

Гриб Е.Н., Леонов В.Л.

ИГНИМБРИТЫ КАЛЬДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ: КОРРЕЛЯЦИЯ РАЗРЕЗОВ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ.

В центральной части Восточного вулканического пояса Камчатки расположен ряд вулканотектонических структур: кальдерные комплексы Карымского вулканического центра, кальдеры Больше-Семячикская, Узон-Гейзерная и Крашенинникова. Они располагаются на расстоянии 20-25 км друг от друга и образуют цепочку, вытянутую с юго-запада на северо-восток. Возраст кальдер позднечетвертичный. Пирокластические отложения, связанные с этими кальдерами, последовательно перекрывают друг друга, что свидетельствует о миграции кальдер в позднем плейстоцене в северо-восточном направлении.

При изучении минеральных ассоциаций игнимбритов нами была предпринята попытка найти сравнительно объективные минералогические критерии для корреляции отдельных разрезов. На основании анализа большого объема фактического материала было установлено, что игнимбриты разных кальдер и этапов кальдерообразования отличаются составом вкрапленников и остаточных стёкол. Но особо значимым корреляционным признаком оказалась зависимость между железистостью пироксенов и концентрацией в них марганца. На диаграмме в координатах $Fm - MnO$ обособляются поля фигуративных точек пироксенов, характерные для отдельных кальдер, кальдерообразующих этапов и пирокластических потоков. Выявленная закономерность более выражена в ортопироксенах; в клинопироксенах ввиду низких концентраций марганца эта зависимость проявлена слабо.

Пироксены игнимбритов, связанных с Больше-семячикской кальдерой, отличаются наиболее широким диапазоном железистости (28-47%). Формирование этой кальдеры происходило в три этапа [Гриб, Леонов, 1992]. При этом в процессе каждого этапа состав пород изменялся от кислых к более основным. Первый кальдерообразующий этап начался извержением высококремнистых пемзовых туфов с кварцем и биотитом, сменившихся кварцсодержащими риодацитовыми игнимбритами, и завершился игнимбритами андезито-дацитового состава. Второй кальдерообразующий этап включает в себя по крайней мере три пирокластических потока риодацитового состава; в конце его произошло извержение игнимбритоподобных пород андезито-базальтового состава. Состав игнимбритов третьего этапа изменялся от дацитов до андезитов. В андезитовых разностях появляются развальцованные включения

шлаков андезито-базальтового состава. Концентрация марганца в ортопироксенах достигает максимальных величин в риодацитах, дацитах в начале каждого этапа и снижается в андезитах, андезито-базальтах. Железистость пироксенов в семячичских игнимбритах возрастает по мере формирования структуры.

Степень железистости вкрапленников ортопироксена в узонских игнимбритах существенно ниже и варьирует в более узком диапазоне (28-41%). Игнимбриты, связанные с Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессией, образуют два поля - северное и южное [Гриб, Леонов, 1993]. Они имеют в основном дацитовый состав, хотя в основании некоторых разрезов отмечены реоигнимбриты риодацитового состава. Вблизи северного и восточного бортов депрессии с игнимбритами ассоциируют агглютинаты андезитового состава, слагающие верхи разрезов. Игнимбриты северного и южного полей незначительно отличаются составами плагиоклаза, но более значимые различия наблюдаются в составах пироксенов и остаточных стёкол. В игнимбритах северного поля пироксены отличаются более высокой железистостью и пониженной концентрацией марганца, а остаточные стёкла - пониженным содержанием кремнезёма, повышенным железа, титана и магния. Эти различия, наряду с пространственной приуроченностью, позволили высказать предположение, что пирокластические потоки, связанные с восточной частью депрессии, распространились на север, а с западной (кальдерой Узон) — на юг. Особенности минерального состава узонских игнимбритов помогли определиться с комплексом пирокластических отложений, вскрытом эрозией в юго-восточных разрезах плато Широкого, который ранее рассматривался, как более древний, составляющий фундамент Узон-Гейзерной депрессии [Леонов, Гриб, 1998]. В составе этого комплекса, представленного мощной толщей пемзовых агломератовых туфов, вложенных в палеодолину, выделяется три пласта игнимбригов и маломощные слои в различной степени спекшихся шлаков андезитового, андезито-базальтового состава. Проведённый нами анализ этих игнимбритов выявил сходство двух нижних пластов по их валовому и минеральному составам с игнимбритами, развитыми к югу от кальдеры Узон. При этом различие в содержании MnO в ортопироксенах этих пластов позволило расчленить единое поле к югу от кальдеры Узон на два потока. Один из них (первый), с высокой концентрацией марганца в ортопироксене, затёк в сформированную ранее кальдеру Большого Семячика и в верховья р.Новый Семячик; игнимбриты, связанные со средним пластом, распространились на запад, юго-запад в речные долины между хребтом Борт и вулканом Тауншиц.

Наконец, степень железистости в ортопироксенах сдвоенной кальдеры Стены-Соболиной в Карымском вулканическом центре наиболее низкая (28-31%). С этой кальдерой связаны три пирокластических потока, которые перекрывают друг друга. Дацитовые игнимбриты двух нижних пластов не отличаются существенно ни химическим, ни минеральным составами. Несмотря на относительно узкий диапазон составов вкрапленников и стёкол, в основании разрезов преобладают более натриевые плагиоклазы, пироксены повышенной железистости и высококремнистые (риодацитовые) остаточные стёкла. При этом ортопироксены, незначительно отличаясь по железистости, существенно различаются концентрацией марганца. В третьем наиболее молодом пирокластическом потоке, в основании которого выделяется слой риодацитового состава, различия в составе фенокристаллов и остаточных стёкол ещё более значительны.

Данные по составам пироксенов игнимбритов трёх структур позволили разделить эти отложения в месте их сочленения по реке Новый Семячик [Леонов, Гриб, 1999]. Грубым маркирующим горизонтом служил слой кварц-биотитовых пемзовых агломератовых туфов, извержением которых начинался этап кальдерообразования в Большесемячичской структуре. Игнимбриты, подстилающие пемзовые туфы, определённо относились к карымским и пироксены их отличались низкой степенью железистости. Верхи разрезов игнимбритов, перекрывающие кварц-биотитовые туфы, могли быть как более поздними семячичскими, так и узонскими. На диаграмме в координатах $Fm-MnO$ гиперстены из этих разрезов ложатся в по-

ле нижнего потока узонских игнимбритов южного поля. Игнимбриты, связанные с кальдерой Большого Семячика, встречены были лишь в нижнем течении реки Новый Семячик. Они также имели дацитовый состав, но на диаграмме попали в поле игнимбритов третьего этапа (Ша), гиперстены которых отличаются высокой (45-46%) железистостью. Из этого следует, что семячикские игнимбриты в этом районе были полностью перекрыты более молодыми узонскими.

Анализ диаграммы показывает также, что поля ортопироксенов игнимбритов разных кальдер накладываются друг на друга в области более примитивных андезитовых и андезито-базальтовых разностей пирокластических отложений. Можно полагать, что степень железистости пироксенов более основных пород прежде всего определяется составом расплава (возможно близким для этих структур) и P-T условиями. В дацитовых и риодацитовых игнимбритах диапазон железистости пироксенов очень широк и зависит, наряду с другими факторами, от степени обводнённости магм [Гриб, 1997]. Высокую степень железистости ортопироксенов игнимбритов кальдеры Большого Семячика можно объяснить тем, что в начале кальдерообразования в процессе извержения высокофлюидизированных пемзовых туфов, расплавов в очаге был в значительной степени осушен, чему способствовали и более поздние инъекции андезито-базальтовой магмы в основание корового очага. В то же время в предэруптивных камерах кальдер Стены-Соболиная и Узон-Гейзерная происходило накопление флюидов в верхних частях магматических камер, хотя уровень насыщения ими расплава, судя по минеральным ассоциациям, не был достигнут. Возможно этим объясняется низкая железистость пироксенов в игнимбритах этих структур. Фугитивность кислорода в игнимбритах этих двух кальдер, определённая по магнетит-ильменитовому геотермометру, на порядок выше, чем в пироксеносодержащих игнимбритах кальдеры Большого Семячика.

Другим минералогическим критерием расчленения разрезов игнимбритов, относящихся к разным кальдерам, является соотношение Al_2O_3 -MnO-MgO в однородных вкрапленниках титаномагнетита, не подвергшихся распаду. На диаграмме они, как и пироксены, образуют совокупности точек, характерные для вкрапленников отдельно взятой кальдеры. Из анализа диаграммы видно, что чем выше степень дифференциации расплава в камере перед её вскрытием, как в случае игнимбритов кальдеры Большого Семячика, тем более широкий интервал соотношений элементов в титаномагнетитах. Вкрапленники из кислых разностей занимают верхний угол поля, отличаются низкой магнезиальностью и наиболее высокими концентрациями марганца. В пирокластике кальдер Стены-Соболиной и Узон-Гейзерной, составы которых отличаются незначительно, фигуративные точки магнетитов образуют узкие зоны, вытянутые вдоль магнезиально-глинозёмистой стороны диаграммы. Обращает внимание повышенная глинозёмистость магнетитов карымских игнимбритов и низкие концентрации в них марганца. Исключение составляют магнетиты из риодацитовых разностей третьего потока, которые отличаются повышенной марганцевистостью. Титано-магнетиты из спекшихся шлаков в разрезах узонских и семячикских игнимбритов характеризуются умеренным содержанием глинозёма и магния и самыми низкими концентрациями марганца.

Предполагается, что такое распределение фигуративных точек магнетитов из игнимбритов кальдерных комплексов обусловлено составом расплава и различной окислительно-восстановительной обстановкой в магматических резервуарах.

Таким образом, соотношение степени железистости и марганцевистости в пироксенах и соотношение Al_2O_3 -MnO-MgO в титано-магнетитах из крупнообъёмных пирокластических потоков, связанных с формированием кальдер, можно рассматривать как минералогический корреляционный критерий и использовать для расчленения сложных пирокластических толщ в районах развития древних кольцевых структур.

Практически все кальдерные извержения произошли из зональных магматических камер. На существование зональности указывает изменение валового состава игнимбритов от высококремнистых разностей в основании до андезитов в верхней части разреза, изменение

по разрезу составов фенокристаллов, их ассоциаций и остаточных стёкол. Считается, что изменение состава пирокластических потоков снизу вверх представляет собой инверсию зональной магматической камеры на период, предшествующий катастрофическому извержению.

Концентрация марганца в магнезиально-железистых и железисто-титанистых минералах в игнимбритах является чувствительным индикатором кислотности магматических расплавов. Изменение концентрации этого компонента во вкрапленниках по разрезу пирокластических отложений отражает процессы расслоённости расплава в очаге перед крупнообъёмным извержением. Она достигает максимальных значений (2,2%) в наиболее дифференцированных расплавах в апикальной части очага.

Формирование зональности коровых магматических резервуаров представляет собой сложный процесс, главным из которых является гравитационная и жидкостная дифференциация известково-щелочных базальтовых магм, расположенных на средних уровнях в земной коре. Она дополняется и осложняется процессами плавления вмещающих пород и смешиванием расплавов за счёт подтока свежих порций глубинных высокотемпературных магм. При этом необходимо, чтобы верхнекоровые магматические системы находились в устойчивом состоянии длительное время, которое не нарушалось бы взаимодействием с более примитивными глубинными магмами или тектоническими процессами. Изменение минерального состава с глубиной параллельно с изменением состава расплава свидетельствует о приближении магматической системы к равновесию. Наиболее выражена зональность в пирокластических потоках кальдеры Большого Семячика. Формирование шапки высокофлюидизированных риолитов в апикали очага свидетельствует о длительных и спокойных в тектоническом отношении условиях его выстаивания до начала кальдерообразующего извержения. За время первого этапа кальдерообразования были дренированы зоны риолитового, риодацитового и андезитодацитового состава. Перерывы между кальдерообразующими этапами были достаточно длительными для восстановления нарушенной зональности. Повышение основности каждого последующего пирокластического потока с возрастанием степени неоднородности, выраженной в виде кристаллических фрагментов, а в последующем, и развальцованных включений базальтовой магмы, свидетельствует о том, что кислая магма в объёме очага, участвующего в извержении, была исчерпана и завершился этап формирования кальдеры. Новый посткальдерный этап вулканической деятельности снова начался излиянием внутри кальдеры андезито-базальтовой магмы.

В отличие от пирокластических отложений кальдеры Большого Семячика в пирокластике, связанной с кальдерами северного сектора Карымского вулканического центра и Узон-Гейзерной депрессии, значительной стратификации расплава не обнаружено, что может быть следствием прерванного процесса дифференциации вследствие сеймотектонических явлений или инъекции базальтов в основание корового очага. Игнимбриты первого и второго пирокластических потоков кальдеры Стены-Соболиной не отличаются между собой ни химическим, ни минеральным составами, что может указывать на последовательное их извержение из разных каналов одного очага. Несмотря на незначительные отличия в среднем валовом составе по разрезу потоков, на уровне составов минералов и остаточных стёкол обнаруживается тенденция к расслоению расплава в очаге на предэруптивной стадии. В третьем, более молодом потоке, степень дифференциации расплава выше, в основании его выделяется слой риодацитового состава. На микроуровне это расслоение подчёркивается более значительными различиями в составе фенокристаллов и остаточных стёкол в пробах из основания и верхней части разреза. Можно предположить, что более продвинутая дифференциация расплава стала возможной или в отдалённом объёме одного очага, на который не сказалось возмущающее воздействие при извержении двух предыдущих пирокластических потоков, или же оно произошло из смежной камеры, которая до этого не включилась в процесс

кальдерообразования (кальдера Соболина?). Посткальдерный вулканизм, как и в случае кальдеры Большого Семячика, начался излиянием базальтовой магмы.

О существовании зональности в коровом очаге Узон-Гейзерной кальдеры свидетельствует маломощный слой риодацитов в основании пирокластических потоков. Ниже преобладающего дацитового слоя возможно расположена зона андезитового расплава. На это указывают слои агглютинатов и спекшихся шлаков, встречающиеся в разрезах игнимбритов. После формирования Узон-Гейзерной депрессии внутри неё продолжались эксплозии и излияния кислой магмы.

Анализ эволюции верхнекоровых магматических камер в ряду кольцевых структур Восточной Камчатки, позволяет высказать некоторые предположения в плане их дальнейшей активности. В более древних кальдерных комплексах, таких как Карымский вулканический центр и кальдера Большого Семячика, где кислый расплав в очаге был или практически полностью исчерпан в процессе кальдерообразования, или находится в субсолидусном состоянии (извержение в кальдере Академии Наук в 1996 г.), возможны маломощные извержения преимущественно гибридных расплавов. В сравнительно молодой Узон-Гейзерной депрессии верхнекоровый очаг всё ещё является буфером для высокотемпературных глубинных базальтовых расплавов - все голоценовые извержения андезито-базальтов происходили у границ депрессии или за её пределами. Эта структура находится, очевидно, на незавершённой стадии развития. Можно предположить, что крупнообъёмная инъекция базальтов в основание магматической камеры может вызвать эксплозивное извержение. Это в равной степени можно отнести и к кальдере Крашенинникова, которая завершает цепь вулканотектонических структур на севере и может рассматриваться, как молодой формирующийся кальдерный комплекс.

Литература

Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриды кальдеры Большой Семячик (Камчатка): состав, строение, условия образования. - Вулканология и сейсмология. 1992. N5-6. с.34-50.

Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Игнимбриды Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии, Камчатка: сопоставление разрезов, состав, условия образования. - Вулканология и сейсмология. 1993. N 5. с. 15-33.

Гриб Е.Н. Пироксены эффузивно-эксплозивного комплекса Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии (Восточная Камчатка). - Вулканология и сейсмология. 1997. N 4. с. 19-35.

Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Кальдеры и игнимбриды Узон-Семячикского района, Камчатка: новые данные по результатам изучения разрезов плато Широкое. - Вулканология и сейсмология. 1998. N 3. с. 41-60.

Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Расчленение игнимбритов и реконструкция масштабов игнимбритообразующих извержений - Вулканология и сейсмология. 1999 (в печати).