.
66. Селянгин О.Б. Геологическое строение и эволюция кальдерного комплекса вулкана Ксудач // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 16-27.
67. Селянгин О.Б. Вулкан Ксудач // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 340-351.
68. Селянгин О.Б. Новое о вулкане Мутновский: строение, развитие, прогноз // Вулканология и сейсмология. 1993. № 1. С. 17-35.
69. Селянгин О.Б., Брайцева О.А. Вулкан Малый Семячик // Действующие вулканы Камчатки: Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 162-176.
70. Серезников А.И., Литасов Н.Е., Огородов Н.В., Спицenkova М.В. Кошелевский вулканический массив // Бюл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 54-59.
71. Сирин А.Н. О соотношении центрального и арельного вулканизма. М.: Наука, 1968. 196 с.
72. Скорыходов В.Н. Некоторые особенности эволюции четвертичного вулкана Уксичан (Срединный хребт Камчатки) // Палеовулканические реконструкции. Новосибирск: Наука, 1976. С. 113-121.
73. Стефанов Ю.М., Широкий Б.И. Металлогения верхнего структурного этажа Камчатки. М.: Наука, 1980. 104 с.
74. Федорченко В.И., Пискунов Б.Н., Родионова Р.И. Два типа кальдер Курильских островов и связанных с ними кислых вулканитов // Глубинное строение, магматизм и металлогения Тихоокеанских вулканических поясов. Владивосток, 1976. С. 328-329.
75. Флеров Г.Б., Овсянников А.А. Вулкан Ушковский // Действующие вулканы Камчатки: Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 156-163.
76. Флоренский И.В. К вопросу о возрасте кальдер Узон и Крашенинникова // Вулканология и сейсмология. 1984. № 1. С. 102-106.
77. Харченко Ю.И., Апрельков СЕ. Ичинско-Кирганинский вулканогенно-рудный центр // Прогнозная оценка рудоносности вулканогенных формаций. М.: Недра, 1977. С. 102-121.
78. Черкасов Р.Ф. Классификация // Геологические тела (терминологический справочник) М.: Недра, 1986. С. 61-97.
79. Шеймович В.С. Гранитоидные ксенолиты вулкана Ходутка (Южная Камчатка) // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. 1975. № 11. С. 127-132.
80. Шеймович В.С. Игнимбриты Камчатки. М.: Недра, 1979. 179 с.
81. Шеймович В.С., Патока М.Г. Вулкан Опала и другие голоценовые центры кислых эксплозивных извержений Южной Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1979. № 5. С. 92-96.
82. Эрлих Э.Н. Новые данные о вулканотектонических структурах Камчатки и вопросы развития четвертичного вулканизма // Геотектоника. 1966. № 6. С. 48-63.
83. Эрлих Э.Н. Структурная приуроченность Узонско-Гейзерного геотермального района // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 5-10.
84. Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press. 2000. P.835-855.
85. Erlich E.N., Melekestsev I.V., Tarakanovsky A.A., Zubin M.I. Quaternary Calderas of Kamchatka // Bulletin volcanologique. 1973. V. 36. № 1. P. 222-237.

86. *Erllich E.N.* Geology of the calderas of Kamchatka and Kurile Islands with comparison to calderas of Japan and the Aleutians, Alaska // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. 1986. № 86-291. 300 p.
87. *Katsuil.* Some problems of the theory of caldera formations (in Japanese) // Bull. Volcanol. Soc. Japan. Ser. 2.
88. *Lipman P.W.* Subsidence of ash-flow calderas: relation to caldera size and magma-chamber geometry // Bull. Volcanol 1997 V 59 P 198-218
89. *Lipman P.W.* Calderas // Encyclopedia of Volcanoes. Academic Press. 2000. P.643-662.
90. *Newhall C.G., Dzurisin D.* Historical unrest at large calderas of the world // U.S. Geol. Surv. Bull. 1855. V. 2. 1988. P. 627-674.
91. *Reck H.* Zur Deutung der vulkanischen Geschichte und der Calderabildung auf der Insel La Palma // Z. Vulkanol. Bd. 11. 1928.
92. *Tanakadate H.* The problem of calderas in the Pacific region // Proc. 4<sup>th</sup> Pasif. Sci. Congr. V.11B. Java, 1929. p. 929-944.
93. *Walker R.T.* Mineralized volcanic explosion pipes // Eng. and Min J V 126 1928
94. *Williams H.* Calderas and their origin // Calif. Publ. Dept. Geol. Sci. V. 25. N6. 1941. P. 239-346.
95. *Williams H., McBirney A.R.* Volcanology. San Francisco, California. 1979. P.207
96. *Wolff F.* Der Vulkanismus. Bd. 1. Stuttgart. 1914. P. 698.

### **The Quaternary Calderas of Kamchatka: Review, Classification, Structural Setting**

**V. L. Leonov**

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

This paper summarizes data on the Quaternary calderas of Kamchatka, including the terminology, the difference of calderas from craters and volcano-tectonic depressions, classification problems. Data on 37 Kamchatka calderas are presented. All calderas are divided into four sets by the composition of associated volcanism and the relation to the volcanic edifice. Set 1 consists of calderas associated with basaltic volcanism. Sets 2 and 3 include those involving discharges of silicic and intermediate pyroclastic (set 2 includes calderas connected with individual volcanoes, while those in set 3 are calderas that dissect several volcanic edifices). Set 4 consists of calderas that have come into being with no participation of volcanism. The structural settings are considered. It is shown that calderas occur in groups in those locations where a volcanic belt is superposed on major basement depressions, most calderas lying along the southeastern boundaries of depressions. The conditions under which the calderas were evolving are discussed. A model is suggested that lays great stress on the presence of a low permeability cover which plays the part of a screen facilitating the outflow of magma under it, the storage of magma, and the formation of shallow magma chambers, which ultimately leads to caldera generation.