

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ
И ГЕОХИМИИ**

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FAR EAST BRANCH
INSTITUTE OF VOLCANIC GEOLOGY
AND GEOCHEMISTRY**

**To the 10th anniversary of the Institute
of Volcanic Geology and Geochemistry
is devoted**

**GEODYNAMICS AND VOLCANISM
OF THE KURILE-KAMCHATKA
ISLAND-ARC SYSTEM**

**10-й годовщине Института вулканической
геологии и геохимии посвящается**

**ГЕОДИНАМИКА И ВУЛКАНИЗМ
КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ
ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ**

**ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ
2001**

УДК 551.21+552+550.34

Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 2001 г. , 428 с.

ISBN 5-901485-01-7

В сборнике представлены работы, отражающие современное состояние и пути решения следующих проблем: геодинамика современного вулканизма, современные движения в зонах активного вулканизма, структурная вулканология, тектоника и сейсмичность; активный вулканизм и вулканоопасность, цунамиопасность, мониторинг, генезис и механизм катастрофических извержений, методы прогнозирования; вопросы магмообразования, петрология и геохимия активного вулканического процесса.

Публикуемые материалы, несомненно, будут полезны для широкого круга исследователей – геологов, вулканологов, геофизиков, петрологов и геохимиков.

Редакционная коллегия:

Ответственный редактор доктор геолого-минералогических наук академик РАН Б.В.Иванов

Научно-технический редактор А.А.Разина

Члены коллегии д.-ф.-м.н. А.А.Гусев, к.г.-м.н. Ю.О.Егоров, к.г.-м.н. В.Ю.Кириянов,
д.г.-м.н. А.В.Колосков

Geodynamics and volcanism of the Kurile-Kamchatka Island-Arc system. IVG&G FEB RAS. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2001.

This collection includes papers reflecting present day state and methods of solving the following problems: geodynamics of modern volcanism, recent movements in the zones of active volcanism, structural volcanology, tectonics and seismicity; active volcanism and volcanic hazard, tsunami hazard, monitoring, genesis and mechanism of the disastrous eruptions, methods of prediction; magma generation questions, petrology and geochemistry of active volcanic process.

The materials presented in this volume will undoubtedly be useful for a wide sphere of researchers such as geologists, volcanologists, geophysicists, petrologists and geochemists.

Editorial Board

Editor-in-Chief: B.V.Ivanov, Doctor of Geology and Minerology, Academician of RANS

Editor on Science: Aelita A.Razina

Dr.A.A.Gusev, Dr.Yu.O.Egorov, Dr.V.Yu.Kirianov, Dr.A.V.Koloskov

ISBN 5-901485-01-7

© ИВГиГ ДВО РАН, 2001 г.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПЕПЛОВ.

Зубов А.Г., Кирьянов В.Ю.

Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН.

Вулканический пепел - удобный инструмент изучения истории вулканических извержений, поскольку может быть обнаружен на большом расстоянии от источника, сохраняется в захороненном состоянии длительное время, имеет генетически обусловленный минералогический состав. Существенным недостатком подавляющего большинства известных методик исследований пород является их структурная чувствительность. А это препятствует идентификации отложений пеплов единого источника происхождения, но с разной структурой. Чувствительностью к магнито-минеральному составу и отсутствием структурной чувствительности обладает такие термомагнитные параметры как температура Кюри (T_c), намагниченность насыщения и поле насыщения. Наиболее чувствительным для нахождения T_c является анализ температурной зависимости магнитной восприимчивости или индуктивной намагниченности. Наличие пиков вблизи T_c для мономинеральных фракций (эффект Гопкинсона) позволяет при работе со смесями магнитных минералов более уверенно определять на кривой индивидуальные для минералов T_c .

Введение

В процессе исследований геологических объектов постоянно расширяется набор применяемых методов. К простым, поверхностным, легкодоступным, в первую очередь визуальным методикам с использованием цвета, текстуры, структуры, стратификации добавляют распространённые инструментальные методы, такие как гранулометрия, оптическая минералогия, изучение морфологии пепловых частиц, химический, микронзондовый, нейтронно-активационный анализы, различные способы определения возраста. Нередко их всё же оказывается недостаточно для решения поставленных задач, и новые трудности заставляют продолжать искать другие методики. Методы магнитоминералогии обладают своими достоинствами, позволяющими добавить новые возможности в исследованиях горных пород. Магнитные минералы являются практически непременным атрибутом горных пород, в том числе и вулканических пеплов, и обладают множеством аппаратурно измеряемых характеристик, которые можно привлечь для анализа изучаемых пород.

Вулканический пепел - удобный инструмент изучения вулканических извержений, поскольку может быть обнаружен на большом расстоянии от источника, сохраняется в захороненном состоянии длительное время, имеет генетически обусловленный состав и структуру, используемые при геологических корреляциях. В работе [6] для идентификации вулканических пеплов использовались их магнито-гистерезисные свойства. Однако, этот метод, как и многие другие, обладает существенным для геологических корреляций недостатком. Главная трудность заключается в зависимости этих свойств от размеров и формы изучаемых минералов. Иными словами, магнито-гистерезисные параметры являются структурно-чувствительными. Проблема в том, что в процессе воздушной транспортировки тефры подвергается гравитационной и эоловой дифференциации, в результате которой крупность и процентное соотношение минералов, выпавших на земную поверхность, изменяются по мере удаления от центра извержения. То есть структурная чувствительность методов препятствует правильной идентификации объекта при наличии дифференциации.

К структурно-нечувствительным параметрам, то есть независимым ни от размеров, ни от формы, ни от распределения минералов в породе, в магнетизме горных пород [3] относят поле насыщения, намагниченность насыщения и точку Кюри (T_c) магнитного минерала. Известно, что основным носителем магнитных свойств изверженных пород являются титаномагнетиты. Поскольку T_c для природных титаномагнетитов варьирует в диапазоне 100-578 °С, в зависимости от состава титана, это приводит к идее о возможности применения этого параметра для идентификации тефры. Можно привести пример удачного использования T_c для решения такой

задачи [5]. Авторами по пемзе и шлакам выделен целый спектр T_C (240, 400, 425, 460, 555 °С), встречающихся в различных комбинациях в разных слоях отложений. Для определения T_C здесь использовался классический подход - анализ кривой температурной зависимости намагниченности насыщения.

Более чувствительным для нахождения T_C является анализ температурной зависимости магнитной восприимчивости $\kappa(T)$. Наличие пиков вблизи T_C для мономинеральных фракций (эффект Гопкинсона) позволяет при работе со смесями магнитных минералов более уверенно определять на кривой индивидуальные T_C . Попытка применения такого метода анализа была осуществлена также в уже упомянутой работе [6] по пеплу вулкана Фуэго (Гватемала). Кривые исходного образца, а так же его легкой и тяжелой фракций оказались идентичными не только по точкам Кюри $T_C = 300$ °С, но и вообще по форме. Это хороший пример структурной нечувствительности по отношению к размерам частиц пепла.

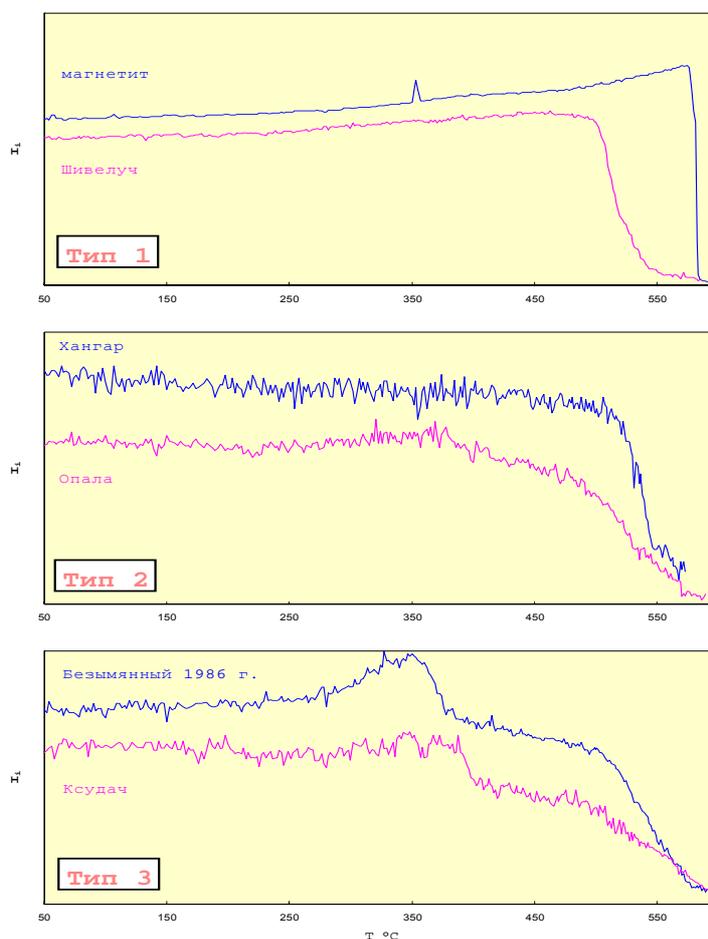
Описание методики

По техническим причинам вместо магнитной восприимчивости исследовалась индуктивная намагниченность (I_1). В малых полях между ними существует простая связь: $I_1 = \kappa H$, где H - устанавливаемое в эксперименте или естественное постоянное магнитное поле, действующее на измеряемый образец. В таком случае, кривые $\kappa(T)$ и $I_1(T)$ по форме совершенно идентичны. Регулировки поля H позволяют подбирать пригодную для измерений величину выходного сигнала. Для измерений магнетита достаточным оказалось поле $H = 5$ Э. Но для измерений образцов поле пришлось поднимать до 30 – 40 Э. При этом пришлось смириться с тем, что по мере увеличения H эффект Гопкинсона ослабевает. Измерения $I_1(T)$ производились на индукционном магнитометре (см. фото в конце статьи) с графической записью в процессе медленного нагрева.

В результате проведения экспериментов мы ожидали получить ответы на следующие вопросы:

1. Насколько соблюдается структурная нечувствительность метода, то есть, какова стабильность результата при разном из-за дифференциации гранулометрическом составе одного и того же пепла? Иначе, насколько одинаковы результаты для пепла, отобранного на разном удалении от источника?
2. Есть ли отличия в магнитных свойствах пеплов разных вулканов?
3. Различаются ли магнитные свойства пеплов разных извержений одного вулкана?

Опробование метода и калибровка были проведены на монокристалле магнетита. В результате получилась классическая кривая $I_1(T)$ с постепенным ростом, ярким эффектом Гопкинсона и резким спадом в точке Кюри (рис. 1, кривая “магнетит”). Образцами для



I_1 – относительная величина индуктивной намагниченности.

наших исследований послужили небольшие навески (~0.3 г) отдельных фракций пеплов разновозрастных извержений пяти вулканов Камчатки: Безымянный, Ксудач, Опала, Хангар и Шивелуч (рис. 2). Для каждого образца были получены кривые основного и повторного нагревов для выявления устойчивости присутствующего магнитного материала к нагревам.

Вулканические пеплы обычно дают кривые $I_i(T)$ с довольно широкими максимумами. Это объясняется естественным разбросом характеристик присутствующих магнитных минералов и уменьшением эффекта Гопкинсона при повышении поля H , требующегося для получения приемлемого выходного сигнала аппаратуры. Но широкие максимумы не позволяют однозначно выявлять T_c . Поэтому нами были использованы другие температурные параметры T_1, T_2, T_3 и т.д., названные здесь “характеристическими температурами” и раскрывающие связанные с T_c особенности кривых. На кривой $I_i(T)$ нетрудно увидеть ряд почти линейных участков, через которые нетрудно провести аппроксимирующие прямые (см. рис. 3). Точка пересечения прямой линии, аппроксимирующей участок крутого высокотемпературного спада, с осью температур использовалась нами как первая характеристическая точка - T_1 . Вторая характеристическая точка, T_2 , получается как абсцисса точки пересечения той же прямой с линейной аппроксимацией ближайшего плавного участка нашей кривой. T_2 близка к T_c , но гораздо более определённа. T_1 в совокупности с T_2 характеризует такое свойство кривой как крутизна спада на участке перехода минералов из ферримагнитной фазы в парамагнитную. Узкий диапазон смены фаз T_2-T_1 присущ для мономинеральных магнитных составляющих как на рисунке 1 кривая “магнетит”.

Наличие на кривой других пиков характерного Гопкинсонского типа говорит о присутствии в образце нескольких хититаномагнетитовых фаз, либо других магнитных минералов. При анализе они отмечаются парами характеристических температур T_3-T_4, T_5-T_6 и т.д. (рис. 3). Повторение пиков при вторичном нагреве подтверждает их достоверность.

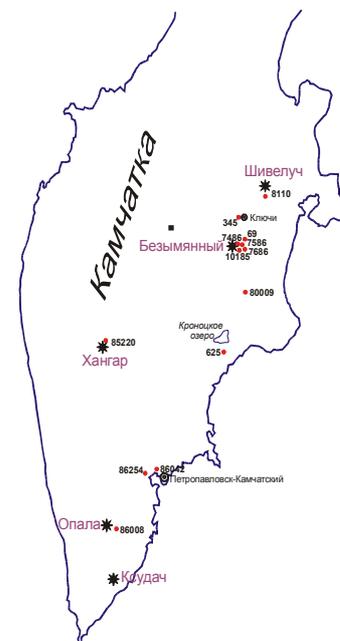


Рис. 2. Местоположения точек отбора образцов. Привязка образцов к номерам точек в тексте и на рисунке 4.

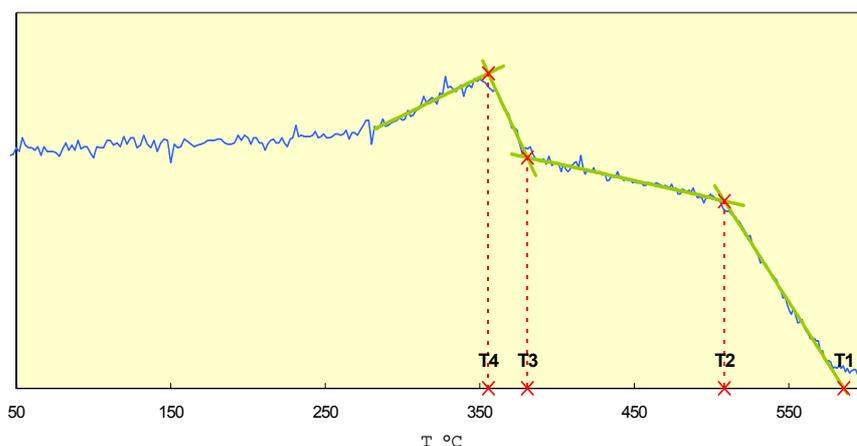


Рис. 3. Определение величин характеристических температур. I_i – относительная величина индуктивной намагничённости. T_1, T_2, T_3, T_4 – характеристические температуры.

Результаты исследований.

Формы кривых для исследованных образцов тефры можно разбить на 3 категории (рис. 1):

- Тип 1.** С постоянным плавным подъёмом и резким спадом после пика. Классическая форма кривой для минералов титано-магнетитового ряда.
- Тип 2.** С постоянным плавным спадом или с чередованием плавных спадов и подъёмов.
- Тип 3.** С заметно выраженными дополнительными пиками на плавной части.

Плавные спады и частично подъёмы обусловлены минералогическими изменениями в процессе нагрева в воздушной среде за счёт окисления или распада твёрдых растворов титаномагнетитов, а также иных возможно присутствующих магнитных минералов. Это подтверждается на кривых вторичных нагревов. Начальная амплитуда сигнала вторичного нагрева бывает меньше или больше первоначальной в зависимости от соотношения магнитных свойств разрушившихся и вновь образовавшихся магнитных минералов. Чем больше разница амплитуд, тем больше кривые первичного и вторичного нагревов отличаются и по форме. Обычно

по записям третий нагрев демонстрирует сходство со вторым, что говорит о наступающей стабилизации минералогического состава по отношению к температурным воздействиям.

Сводная диаграмма характеристических температур всех исследованных образцов представлена на рисунке 4. Видно, что пеплы разных вулканов имеют разную стабильность магнито-минеральной составляющей к нагревам. Наиболее стабильны пеплы вулкан Шивелуч. Наиболее неустойчивы пеплы вулкана Ксудач. Довольно близкие результаты получились по разным фракциям одного и того же пепла вулкана Шивелуч. В то же время пепел вулкана Хангар, собранный на разных удалениях от источника, демонстрирует заметные различия в результатах анализа. Очень привлекательно для целей идентификации наличие дополнительных характеристических температур у пеплов вулканов Безымянный, Ксудач и Хангар.

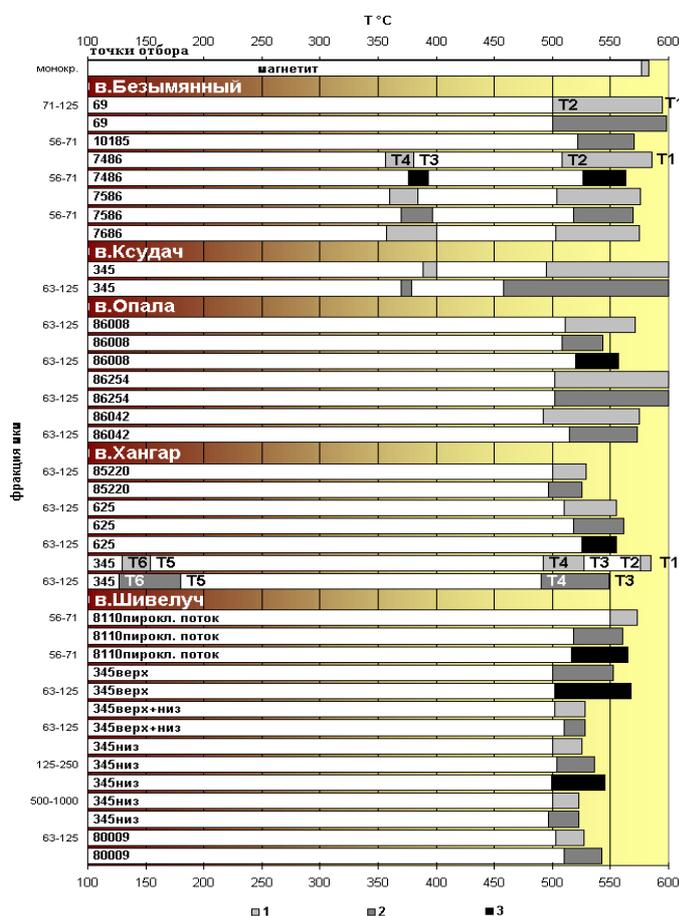


Рис. 4. Диаграмма характеристических температур. Диапазоны характеристических температур: 1 – при первом нагреве, 2 – при втором нагреве, 3 – при третьем нагреве.

Тефра вулкана Шивелуч.

Для изучения были взяты пеплы известного маркирующего горизонта Ш₃ (рис. 2, точки 345 и 80009) с календарным возрастом ≈650 лет н. э. [1] и пепловая составляющая одного из современных пирокластических потоков 1964 года (т. 8110). Горизонт Ш₃ на небольшом расстоянии от вулкана (т. 345) текстурирован и разбивается на 2 подгоризонта (слоя). Верхний слой представлен тонким пеплом, а нижний - грубым. Кривые I_i(T) имеют классическую для титаномагнетитов форму (рис. 1, тип 1), довольно устойчивы к нагревам. Разные фракции нижнего слоя и мелкая фракция смеси верхнего и нижнего слоя дали одинаковый результат. Такой же результат получился по пеплу горизонта Ш₃, отобранного с удалённой на 160 км от вулкана точки 80009. На таком удалении этот горизонт потерял свою текстурированность и выглядит как однородный слой. В то же время мелкая фракция из верхнего слоя дала повышенные характеристические температуры T1 при повторных нагревах (запись первого нагрева получилась бракованной).

Пепел пирокластического потока при первом нагреве выдал более высокотемпературный, чем у остальных изученных образцов пепла Шивелуча, диапазон T1-T2. При повторных нагревах диапазон T1-T2 расширился и сместился вниз, тем самым он стал похож на результат повторных нагревов верхнего слоя Ш₃. Различия с пеплом Ш₃ могут быть обусловлены не только принадлежностью к разным извержениям, но и иными условиями происхождения.

Пеплы вулкана Безымянный.

Изучались пеплы современных извержений, взятые недалеко от источника (рис. 2, точки 69, 10185, 7486, 7586, 7686). Для анализа использовалась довольно мелкая фракция 56-71 мкм для всех образцов, кроме образца, отобранного в точке 69. У последнего анализировалась фракция 71-125 мкм. Диапазон T1-T2 у всех образцов пепла этого вулкана гораздо шире, чем у пеплов вулкана Шивелуч. Выделяющейся особенностью термомагнитных свойств пеплов Безымянного извержения 1986 года (точки 7486, 7586, 7686) является наличие вторых пиков Гопкинсона (рис. 1, тип 3) и соответствующих характеристических температур T3-T4 в диапазоне 350-400 °C (рис. 3 и 4). На записях образцов предшествующих извержений 1969 (т. 69) и 1985 (т. 10185) годов эта особенность не обнаруживается.

Пепел вулкана Хангар.

Все 3 образца пепла этого вулкана от извержения, имеющего календарный возраст ≈5800 лет до н. э. [1], представлены одной фракцией 63-125 мкм. Они отобраны на разном удалении от источника (рис. 2, точки 85220, 625, 345). Записи демонстрируют кривые 2-го и 3-го типов. Наиболее интересен результат по образцу, отобранному в наиболее дальней от вулкана точке 345 (г. Ключи). На кривой первого нагрева обнаруживаются 3 пары характеристических температур: T1-T2, T3-T4, T5-T6. Причём T1-T2 соответствует характеристическим температурам магнетита. На кривой второго нагрева этот диапазон уже не выделяется, но остальные пары T3-T4 и T5-T6 подтверждаются.

Пепел вулкана Опала.

Для эксперимента взята фракция 63-125 мкм от извержения ≈600 лет н. э. [1]. Один образец пепла отобран недалеко от вулкана (рис. 2, т. 86008), два других – в районе г. Петропавловска-Камчатского в 90-100 км от вулкана (точки 86254 и 86042). Кривые I_T(T) имеют форму 2 типа. Сравнительно узкий диапазон T1-T2 получился у образца, отобранного ближе к вулкану. У остальных диапазон T1-T2 довольно широкий.

Пепел вулкана Ксудач.

Изучен один образец фракции 63-125 мкм, отобранный (рис. 2, т. 345) на самом большом удалении (540 км) от вулкана-источника из всех нами изученных. Календарный возраст пепла ≈240 лет н. э. [1]. Запись кривой I_T(T) получилась не очень качественная из-за слабого выходного сигнала. Тем не менее, в середине кривой удаётся выделить характерный скачок фазового перехода магнетика (T3=400 °C, T4=389 °C). Подобный скачок появляется при повторном нагреве, но он оказывается заметно сдвинутым так, что диапазоны T3-T4 первичного и повторного нагревов не перекрываются. В целом эти кривые по особенностям похожи на кривые пеплов вулкана Безымянного извержения 1986 года. Отличие в более широких диапазонах T1-T2 и значительно более узких диапазонах T3-T4. Поскольку исследован пока только один образец и получена запись с высоким уровнем шумов, здесь требуются дополнительные испытания.

Выводы

1. Исследования грубого пепла нижней части горизонта Ш₃ вулкана Шивелуч показали независимость результатов от размеров частиц пепла. В то же время замечены некоторые отличия характеристической температуры T1 тонкого пепла из верхней части этого горизонта.
2. Пара характеристических температур T1-T2 у всех изученных пеплов имеет близкие величины, что пока не позволяет использовать их как идентифицирующий признак. Однако ширина диапазона T1-T2 у пеплов разных вулканов отличается в несколько раз, что в некоторых случаях может помочь различать пеплы разных вулканов.
3. Наличие дополнительных пар характеристических температур T3-T4, T5-T6 и т.д. является хорошим идентифицирующим признаком. Так, во всех исследованных пеплах вулкана Безымянный извержения 1986 года проявились характеристические температуры T3-T4 в диапазоне 350-400 °С.
4. Возможно различие пеплов разных извержений одного вулкана по термомагнитным параметрам. К примеру, пеплы извержений Безымянного 1969 и 1985 годов не дают специфических для пеплов извержения 1986 года характеристических температур T3-T4. Следует обратить внимание и на значимое различие T1-T2 у пепла из современного пирокластического потока вулкана Шивелуч от T1-T2 пепла горизонта Ш₃ исторического извержения этого вулкана.
5. Следует отметить неоднозначность некоторых результатов. Это относится к дополнительным характеристическим температурам в пеплах изучаемого извержения вулкана Хангар, которые проявились только на одном образце из трёх, отобранном на наибольшем удалении от источника. Возможные причины - разная степень сохранности первичных магнитных минералов, существенное повышение вследствие глубокой гравитационно-эоловой дифференциации на большой дистанции переноса относительной концентрации мелкого магнитного минерала. Этот минерал на пониженном фоне других магнитных минералов мог проявить свои специфические магнитные свойства, подавленные на кривых записей образцов ближней зоны отбора.

Проведённая работа является поисковой и не претендует на окончательные выводы.

Авторы выражают благодарность О.А.Гириной за любезно предоставленные образцы пеплов вулкана Безымянный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брайцева О.А., Сулержицкий Л.Д., Пономарёва В.В., Мелекесцев И.В.* Геохронология крупнейших эксплозивных извержений Камчатки в голоцене и их отражение в Гренландском ледниковом щите // Докл. РАН, 1997, том 352, №4, с.516-518.
2. *Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарёва В.В., Кирьянов В.Ю.* Последнее кальдерообразующее извержение на Камчатке (вулкан Ксудач) 1700-1800 лет назад / Вулканология и сейсмология, 1995, №2, с.30-50.
3. *Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др.* Палеомагнитология/ Под ред. А.Н.Храмова. Л.: Недра, 312 с.
4. *Braitseva O.A., Melekestsev I.V., Ponomareva V.V., Kirianov V.Yu., Litasova S.N., Sulerzhitsky L.D.*, 1992 - Tephra of the largest prehistoric holocene volcanic eruptions in Kamchatka. / Quaternary International, vol.13/14 /, 177-180.
5. *Momose K., Kobayashi K., Minagawa K., and Machida M.* Identification of tephra by means of ferromagnetic minerals in pumice // Bulletin of the Earthquake Research Institute. 1968. V.46. P.1275-1292.
6. *Pawse A., Beske-Diehl S., and Marshall S.A.* Use of magnetic hysteresis properties and electron spin resonance spectroscopy for the identification of volcanic ash: a preliminary study // Geophys. J. Int. 1998. V.132. P.712-720.

A POSSIBLE USAGE OF THERMOMAGNETIC PARAMETERS TO IDENTIFY VOLCANIC ASHES

A.G. Zubov, V.Yu. Kirianov

Volcanic ash is a useful tool for investigation of the history of volcanic eruptions as it can be found far from eruptive centers, and is preserved for a long time after initial deposition and has a constant mineral composition. Imperfection of most methodical investigations of volcanic ashes is their texture sensibility. This factor make difficult to identify volcanic ashes from the same volcano.

Some magnetic properties, saturation magnetization, saturation magnetization field, and Curie Point (T_c) of magnetic minerals, however, are not sensitive to texture, but they are sensitive to magnetic-mineral composition. A more sensitive method for determining the T_c - point is the analysis of the temperature dependence of magnetic susceptibility or of inductive magnetization. The presence of peaks on the curve near the T_c -point for the monomineralic fractions (Hopkinson's peak) helps to more carefully define individual T_c on the curve for natural mixtures of the different magnetic minerals.



Внешний вид индукционного магнитометра.

Научное издание

ГЕОДИНАМИКА И ВУЛКАНИЗМ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ОСТРОВОДУЖНОЙ СИСТЕМЫ

Рекомендовано к изданию

Ученым советом Института вулканической геологии и геохимии 28 июня 2000 г.

Переводчики Л.К.Шарунова, Е.В.Клишина
Компьютерная верстка Т.А.Абаимова, Л.В.Ким

Подписано в печать 20.06.01. Заказ 01. Формат 61x84 1/8
Печать офсетная Усл.печ.л. 27,5. Уч.-изд.л. 26,85 Тираж 300.

Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН
683006, Петропавловск-Камчатский, Бульвар Пийпа, 9

Лицензия ИД № 03014 от 13.10.00.

Отпечатано в издательстве Камчатского общественного фонда “Наука - для Камчатки”