

ЛЕОНОВ В.Л. (ИВ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский)

ПОПЕРЕЧНЫЕ СТРУКТУРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВУЛКАНИЗМА

Поперечные структуры подвижных зон, занимая подчиненное по отношению к продольным структурам положение, часто бывают выражены не очень отчетливо, и многие исследователи их просто игнорируют. В то же время важность этих структур в контроле различного рода проявлений эндогенной активности отмечалась давно [2, 6, 8, 9, 19]. Камчатка является ярким примером взаимодействия продольных и поперечных структур, на что обращалось внимание неоднократно [1, 6, 18, 20, 22]. Основные продольные структуры на Камчатке - 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 Г.Ф.Уфимцев [18] рассматривает как сводовые поднятия. В новейшее время продольные и поперечные структуры развиваются одновременно [22], что позволяет рассматривать тектоническую систему Камчатки на современном этапе как систему поперечного сочленения перекрестного типа [2]. Активность тектонических поднятий восточных полуостровов наиболее высокая на Камчатке - до 4-5 мм/год [7].

Пояса четвертичных вулканов Камчатки, имея северо-восточное простирание, накладываются на отмеченную выше систему поперечных структур. По данным И.Н.Кожемяки [10], в настоящее время выделяется около 3000 четвертичных вулканических построек, которые пространственно группируются в четыре зоны: Южно-, Восточно-, Центральную и Средне-Камчатскую. Рассмотрим Восточно-Камчатскую зону, протягивающуюся от Авачинско-Корякской группы вулканов на юге до Гамченского ряда вулканов на севере (рис.1). Длина этого участка около 300 км. Подавляющая часть четвертичных вулканов, которых здесь насчитывается около 400, расположена в полосе шириной 30 км. Здесь же находится 80% действующих вулканов Камчатки [10].

Исследователи, изучавшие эту зону ранее, отмечали, что вулканизм в центральной ее части по многим параметрам отличается от вулканизма краевых частей. Так, согласно [21], в центре этой зоны широко развиты крупные вулканотектонические 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 [14], выделяя в этой зоне ряд крупных вулканических центров, также отмечал, что те центры, 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 глубинного разлома (названного Ю.П.Масуренковым «термальным рифтом»). В то же время в Карымском и Узонском центрах более ярко проявлены средне-кислый вулканизм и покровное игнибриитообразование. Отмечалось также, что вулканизм последнего верхнеплейстоцен-голоценового этапа проявился гораздо больше в краевых центрах (объем вулкаников этого этапа в Налачевском и Гамченском центрах составляет 1 10 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 [21] 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 [14] различия связывал с особенностями развития вулканических центров и отмечал, что Налачевский и Гамченский центры находятся в узлах пересечения продольных и поперечных структур Камчатки, и именно узловое положение этих центров определяет их отличие от центров, расположенных 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 связаны совсем с другими причинами, с тем, что Восточно-Камчатская зона, протягиваясь в северо-восточном направлении, наложена на систему поперечных поднятий и прогибов.

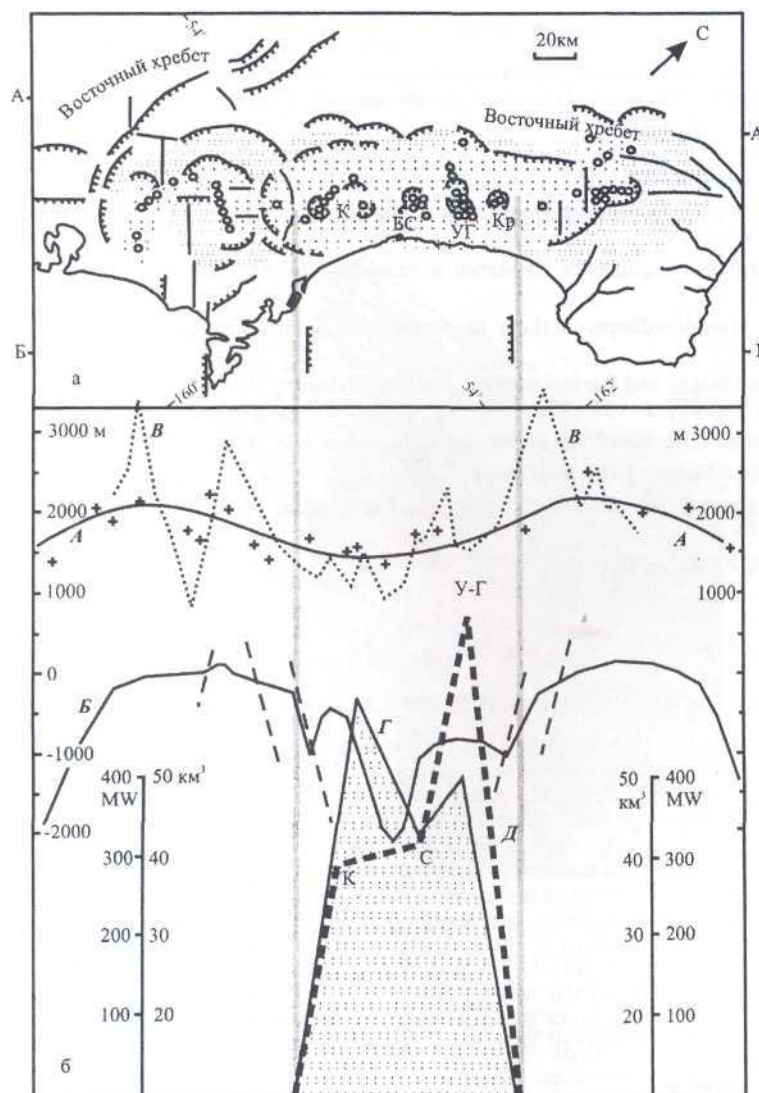


Рис. 1. Основные особенности современной структуры центрального участка Восточной Камчатки.

а - схема расположения четвертичных вулканов (кружочки) Восточно-Камчатской вулканической зоны и разломов, обрамляющих эту зону (линии с борштрихами). Крапом показаны области распространения вулканических пород четвертичного (редкий крап) и плиоценового (частый крап) возраста. Буквами обозначены кальдеры и кальдерные системы: К - Карымская, БС - Большесемьянская, 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 извержениях в позднечетвертичное время; Д - тепловая мощность геотермальных систем (в MW). Буквами обозначены системы: К - Карымская [3], С - Семьянская, У-Г - Узонская и Гейзерная [17]. Серые вертикальные линии показывают границы поперечной зоны относительного опускания и центрального участка Восточно-Камчатской зоны четвертичного вулканизма.

На рис. 1 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 одноипины - 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 отмеченные выше различия в характере вулканизма центральной и краевых частей зоны, с нашей точки зрения, связаны именно с наличием этих поперечных поднятий и прогибов.

На графике В (см. рис.1) 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 составляет 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 влк. Авачинский и Комарова. С крупными кальдерами центрального участка связаны обширные поля пирокластики, отвечающей по составу дацитам и риодацитам. Объем кислой магмы, поступившей здесь на поверхность при кальдерообразующих извержениях в позднем плейстоцене, оценивается в 220 км³ [13]. Распределение кислых пород позднечетвертичного возраста вдоль Восточно-Камчатской вулканической зоны показано на графике Г (см. рис. 1). На центральном участке рассматриваемой зоны, там, где расположены крупнейшие кальдеры, известны и наиболее крупные на Камчатке высокотемпературные гидротермальные системы - Карымская, Семьянская, Узонская, Гейзерная [17] (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 мезо-палеогенового фундамента была рассмотрена нами недавно отдельно [11].

На поднятиях, имеющих северо-западное простирание, расположение четвертичных вулканов жестко контролируется разрывами северо-западного простирания. Такие разрывы по ряду вулканов Авачинско-Корякской, Дзэндзур-Жупановской групп и вулканам Гамчен - Конради - Кизимен выделял еще А.Н.Заварицкий [6]. В центральной части Восточно-Камчатской зоны ряды вулканов выражены не так отчетливо, а те, которые выделяются, имеют иные простирания, чаще всего меридиональные и субширотные.

Камчатскую зону четвертичных вулканов и Вулканическую зону Таупо на Северном острове Новой Зеландии (рис.2) [23-25]. Они во многом похожи - обе протягиваются в длину примерно на 300 км, имеют ширину около 60 км, в обеих выделяется центральный участок длиной около 120 км, где в позднечетвертичное время преобладает кислый вулканизм (в зоне Таупо - преимущественно риолитовый, в Восточно-Камчатской - дацитовый). В обеих зонах обособляются краевые участки, где развит преимущественно андезитовый вулканизм. Похожи они и тем, что на центральных участках в обеих зонах широко развиты кальдеры и высокотемпературные геотермальные системы. Есть и отличия. В вулканической зоне Таупо было извергнуто значительно больше кислых вулкаников - за последние 200 тыс. лет - около 1000 км³ (в пересчете на плотную породу) [24]. Это в 5 раз больше, чем за этот же промежуток времени на центральном участке Восточной Камчатки, - 220 км³ [13]. Общая тепловая мощность геотермальных систем зоны Таупо в 3,5 раза больше (4200 MW [23] против 1200 MW [3, 17]). На рис. 2 показаны основные особенности строения зоны Таупо и расположенных к востоку от нее хребтов. Так же как

на Восточной Камчатке, в строении хребта, протягивающегося вдоль зоны Таупо, обнаруживаются поднятия и опускания, свидетельствующие о наличии и здесь поперечных структур (график А); отмечается и резкий рост высоты вулканов в тех местах, где вулканические зоны наложены на поднятия (график В). Так же как и на Восточной Камчатке, видна отчетливая связь участка, где преобладает кислый вулканизм, развиты кальдеры и геотермальные поля (графики В и Г) с зоной поперечного опускания, к которой на восточном побережье Северного острова приурочен зал. Хок.

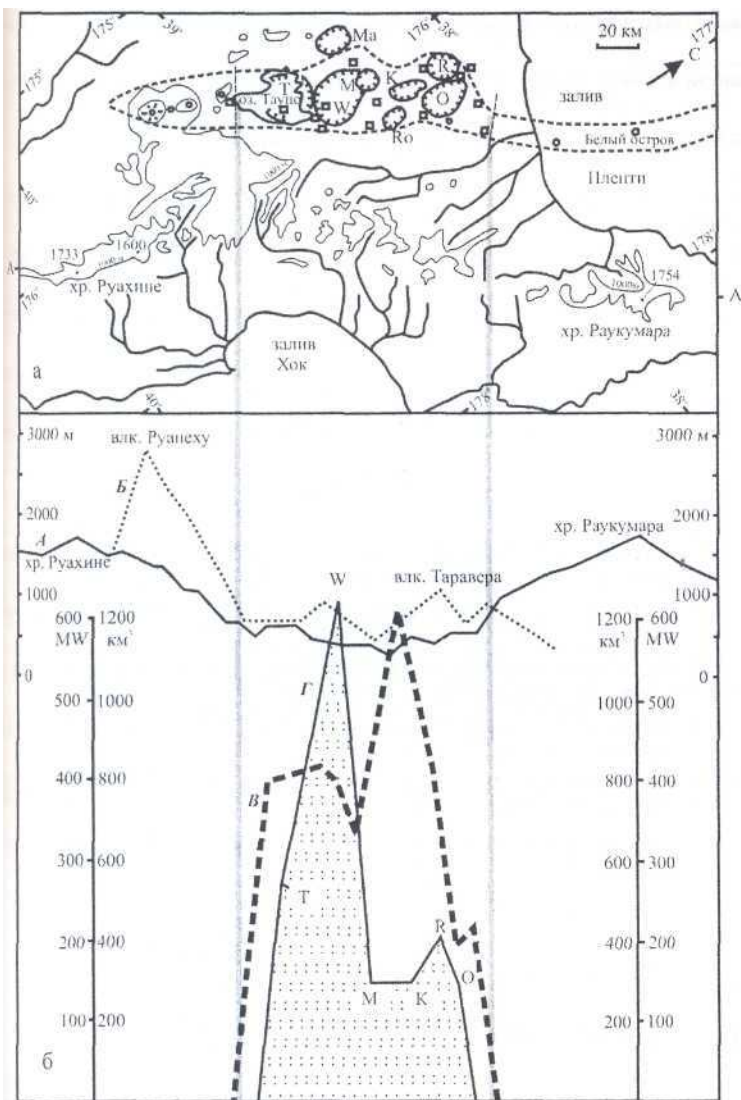


Рис. 2. Основные особенности современной структуры Вулканической зоны Таупо и хребтов, расположенных восточнее.

а - схема расположения четвертичных вулканов (кружочки), кальдер (линии с бергшприхами) и геотермальных систем (квадратики) в Вулканической зоне Таупо. Пунктирной линией показаны границы «молодой» части зоны Таупо, где расположены вулканы и кальдеры с возрастом моложе 340 тыс. лет (по [24]). Поперечные пунктирные линии показывают границы участков с преобладанием андезитового (по краям) и риолитового (в центре) вулканизма [25]. На хребтах показаны изолиния 1000 м и наиболее высокие вершины; б - графики: А - профиль по линии А - А' на схеме «а»; В - линия высот четвертичных вулканов; Г - тепловая мощность геотермальных систем (в MW), Г~ объем магмы, выброшенной в виде кислой пирокластики при кальдерообразующих извержениях в позднечетвертичное время (в км³). Буквами обозначены кальдеры: Т - Таупо, W - Вакамару, М - Мароа, К - Капенга, R - Роторуа, О - Окатана (по [25]). Серые вертикальные линии показывают границы поперечной зоны относительного опускания и центрального участка Вулканической зоны Таупо, где в четвертичное время преобладал риолитовый вулканизм.

Харченко Ю.И., Кутыев Ф.Ш. Вулканы как индикаторы долгоживущих магматических и металогеогенных центров (принципы металлогенического анализа и районирования) // Геодинамика, магнообразование и вулканизм. Петропавловск-Камчатский, 1974. С. 167-174.

- Егоров О.Н. Центры эндогенной активности (вулканические системы). М.: Наука, 1984. 230 с.
- Заварицкий А.Н. Вулканы Камчатки. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 82 с.
- История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Камчатка, Курильские и Командорские острова. М.: Наука, 1974. 340 с.

Приведенные данные, как нам представляется, свидетельствуют в пользу того, что характер вулканизма как в Восточно-Камчатской зоне, так и в зоне Таупо, 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 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 существенно, и это не связано с развитием самих центров. Соответственно, перспективность этих центров в плане нахождения в них геотермальных месторождений и рудопроявлений 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 [15, 16]. То же относится, с нашей точки зрения, и к оценке перспективности вулканогенно-рудных центров [4], центров эндогенной активности [5] или выделяемых в последнее время гидротермально-магматических систем. 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.

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № 00-15-98609, № 02-05-64979 и госконтракта № Э0334 (КПУ).

ЛИТЕРАТУРА:

- Апродов В.А. Связь вулканизма Курило-Камчатской островной дуги с ее новейшими структурами // Вулканические и вулканоплутонические формации. М.: Наука, 1966. С. 228-238.
- Боровиков А.М. Типы поперечных сочленений линейных тектонических элементов. М.: Наука, 1971. 104 с.
- Вакин Е.А., Пилипенко Г.Ф. Катастрофическая деформация и последующая эволюция высокотемпературной геотермальной системы как результат фреатомагматического извержения в Карымском кальдерном озере // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГИГ ДВО РАН, 2001. С. 274-299.
- Василевский М.М., Тарасенко Т.В.,

8. Кашкай М.А. Магматическая активность в неоген-антропогенных поперечных структурах Кавказа // *Вулканические и вулканоплутонические формации*. М.: Наука, 1966. С. 248-253.
9. Кашкай М.А. Генетическая связь вулканизма и других явлений с поперечными структурами (на примере Кавказа-Крыма) // *Вулканизм и тектогенез*. М.: Наука, 1968. С. 54-57.
10. Кожемяка Н.Н. Четвертичные полигенные вулканы Камчатки: масштабы вулканизма, баланс вещества, динамика интенсивности и продуктивности в отдельных типах построек, вулканических зонах и по региону в целом // *Вулканол. и сейсмол.* 2001. № 5. С. 3-21.
11. Леонов В.Л. Региональные структурные позиции высокотемпературных гидротермальных систем на Камчатке // *Там же..* С.32-47.
12. Леонов В.Л. Четвертичные кальдеры Камчатки: обзор, классификация, структурная позиция // *Вулканол. и сейсмол.* 2003. №2. С.1-14.
13. Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карташева Л.А. Расчленение игнимбритов и оценка объёмов магмы, выброшенной при игнимбритообразующих извержениях на Восточной Камчатке // *Вулканол. и сейсмол.* 2000. №5. С.21-36.
14. Масуренков Ю.П. Тектоническое положение и краткая история развития вулканов Восточной Камчатки // *Действующие вулканы Камчатки: В 2-х т.* М.: Наука, 1991. Т. 2. С.8-13.
15. Масуренков Ю.П., Комкова Л.А. Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 274 с.
16. Масуренков Ю.П., Комкова Л.А., Пузанков М.Ю., Егорова И.А. Структурно-вещественные критерии для поисков термальных вод в районе г.Елизово на Камчатке // *Вулканол. и сейсмол.* 1987. № 3. С. 19-36.
17. Сугробов В.М., Яновский Ф.А. Геотермическое поле Камчатки, вынос тепла вулканами и гидротермами // *Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т.* М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 58-66.
18. Уфимцев Г.Ф. Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск: Наука, 1984. 184 с.
19. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1964. 480 с.
20. Шанцер А.Е. Некоторые особенности эволюции тектоно-магматических структур Камчатки в зависимости от ее блокового строения и движения блоков в позднем кайнозое // *Бюл. вулканол. станций.* 1979. № 57. С. 53-65.
21. Эрлих Э.Н. Новые данные о вулканотектонических структурах Камчатки и вопросы развития четвертичного вулканизма // *Геотектоника.* №6. 1966. С.48-63.
22. Эрлих Э.Н., Мелекесцев И.В., Шанцер А.Е. Новейшая тектоника // *История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Камчатка, Курильские и Командорские острова.* М.: Наука, 1974. С. 345-368.
23. Bibby H.M., Caldwell T.G., Davey F.J., Webb T.H. Geophysical evidence on the structure of the Taupo Volcanic Zone and its hydrothermal circulation // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1995. Vol.68. P. 29-58.
24. Houghton B.F., Wilson C.J.N., McWilliams M.O. et al. Chronology and dynamics of a large silicic magmatic system: Central Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *Geology.* 1995. Vol.23. N 1. P. 13-16.
25. Wilson C.J.N., Houghton B.F., McWilliams M.O. et al. Volcanic and structural evolution of Taupo Volcanic Zone, New Zealand: a review // *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 1995. Vol.68. P. 1-28.