

*Гриб Е. Н., Леонов В.Л.,*

**Институт Вулканологии ДВО РАН ( г.Петропавловск-Камчатский)**

### **ЭВОЛЮЦИЯ ВЕРХНЕКОРОВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ В КАЛЬДЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ**

В Центральной части Восточного Вулканического пояса расположен ряд верхнечетвертичных кальдер, возраст которых уменьшается с юго-запада на северо-восток. Это кальдеры Карымского долгоживущего вулканического центра, кальдера Большого Семячика, депрессия Узон-Гейзерная и кальдера Крашенинникова. Они сформированы над малогазными магматическими резервуарами при катастрофических крупнообъемных эксплозивных извержениях пироклаستيки кислого и среднего состава. При извержениях произошло обрушение кровли магматической камеры и на поверхности возникли замкнутые депрессии - кальдеры, впоследствии заполненные озерными отложениями. С кальдерами связаны высокотемпературные гидротермальные системы и месторождения полезных ископаемых.

Нами детально изучались верхнеплейстоценовые кальдеры - Большесемячикского Узон-Гейзерного районов, которые отличаются различной эволюцией коровых резервуаров. На основе крупномасштабного геологического картирования детально описаны основные структурные элементы и магматические комплексы, осуществлена их возрастная привязка, определены составы парагенезисов минеральных фаз, оценены физико-химические условия кристаллизации расплавов и эволюция магматического вещества во времени. Исследована роль глубинных базальтов в формировании кислых магм и процессах смешивания расплавов, как одного из ведущих факторов, объясняющих многообразие пород наряду с кристаллизационной дифференциацией.

Существенную информацию о строении магматических резервуаров несут крупнообъемные катастрофические извержения, с которыми связано образование игнимбритов. Изучая разрезы игнимбритов, составы минеральных фаз, коррелируя эти разрезы, мы можем представить исходное строение очага перед извержением и восстановить динамику его во времени. Считается, что изменение состава пирокластических отложений, связанных с образованием вулcano-тектонических депрессий и состава минеральных фаз по разрезу, как в отдельных пирокластических потоках, так и в течении всего кальдерообразующего этапа, свидетельствует о существовании расслоенности расплава в магматическом резервуаре: в апикальной части очага формируется "шапка" высококремнистых (риолитовых, риодацитовых) расплавов, которые ниже сменяются дацитовыми и андезито-дацитовыми. Зональность формируется в периоды длительного "отстоя" расплава в условиях относительно закрытой системы и фиксируется только при эвакуации больших объемов пирокластического материала.

Наиболее выразительно эта зональность проявлена в пирокластических потоках кальдеры Большого Семячика, где выделяется три кальдерообразующих этапа. В докальдерное время в недрах структуры существовал промежуточный магматический очаг, поставлявший на поверхность расплавы преимущественно андезито-базальтового, андезитового составов.

Первый кальдерообразующий этап начался извержением высококремнистых риолитовых игнимбригов, обогащенных щелочами и водой, а завершился игнимбригами андезито-дацитового состава. Высокая степень кристалличности и относительно однородный состав вкрапленников в этих игнимбригах свидетельствуют о спокойных условиях кристаллизации расплава. Отсутствие промежуточных разностей между этими игнимбригами позволяет предполагать наличие резкой границы между слоями расплава в магматической камере. Между первым и вторым этапами существовал значительный временной интервал, в течение которого нарушенная зональность в очаге восстановилась. Во время второго кальдерообразующего этапа произошло извержение по крайней мере трех пирокластических потоков риодацитового состава. *Снижение* кислотности каждой последующей порции, отражают процесс дренирования все более глубоких зон очага. В конце второго этапа произошло извержение игнимбригоподобных пород андезито-базальтового состава, что свидетельствует о существовании другого магматического резервуара на более глубоких уровнях. Широкий диапазон составов вкрапленников в игнимбригах второго этапа отражает процессы смешивания в коровом очаге. Относительное истощение верхнего риолитового слоя в течение первых двух этапов и значительная конвекция в очаге после внедрения базальтовой магмы, привели к выравниванию состава расплава и извержению в начале третьего этапа игнимбригов дацитового состава. В последнем пирокластическом потоке кислотность снижается и в игнимбригах появляются рзвальцованные включения шлаков андезито-базальтового состава. Бимодальность минерального состава игнимбригов третьего этапа, широко проявленная зональность вкрапленников, одновременное присутствие дацитовых стекол и шлаков андезито-базальтового состава, отражают как более ранние, так и возникшие непосредственно во время извержения процессы смешивания расплавов.

Повышение основности каждого последующего пирокластического потока с возрастанием степени неоднородности, свидетельствует о том, что основной объем кислой магмы в коровом очаге был исчерпан и завершился этап формирования кальдеры Большого Семячика. Общий объем сохранившихся наземных фаций составляет порядка 40 км<sup>3</sup>. На самом деле этот объем был, очевидно, в 3-4 раза больше за счет неучета сноса тонких фракций эоловой сепарацией и смыва их водными потоками.

Новый посткальдерный этап вулканической активности в кальдере Большого Семячика снова начался излиянием внутри ее андезито-базальтовой магмы, пополнившей опустошенный магматический очаг после извержения игнимбригов. Она эволюционировала во времени, сформировав на поверхности конусообразные андезито-дацитовые вулканы, экструзивные купола и лавовые потоки риодацитового состава.

В Узон-Гейзерном районе эволюция корового очага шла по другому пути. Здесь кислый коровый очаг существовал еще с докальдерного времени и проявился незначительными объемами экструзивно-эффузивных вулканитов. Узон-Гейзерная вулкано-тектоническая депрессия состоит из двух кальдер, вытянутых вдоль субширотного разлома. Западная ее часть - кальдера Узон имеет наложенный характер и срезает восточную часть депрессии, что говорит о ее более молодом возрасте. Увеличение к западу диаметра кольцевых структур, существование сбросовых уступов, свидетельствует об увеличении глубины кровли корового очага под кальдерой Узон. В восточной части структуры сбросовых уступов не отмечается, а депрессия, по мнению одного из авторов, образовалась при расширении серии эксплозивных воронок. Тем не менее, дуговые разломы ограничения кальдерной структуры здесь существуют, по ним произошло внедрение так называемого бортового комплекса экструзий, а отсутствие сбросов подтверждает предположение о меньшей глубине кровли верхнекорового очага в восточной части депрессии. Пирокластические потоки, связанные с Узон-Гейзерной вулкано-тектонической структурой, образуют два поля - северное и южное. Они отличаются по химическому и минеральному составу, что наряду с пространственной приуроченностью позволило высказать предположение, что пирокластические потоки, связанные с восточной частью депрессии распространились на север, а с западной (кальдерой

Узон) - на юг. В отличие от пирокластических отложений кальдеры Большого Семячика в пирокластике, связанной с Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессией, четкой стратификации расплава не обнаружено. Состав основного объема пемзовидных фьямме, отражающих состав игнимбритообразующего расплава, варьирует в незначительных пределах от риодацитов до дацитов, свидетельствуя о слабой зональности магматического расплава в зоне дренирования очага. Учитывая, что объем узонских игнимбритов (около  $30\text{ км}^3$ ) сопоставим с суммарным объемом семячичских, мощность кислой зоны была довольно значительна. Пирокластика более основного андезито-дацитового и андезитового составов появляется на более поздних этапах развития структуры в виде агглютинатов, перекрывающих экструзии бортового комплекса. Отсутствие водосодержащих минералов в пирокластических отложениях Узон-Гейзерной депрессии, низкое содержание щелочей, отражают относительную сухость игнимбритообразующего расплава. Это, в свою очередь, может служить показателем того, что коровый очаг в недрах Узон-Гейзерной структуры на момент извержения "не созрел", в нем не была сформирована шапка высокофлюидизированного обводненного расплава, как это отмечалось в кальдере Большого Семячика. Вскрытие очага произошло, вероятно, в процессе его декомпрессии при внедрении значительных объемов высокотемпературных глубинных расплавов в основание магматической камеры или в результате сейсмoтектонических явлений.

В юго-восточном борту плато Широкого вскрывается вложенный разрез двух пирокластических потоков, связанных с кальдерой Узон, разделенных некоторым временным интервалом. И с первым, и со вторым потоками ассоциируют игнимбритоподобные породы состава основного андезита, андезито-базальта, аналогичные тем, которые ранее были встречены среди семячичских игнимбритов. Они образуют маломощные слои среди пемзовых агломератовых туфов и представлены в различной степени спекшимися шлаковыми туфами; вплоть до лавоподобных разностей. Для них характерны многие черты строения кислых пирокластических потоков: наличие фьяммеподобных обособлений расплава, пепловых его фрагментов, прерывистых флюидальных текстур, указывающих на течение пирокластического потока, присутствие тонкообломочного ксеногенного материала.

Игнимбритоподобные породы андезито-базальтового состава могут представлять собой глубинные части зонального магматического резервуара или самостоятельный промежуточный очаг, расположенный ниже. Стратифицированная коровая магматическая камера обычно представляет собой плотностной барьер для базальтов, поднимающихся с глубин. Обладая повышенной плотностью, эти магмы могут достигать поверхности только по периферии коровых магматических резервуаров, по кольцевым разломам, ограничивающим на поверхности зону распространения кислых расплавов на глубине. Поступая в основание верхнекоровых магматических очагов, они вызывают конвекцию в верхних ее этажах и, по мнению многих исследователей, могут провоцировать эксплозивные извержения.

Отличен и посткальдерный вулканизм Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии. После формирования кальдеры и заполнения ее озером, продолжались подводные извержения кислой пирокластике, а в дальнейшем на осушенную и выровненную поверхность озерных отложений изливался уже в значительной степени дегазированный кислый расплав, образовав внутрикальдерный экструзивно-эффузивный комплекс. Кислые лавы несут в себе признаки гибридизма в виде неравновесных кристаллических фаз и включений базальтового состава.

Таким образом, история геологического развития кольцевых кальдерных комплексов Большого Семячика и Узон-Гейзерного подтверждает высказанную ранее рядом авторов, как отечественных, так и зарубежных, идею конвективных корово-мантийных магматических систем, состоящих из цепочек магматических камер, расположенных на разных уровнях в земной коре. Роль активного теплоносителя играют базальтовые расплавы, периодически, внедряющиеся в верхние этажи земной коры и препятствующие консолидации расплава в верхнекоровых резервуарах. Это в свою очередь обеспечивает тепловое питание высокотем-

пературных гидротермальных систем, ассоциирующих с кальдерными комплексами, в течение длительного времени и активный массоперенос, способствующий формированию месторождений полезных ископаемых.

Ярким примером взаимодействия расплавов разных уровней генерации в земной коре является извержение в январе 1996г. в Карымском вулканическом центре. Последний начинается ряд вулкано-тектонических структур Восточного вулканического пояса Камчатки и представляет собой сложное образование плиоцен-четвертичного возраста, состоящее из множества вулканических построек дифференцированного состава и серии кольцевых структур, эксцентрически вложенных друг в друга. 2-3 января в кальдере Академии Наук, возраст которой оценивается порядка 30 тыс. лет, произошло эксплозивное фреато-магматическое извержение тефры базальтового состава. Извержение явилось реакцией на предшествующие сейсмические события. Базальты из глубинных зон промежуточного магматического очага, существующего в недрах структуры по крайней мере с начала плейстоцена, поступили в верхнюю более остывшую его часть и по образовавшейся трещине прорвались к поверхности земли. Тепловой импульс был привнесен в верхнекоровый магматический очаг под кальдерой Академии Наук и связанную с ней высокотемпературную гидротермальную систему. На заключительном этапе извержения были выброшены кислые пемзовые бомбы. Пластические деформации между базальтами и риодацитами являются свидетельством застывания магматической эмульсии, состоящей из различных по вязкости компонентов. Факт, что базальты смогли прорваться к поверхности через менее плотный кислый материал, свидетельствует о том, что расплав в верхнекоровом очаге на момент начала извержения находился в субсолидусном состоянии. Воздействие высокотемпературного базальтового расплава, даже кратковременное, в течение одних суток, вызвало частичную мобилизацию кислого расплава до состояния "кристаллической каши". Она осуществлялась, очевидно, в узкой зоне по пути следования базальтов: происходило как бы "опробование" отдельных зон корового очага в вертикальном разрезе.

Анализ эволюции верхнекоровых магматических камер в ряду кольцевых вулкано-тектонических структур Восточной Камчатки, особенно в связи с последним извержением в кальдере Академии Наук, позволяет высказать некоторые предположения в плане прогноза их дальнейшей активности. В более древних кальдерных комплексах таких как Карымский вулканический центр и кальдера Большого Семьячика, где кислый расплав в очаге был или практически полностью исчерпан в процессе кальдерообразования, или находится в субсолидусном состоянии, возможны маломощные извержения преимущественно гибридных расплавов. В сравнительно молодой Узон-Гейзерной вулкано-тектонической депрессии верхнекоровый очаг все еще является буфером для высокотемпературных глубинных базальтовых расплавов. Об этом свидетельствует тот факт, что все голоценовые извержения андезито-базальтов происходили у границы депрессии или за ее пределами. Эта структура в сравнении с предыдущими находится, очевидно, на незавершенной стадии развития. Поэтому можно предположить, что крупнообъемная инъекция базальтов в основание верхнекоровой магматической камеры может привести к реанимации кислого расплава в очаге и вызвать эксплозивное извержение. Это в равной степени можно отнести и к вулкану Крашенинникова, который завершает цепь вулкано-тектонических структур на севере и может рассматриваться, как молодой, формирующийся кальдерный комплекс.