

лантаноидов. Конденсаты высоко-температурных вулканических газов, выделявшихся из этого котла, были отобраны по ставшей уже «стандартной» методике и проанализированы так-же методами ИСР. Полученные данные сопоставимы с таковыми для талых вод и отличаются в некоторых случаях более высокими концентрациями отдельных элементов. Среди минералов - продуктов реакций высокотемпературный газ - субщелочный глиноземистый базальт диагностированы само-родный селен, тенорит, толбачит, меланоталлит, многочисленные фазы со-держащие медь, селен, кальций, фтор, хлор, кислород и серу. В первых порциях лав – гринокит, самородная медь, интерметаллические соединения меди, железа, никеля.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЛУБИН МАГМАТИЧЕСКИХ ПАЛЕООЧАГОВ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА ПЕТРОМАГНИТНЫМ МЕТОДОМ (ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫЙ ГЕОБАРОМЕТР)

**Зубов А.Г.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

В свежих лавах и пирокластике магнитные минералы обычно находятся в состоянии твёрдых растворов в основном титаномагнетитов (ТМ) и некоторой доли гемоильменитов. Быстрое остывание вулканических продуктов консервирует их минералогический состав, который отражает его равновесное состояние в последнем магматическом очаге. То есть состав титаномагнетитов и гемоильменитов есть следствие условий в этом очаге: какое давление, температура, окислительная среда. Учесть все параметры трудно. Предполагается, что в среднем каждой глубине соответствует свой набор этих параметров, не очень сильно варьирующий. Лабораторные исследования титаномагнетитов позволили найти связь их состава с этими параметрами. Таким образом была получена кривая, связывающая состав ТМ с глубиной очага.

Одна из важнейших магнитных характеристик минералов является температура Кюри ( $T_c$ ). При этой температуре пропадают ферромагнитные свойства и материал становится парамагнетиком. В титаномагнетитовом ряду при увеличении концентрации титана минерал изменяется от чистого магнетита  $Fe_3O_4$ , имеющего  $T_c = 580^\circ C$ , до ульвошпинели  $Fe_2TiO_4$  с  $T_c = -155^\circ C$ . Зависимость  $T_c$  от состава ТМ известна, и она однозначна. По составу ТМ можно определить  $T_c$  и наоборот.  $T_c$  можно узнать анализируя температурные кривые таких параметров как магнитная восприимчивость, намагниченность насыщения и индуктивная намагниченность, а также некоторые виды остаточных намагниченностей. Всё это требует наличия соответствующих приборов и установок. Одна из трудностей, встречающаяся при измерениях — температурная нестабильность изучаемых минералов.

Другой способ определения состава ТМ — микрозондовый. При этом изучаются отдельные зёрна ТМ, анализируется их сохранность и определяется элементный состав. Для повышения надёжности результатов сочетаются оба метода — магнитометрический и микрозондовый.

При остывании и в постмагматических процессах могли всё же происходить минералогические изменения. Мог распасться твёрдый раствор ТМ, который неустойчив при обычных условиях, или произойти его окисление. Такие минералы несут уже искажённую информацию об очаге. При простом распаде есть надежда специальными процедурами восстановить исходный состав. Окисление же необратимо, и образцы приходится браковать. Важнейшая задача при таких исследованиях — найти образцы с наиболее сохранившимся составом и доказать минералогическую стабильность ТМ в них. Если при использовании разных методов получается одинаковый результат, именно такие результаты в первую очередь используются для определения глубин магматических очагов.

Для опробования метода был произведён терромагнитный анализ тефры разных разрезов Авачинского вулкана. Анализ проводился на чешском каппамосте с печью, принадлежащем

ВНИГРИ. По форме кривых резко разделились андезитовые и андезибазальтовые образцы. Первые оказались довольно устойчивыми к нагреву и все дали  $T_c \approx 400^\circ\text{C}$ . Некоторые уверенно показали наличие гемоильменитовой компоненты. У вторых кривые нагрева и охлаждения заметно отличаются, что говорит о минералогической неустойчивости к нагревам. Гемоильменитовая компонента здесь не выявляется, а  $T_c \approx 320^\circ\text{C}$ . Приятно было отметить, что сходство некоторых кривых подтвердило принадлежность образцов из разных разрезов к одному горизонту. Других анализов ТМ не проводилось. Однако хорошее группирование результатов создаёт впечатление надёжности. Согласно полученным данным глубина очага для андезитов ( $21 \pm 4$ ) км (5,2-5,3 т.л. по радиоуглероду), для андезибазальтов ( $30 \pm 5$ ) км (2,4-3,0 т.л. по радиоуглероду).

## КРАТКИЕ ИТОГИ РАБОТ ИНСТИТУТА ВУЛКАНОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ ДВО РАН ПО ПРОГНОЗУ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ИЗВЕРЖЕНИЙ НА КАМЧАТКЕ (1955 – 2011ГГ.)

**Иванов В.В.**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН; e-mail: [victor@kscnet.ru](mailto:victor@kscnet.ru)*

На Камчатке в XX столетии произошло четыре пароксизмальных извержения с объемами изверженных продуктов от 1.5 до 3 куб. км: Ксудаца в 1907 г., Безымянного в 1956 г., Шивелуча в 1964 г., БТТИ в 1975-1976 гг. и несколько десятков более слабых извержений. Регулярные вулканологические наблюдения начались в 1935 г. Сейсмологические наблюдения начались в 1946 г. (по инициативе Б.И. Пийпа), детальные - с 1961 г., РТС - с 1976 г., цифрового накопления и оперативной обработки данных - с 1996г. (КФ ГС РАН). В 1960-1992 гг. П.И. Токаревым создана научная школа по прогнозу вулканических извержений. Были разработаны методы краткосрочного прогноза побочных извержений базальтовых вулканов и умеренных извержений вулкана Безымянного (П.И. Токарев), комплексного прогноза побочных извержений вулкана Ключевского, долгосрочного и среднесрочного прогноза времени и масштаба извержений на основании учета влияния космических факторов, неравномерности вращения Земли (В.А. Широков). С 1985 г. обсуждение и систематизация прогнозных заключений проводится экспертными советами по прогнозу землетрясений и извержений вулканов ИВ (ИВиС ДВО РАН) и КФ ГС РАН, а также группой KVERT.

С 1955 по 2011 гг. Камчатской вулканостанцией, ИВ, ИВГиГ и ИВиС ДВО РАН было выдано 26 успешных прогнозных заключений, которые в той или иной степени оправдались. Из них прогнозов сделано 13, остальные заключения не содержали точных указаний прогнозируемых временных интервалов и их следует отнести к предвидениям (в данной работе не рассматриваются прогнозы КФ ГС РАН). Выдающийся результат - успешный краткосрочный прогноз П.И. Токаревым времени начала и места БТТИ в 1975-1976 гг., опубликованный в областной газете за 4 дня до начала извержения. Еще ряд успехов: а) среднесрочные (с заблаговременностью от 1 мес. до 1 года) прогнозы извержений вулканов: Ключевского в 1974 г. (В.А. Широков; И. В. Кирсанов, Г.П. Пономарев, Г.С. Штейнберг), Карымского в 1996 г. (А.В. Сторчеус), Шивелуча, Эбеко, Мутновского и Горелого газогидрохимическим методом (И.А. Меняйлов, Л.П. Никитина, Г.М. Гавриленко); б) краткосрочные прогнозы: появления III конуса БТТИ в 1975 г. (В. В. Степанов, В.Т. Гарбузова), кризиса в Карымском вулканическом центре 1.1.1996 (академик С.А. Федотов), извержений Шивелуча в 1993 г. (группа авторов, рук. В.А. Широков) и в 2001 г. (В.В. Иванов), Безымянного вулкана в 2001-2012 гг. (О.А. Гирина).

Однако это только отдельные успехи. Из четырех сильных эксплозивных извержений одного из самых опасных андезитовых вулканов Камчатки Шивелуча в 1993, 2001, 2005 и 2010 гг. было предсказано только два, остальные не предварялись заметной сейсмичностью и оказались неожиданными. Из нескольких вершинных извержений андезитового Карымского вулкана было предсказано всего одно извержение, начавшееся 2.1.1996, однако,