

УДК 550.382.3

СРАВНЕНИЕ ПЕТРОМАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕМАГНИЧЕННЫХ И НЕПЕРЕМАГНИЧЕННЫХ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ОСТРОВОДУЖНЫХ ТОЛЩ КАМЧАТКИ И ЮГА КОРЯКИН

© 2000 г. Д. В. Коваленко, В. Л. Злобин

Институт литосферы окраинных и внутренних морей РАН, г. Москва

Поступила в редакцию 12.02.99 г.

Петромагнитные исследования образцов позднемиоценовых и кайнозойских Кроноцкой и Ачайваям-Валагинской дуг, комплексы пород которых находятся в покровно-складчатой структуре Камчатки и южной Корякин показали, что магнитные минералы этих толщ представлены магнетитом, сформировавшимся при спиоидальном распаде титаномагнетитов. Распад очень тонкий, продукты распада не фиксируются при микрозондовых исследованиях, магнитные зерна выглядят как гомогенные титаномагнетиты. В толщах Кроноцкой дуги эти "титаномагнетиты" характеризуются высокими содержаниями TiO_2 , безтитанистые зерна (чистый магнетит) практически отсутствуют. В породах Ачайваям-Валагинской дуги содержание безтитанистых зерен (магнетита) от общего количества исследованных в образцах зерен достигает в среднем 30-50%, в единичных образцах - 70%, 90%. Сравнимые содержания безтитанистых зерен (магнетита) в перемагниченных и неперемагниченных туфах Камчатско-Олюторской дуги свидетельствуют, что процессы, приведшие к формированию повышенных концентраций магнетита, вряд ли является причиной перемагничивания некоторых толщ этой дуги. Петромагнитное сравнение перемагниченных и неперемагниченных толщ Камчатско-Олюторской дуги показало, что наиболее вероятно термовязкое перемагничивание островодужных пород. Если это так, что вдоль простираания Ватынско-Ирунейско-Андреановского коллизионного шва необходимо допустить существование долгоживущего теплового источника прогревающего толщи в течение нескольких миллионов лет.

ВВЕДЕНИЕ

В покровно-складчатых структурах Камчатки и юга Корякин широко распространены позднемиоценовые и третичные островодужные вулканогенные толщи [Акреционная ..., 1993; Богданов и др., 1982; Богданов и др., 1987; Чехович и др., 1990]. По мнению большинства исследователей этих районов [Акреционная ..., 1993; Шапиро, 1995] эти толщи относятся к двум островным дугам или островодужным террейнам, существовавших в позднем мелу и кайнозое в Тихом океане и аккретировавшихся в палеогене и миоцене к материковой окраине. Это Ачайваям-Валагинская дуга, к которой отнесены все позднемиоценовые островодужные толщи Срединного хребта Камчатки, Восточных хребтов Камчатки и юга Корякин, и Кроноцкая дуга, остатками которой, вероятно, являются меловые и третичные островодужные толщи восточных полуостровов Камчатки: Камчатского мыса, Кроноцкого и Шипунского. Палеомагнитные данные, имеющиеся в настоящее время для толщ Камчатки и юга Корякин, показали, что часть из исследованных пород перемагничены после их деформаций - послескладчатые

компоненты уничтожаются при нагревах до температур не менее 500°C (ниже в тексте они названы перемагниченными), а намагниченность других пород доскладчатая и, возможно, близка к первичной - послескладчатые компоненты либо отсутствуют, либо уничтожаются при нагревах до 200-300°C (в тексте - неперемагниченные породы) [Коваленко, 1992; Коваленко, 1996; Коваленко и Ремизова, 1997; Коваленко, 1999; Коваленко и др., 1999а; Коваленко и др., 1999б; Коваленко и др., в печати; Левашова и Шапиро, 1999; Савостин и Хейфец, 1988; Levashova et al., 1998; Levashova et al., 1997; Pechersky et al., 1997]. Перемагниченные породы очень широко распространены в этих районах, приурочены в основном к фронтальным частям коллизионных швов. В настоящей статье мы попытались выяснить, какие процессы в районах коллизионных швов могут привести к такому сильному перемагничиванию пород. Большой удачей является то обстоятельство, что среди позднемиоценовых островодужных толщ Ачайваям-Валагинской дуги присутствуют как полностью перемагниченные, так и практически неперемагниченные, что позволяет провести их сравнительный анализ. Первые результаты пе-

ромагнитного исследования перемагниченных и неперемагниченных островодужных пород юга Корякин, а также ассоциирующих с ними океанических и флишевых толщ, частично опубликованы [Коваленко и Злобин, 1999]. В настоящей статье приводятся результаты петромагнитных исследований всех изученных на Камчатке и юге Корякин перемагниченных и неперемагниченных островодужных толщ, изученных с целью выявления различий этих толщ и предположения возможных механизмов их перемагничивания.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОСТРОВОДУЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Позднемеловые островодужные комплексы Камчатки и юга Корякин залегают в сложной по-кровно-складчатой структуре [Аккреционная ..., 1993; Богданов и др., 1982; Богданов и др., 1987; Чехович и др., 1990]. В Срединном хребте Камчатки они обнажаются на Камчатском перешейке на севере и в пределах Малкинского выступа на юге. Островодужные толщи Срединного хребта Камчатки занимают верхнее структурное положение и в виде пакетов сложнодеформированных чешуи и пластин, включающих также комплексы океанических пород, занимающих нижнее структурное положение, надвинуты на запад по Иру-нейскому и Андриановскому тектоническим покровам на автохтонные меловые флишевые отложения. В Восточных хребтах Камчатки меловые островодужные толщи участвуют в структурах двух типов - в виде пологих пластин западной вергентности и в виде крутопадающих чешуи восточной и юго-восточной вергентности. Пластины и чешуи часто разделены телами серпентинитово-го меланжа, включающего блоки пород офиолитовой ассоциации, а в структуре восточной вергентности также участвуют флишеидные толщи (ветловский комплекс), занимающие нижнее структурное положение. На юге Корякин поздне-меловые островодужные толщи распространены вдоль фронта Ватынского тектонического покрова, по которому они вместе с пластинами океанических пород надвинуты на север и северо-запад на меловые и палеогеновые флишевые толщи, и в Олюторском хребте, где они залегают в структуре юго-восточной вергентности. Формирование покровно-складчатых структур Срединного и Восточных хребтов Камчатки произошло в конце палеоцена-начале эоцена и, по-видимому, связано с коллизией Камчатского сегмента Ачайваям-Валагинской островной дуги с окраинной материка. Коллизия островодужного сегмента, представленного островодужными толщами юга Корякин, была не ранее конца эоцена, так как именно в этот период времени происходили тектонические движения по Ватынскому покрову. Формирование структур Олюторского хребта

произошло не ранее палеоцена. Островодужные толщи всех районов представлены близким набором пород - туфами и туффитами различной зернистости, лавами базальтов и андезитов, туфо-, лавобрекчиями.

Толщи Кроноцкой дуги распространены очень фрагментарно. Они встречаются на Камчатском мысу, Кроноцком и Шипунском полуостровах Камчатки. Островодужные толщи этих районов формировались в конце мела и палеогене и залегают в покровно-складчатой структуре, сформированной в результате коллизии Кроноцкой дуги с материком в миоцене. Они представлены пачками туфов и туффитов, лавами базальтов и андезитов, туфо-, лавобрекчиями.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОД

1. Исследования магнитных минералов и их преобразований на электронном микроскопе "CAMSCAN" с приставкой для микроанализа "LINK-860", позволяющей анализировать объекты до 1 мкр.

2. Снятие кривых J_s-T , $J_{rs}-T$ с целью выявления магнитных фаз перемагниченных и неперемагниченных пород [Нагата, 1965; Печерский и др., 1975; Печерский и Диденко, 1995].

3. Измерения параметров петель гистерезиса и магнитной восприимчивости перемагниченных и неперемагниченных образцов с целью примерной оценки концентрации магнитных минералов в породах и их доменной структуры.

4. Исследования вторичных изменений перемагниченных и неперемагниченных пород на оптическом микроскопе с целью определения возможных температур их вторичных прогревов.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Районы, где имеются надежные палеомагнитные определения, показаны на рис. 1. Среди комплексов пород Ачайваям-Валагинской островной дуги в качестве перемагниченных объектов исследования были выбраны толщи Малкинского выступа, хребта Майны-Какыйне, намагниченность которых представлена только послескладчатыми компонентами и толщи о. Карагинского, в намагниченности которых выделяются послескладчатые компоненты, сохраняющиеся до 500°C (на рис. 1 это районы (1), (9), (10), (6) соответственно). Неперемагниченные толщи изучались в хр. Кумроч, на Камчатском перешейке, в бассейне р. Бурной и в районе мыса Вулканического (районы (2), (5), (17), (16) на рис. 1). В их намагниченности либо отсутствуют послескладчатые компоненты, либо они низкотемпературные, направлены по современному полю Земли и, скорее всего, связаны с вязким перемагничиванием.

Как представители Кроноцкой дуги исследовались островодужные толщи Камчатского мыса и Кроноцкого полуострова (районы (3) и (4) на рис. 1). Все они обладают доскладчатой намагниченностью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кроноцкая дуга

Палеомагнитные образцы, отобранные из палеоценовых вулканогенно-осадочных образований в районе Камчатского мыса, представлены кристалло-витрокластическими туфами. Вторичные изменения пород выражены в пелитизации кристаллов плагиоклаза и развитии по отдельным зернам бурого цеолита. Условия метаморфизма по парагенезисам вторичных минералов отвечают цеолитовой фации (T не выше 160°C , P не более 0.5 кбар). Исследованные разрезы практически не перемагничены, из 25 образцов, участвующих в расчете палеомагнитных направлений, только в двух выделяются послескладчатые компоненты, направленные по современному полю Земли и уничтожающиеся при нагревах до $400\text{--}440^{\circ}\text{C}$. Для микрозондовых исследований были отобраны 4 образца туфов, намагниченность которых представлена только доскладчатой компонентой. Магнитные зерна, проанализированные на микрозонде, представлены титаномагнетитами от субмикронных до $20\text{--}30$ мкр, редко $60\text{--}80$ мкр, однородными на вид, без видимых признаков распада и окисления [Печерский, 1975]. Характерные распределения составов титаномагнетитов, измеренных на микрозонде, представлены на рис. 2. Кривые $J_s\text{--}T$, $J_{rs}\text{--}T$ показывают одну магнитную фазу – магнетит с $T_c = 580^{\circ}\text{C}$ (рис. 3), что свидетельствует о тонком (за пределами разрешения электронного микроскопа) спиноидальном распаде титаномагнетитов. По 6 образцам были сняты параметры петель гистерезиса. Величины J_s колеблются в интервале от 0.2 до 4 $\text{Am}^2/\text{кг}$, H_{cr} – от 244 до 336 $\text{A}/\text{м}$, H_c – от 61 до 129 $\text{A}/\text{м}$, отношения J_s/J_{rs} и H_{cr}/H_c распределены в интервалах 0.06–0.16 и 2.28–3.93, соответственно.

Островодужные образования Кроноцкого полуострова представлены позднемеловыми и палеоцен-эоценовыми туфогенно-базальтовыми толщами. Туфы – кристалло-витрокластические и витрокластические. Вторичные изменения базальтов выражены в развитии хлоритов и цеолитов по матриксу, зерна плагиоклаза интенсивно карбонатизированы и пеллитизированы, участками развит пренит. В туфах вторичные минералы представлены хлоритами, цеолитами, иногда гидроокислами железа по матриксу и по плагиоклазу. Парагенезисы вторичных минералов свидетельствуют, что условия метаморфизма отвечают границе между цеолитовой и пренит-пумпел-

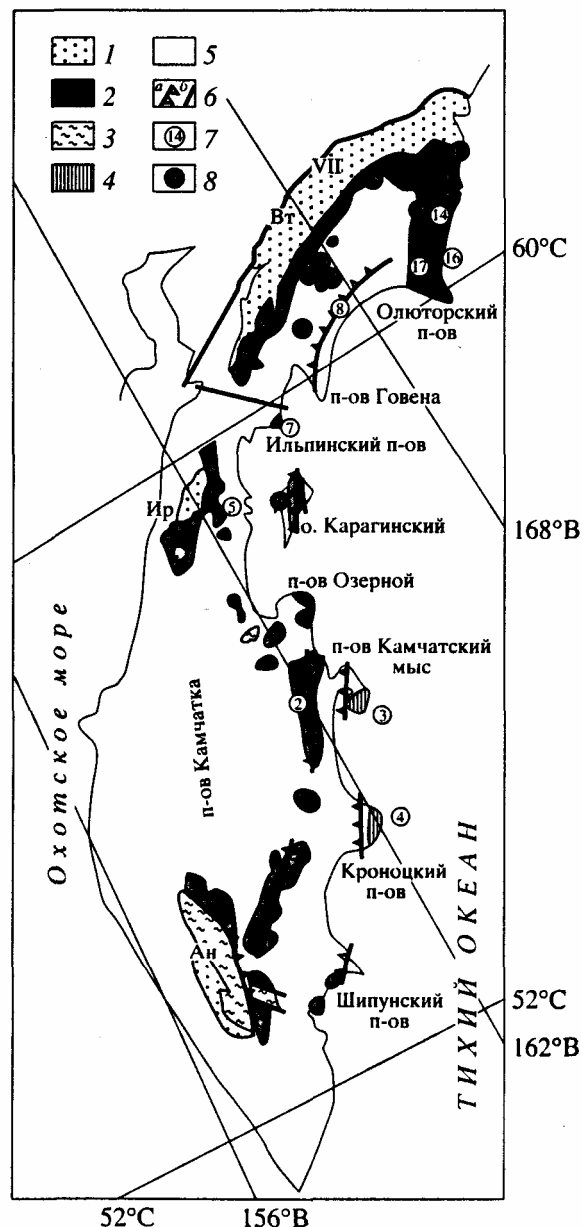


Рис. 1. Положение комплексов пород, для которых имеются палеомагнитные определения в структуре Камчатки и юга Корякии. 1 – Хозгонско-Лесновско-Укелятский флишевый пояс; 2 – позднемеловые островодужные толщи; 3 – выступы метаморфического фундамента; 4 – террейны восточных полуостровов Камчатки; 5 – районы распространения кайнозойских толщ; 6 – разрывные нарушения: а – надвиги, б – субвертикальные; 7 – неперемагниченные позднемеловые островодужные толщи; 8 – перемагниченные позднемеловые островодужные толщи. Цифры в кружках показывают различные палеомагнитные объекты: 1 – Малкинский выступ, 2 – хребет Кумроч, 3 – п-ов Камчатский мыс, 4 – Кроноцкий п-ов, 5 – Камчатский перешеек, 6 – о. Карагинский, 7 – Ильпинский п-ов, 8 – хр. Малиновского, 9, 10 – хребет Майны-Какыйне, 11 – Ивтыгинский хребет, 12 – р. Хатапвая, 13 – бухта Анастасии, 14, 15 – р. Ничаквая, 16 – м. Вулканический, 17 – р. Бурная, 18 – верховья р. Апука. Геологическая основа взята из [Шапи-ро, 1995].

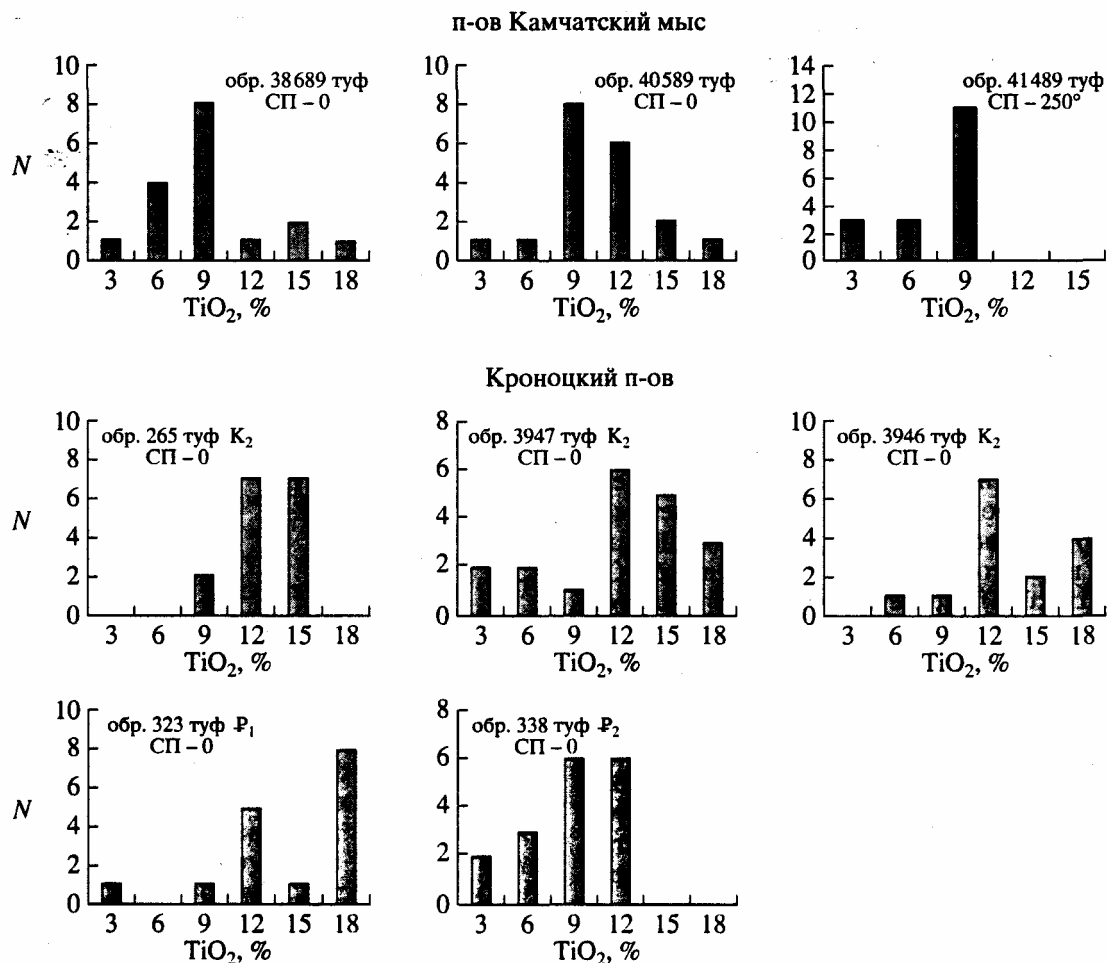


Рис. 2. Гистограммы распределений составов титаномagnetитов для толщ Кроноцкой островной дуги. Ордината – количество зерен, абсцисса – содержание TiO₂. Обозначение СП – 250°, 320° и т.д. указывает присутствие в намагниченности образца вторичной компоненты и температуру ее уничтожения. СП – 0 обозначает отсутствие вторичных компонент.

лиитовой фациями (T около 180°C, P не более 1 кбар). Исследованные толщи практически не перемагничены. В 5 из 36 образцов позднемиловых пород выявлены вторичные компоненты намагниченности, уничтожающиеся при 300–350°C. В образцах из палеоцен-эоценовых разрезов вообще не выявлено послескладчатых компонент намагниченности, сохраняющихся при нагревах выше 200°C. Микрозондовые исследования были проведены по 3 образцам туфов из позднемиловых толщ и по одному образцу туфов из палеоценовых и эоценовых отложений, соответственно. Были исследованы и образцы базальтов, но так как они присутствуют в единичных разрезах, их сравнение невозможно, и они исключены из рассмотрения в данной статье. Микрозондовые исследования туфов показали, что в них присутствуют титаномagnetиты различных размеров (от 1 до 30 мкр), без видимых признаков магнитного распада и окисления. Распределение составов титаномagnetитов показано на рис. 2. Кривые J_s-T , $J_{rs}-T$

показывают присутствие magnetита с $T_c = 580^\circ\text{C}$ (рис. 3), что свидетельствует о тонком спиновом распаде титаномagnetитов, так же, как и в толщах Камчатского мыса. Величины J_s (15 образцов) находятся в интервале 0.2–6.1 Ам²/кг, $H_{cr} = 64\text{--}376$ А/м, $H_c = 27\text{--}159$ А/м. Отношения J_{rs}/J_s и H_{cr}/H_c распределены в интервалах 0.03–0.16 и 1.6–3.9.

Ачайваям-Валагинская дуга

Из толщ Ачайваям-Валагинской дуги были изучены образцы перемагниченных и неперемагниченных пород.

Неперемагниченные толщи позднемиловых островодужных пород были изучены в хр. Кумроч, на Камчатском перешейке, на Олюторском хребте – в бассейне р. Бурной и в районе м. Вулканического.

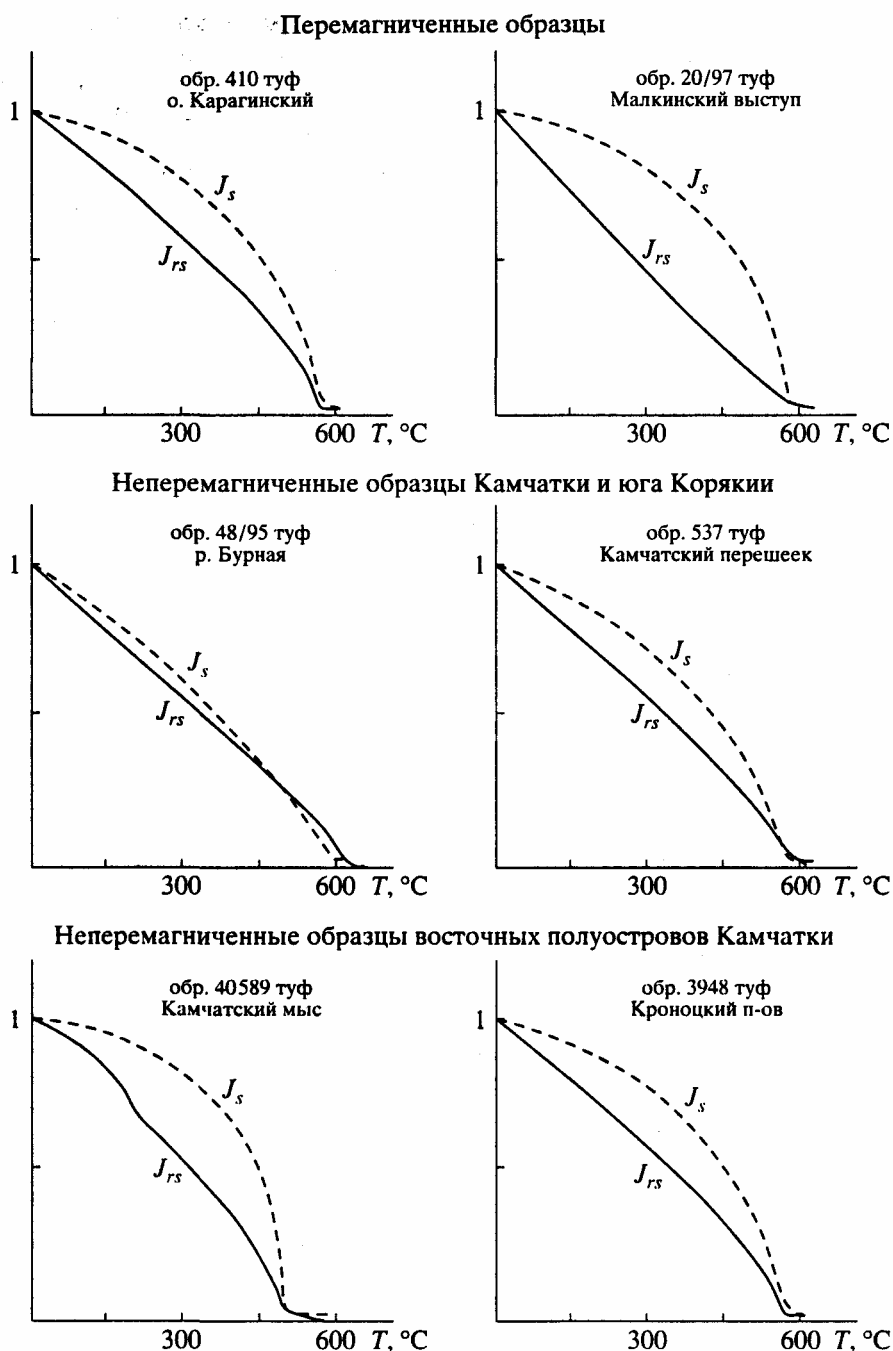


Рис. 3. Примеры кривых зависимостей J_s-T , $J_{rs}-T$ для пород Кроноцкой и Ачайваям-Валагинской дуг.

Исследованные позднемеловые вулканогенные толщи хр. Кумроч представлены кристалло-витрокластическими и витрокластическими туфами и туффитами. Вторичные изменения выражены в развитии тонкого агрегата цеолитов, хлоритов и гидроокислов железа по стеклу и цеолитов и пелитовых минералов по плагиоклазу. Метаморфизм вряд ли превышает условия цеолитовой фации ($T=150-160^{\circ}\text{C}$, P не более 0.5 кбар). В намагниченности большинства образцов выяв-

ляется вторичная компонента, уничтожающаяся при температурах $300-350^{\circ}\text{C}$, направленная по современному полю Земли и, вероятно, связанная с вязким перемагничиванием. Микрозондовые исследования были проведены по 4 образцам туфов, в двух из которых намагниченность представлена только доскладчатой компонентой, а в двух других - присутствуют послескладчатые компоненты, сохраняющиеся до 400 и до 300°C . Микрозондовые исследования выявили зерна титано-

магнетитов (от 1 до 80–100 мкр), без видимых структур распада и окисления. Характерные распределения составов титаномагнетитов показаны на рис. 4. Составы близкие для зерен титаномагнетитов как менее 20 мкр, так и более 20 мкр. Титаномагнетиты претерпели тонкий спиоидальный распад, так как кривые J_s – T , J_{rs} – T показывают присутствие только магнетитовой фазы с $T_c = 580^\circ\text{C}$. Параметры гистерезиса сняты по 7 образцам: $J_s = 0.7$ – 2.66 Ам²/кг, $H_{cr} = 218$ – 297 А/м, $H_c = 42$ – 96 А/м, $J_{rs}/J_s = 0.04$ – 0.1 , $H_{cr}/H_c = 3.1$ – 5.2 . Близкие результаты были опубликованы для туфогенных толщ хр. Кумроч в [Печерский и Шапиро, 1996].

На Камчатском перешейке была опробована толща, сложенная преимущественно туфами и туффитами. Выделяются туфы кристалло-витрокластические и витрокластические. По набору наложенных фаз (цеолиты, хлорит, окислы железа, карбонат) можно сделать вывод, что условия метаморфизма соответствуют цеолитовой фации ($T = 150$ – 160°C , P не более 0.5 кбар). Толща разбита на 7 блоков. В блоке 1 из 11 образцов в 3 присутствуют вторичные компоненты намагниченности, сохраняющимися до 450 – 500°C , в блоке 2 – в 3 образцах из 7 вторичные, вероятно, современные компоненты сохраняются до 300 – 500°C , в блоке 3 – в 4 образцах из 22 вторичные компоненты уничтожаются в интервале 300 – 580°C , в блоке 4 – в 4 образцах из 9 компоненты сохраняются до 400 – 560°C , в блоке 5 – во всех пяти образцах вторичные компоненты сохраняются до 350 – 550°C , в блоке 6 – в 1 из 5 образцов выявлена вторичная компонента, сохраняющаяся до 480°C , в блоке 7 – намагниченность 3 образцов из 9 включает вторичные компоненты, уничтожающиеся при 300 – 480°C . Вторичные компоненты направлены по современному полю Земли. Из блока 3, практически неперемагниченного, для микрозондовых исследований были выбраны 3 образца туфов, обладающих только доскладчатыми компонентами намагниченности. Характерные распределения составов титаномагнетитов, выявленных на микрозонде показаны на рис. 4. Составы титаномагнетитов близки для зерен как крупнее 20 мкр, так и мельче 20 мкр. Титаномагнетиты однородные, без видимых признаков магнитного распада и окисления, но анализ кривых J_s – T , J_{rs} – T свидетельствует об их спиоидальном распаде с образованием магнетитовой фазы с $T_c = 580^\circ\text{C}$ (рис. 3). Измеренные по 6 образцам параметры петель гистерезиса распределены в интервалах: $J_s = 0.5$ – 1.7 Ам²/кг, $H_{cr} = 290$ – 638 А/с, $H_c = 96$ – 229 А/м, $J_{rs}/J_s = 0.08$ – 0.18 и $H_{cr}/H_c = 2.28$ – 3.37 .

В районе м. Вулканический опробованные породы представлены кристалло-витрокластическими туффитами, силицитами, туфосилицитами, туфоалевролитами. Породы достаточно свежие, вторичные минералы представлены хлоритом,

замещающим стекло, плагиоклаз и пироксен, и пумпеллиитом, развивающимся по стеклу, соссюритом, эпидотом – по плагиоклазу. Данная ассоциация формируется в интервалах $T = 210$ – 270°C , $P = 1$ – 2 кбар. Для палеомагнитных исследований были опробованы три разреза, практически неперемагниченных (разрез 1 – из 45 образцов намагниченность двух включает послескладчатые компоненты, сохраняющиеся до 300°C , в разрезе 2 – в 5 из 29 образцов выявляются вторичные компоненты, уничтожающиеся при 250 – 300°C , в разрезе 3 – в 1 из 13 образцов присутствует вторичная компонента, устойчивая до 300°C . Для петромагнитного изучения были выбраны 5 образцов туфов, намагниченность которых не включает послескладчатых компонент. Микрозондовое изучение магнитных минералов пород в районе мыса Вулканический показало, что они также представлены многочисленными разрозненными зернами титаномагнетитов, видимый размер которых от 1 до 30 мкр, и скоплениями мелких зерен, размер которых не превышает 3 мкр. Разрозненные зерна титаномагнетитов не несут видимых следов магнитного распада. Составы зерен, показанные на рис. 4, близки как для зерен мельче 20 мкр, так и крупнее 20 мкр. Иногда в зернах наблюдаются трещины, вероятно, связанные с низкотемпературным окислением титаномагнетитов. Скопления титаномагнетитов достаточно часто являются включениями титаномагнетитов в альбите, но иногда они не приурочены к какому-либо минералу и находятся в межзерновом пространстве. Составы титаномагнетитов в “скоплениях” в большинстве случаев одинаковы. Составы титаномагнетитов в единичных зернах и “скоплениях” также часто характеризуются близкими распределениями. Анализ кривых J_s – T , J_{rs} – T показал, что в породах присутствует только одна магнитная фаза – магнетит с $T_c = 550$ – 570°C . Параметры гистерезиса не снимались.

В бассейне р. Бурная, опробованные для палеомагнитного анализа позднемиоценовые толщи, сложены разнотекстурными кристалло-витрокластическими туфами и туффитами. Вторичные изменения этих пород представлены слабой пелитизацией плагиоклазов, появлением пумпеллиита, хлоритизацией и иногда карбонатизацией пироксенов и стекла. Такая ассоциация минералов могла формироваться при $T = 190$ – 250°C , $P = 1$ – 1.5 кбар. Для палеомагнитных исследований были опробованы два разреза, в разной степени перемагниченные. В одном из них намагниченность 19 из 35 образцов включает послескладчатые компоненты, направленные по современному полю Земли, сохраняющиеся до 320 – 380°C , реже – до 500°C . Другой разрез перемагнитен в меньшей степени, 16 из 46 образцов обладают вторичной намагниченностью, уничтожающейся при 300 – 380°C и направленной по современному полю Земли в этом

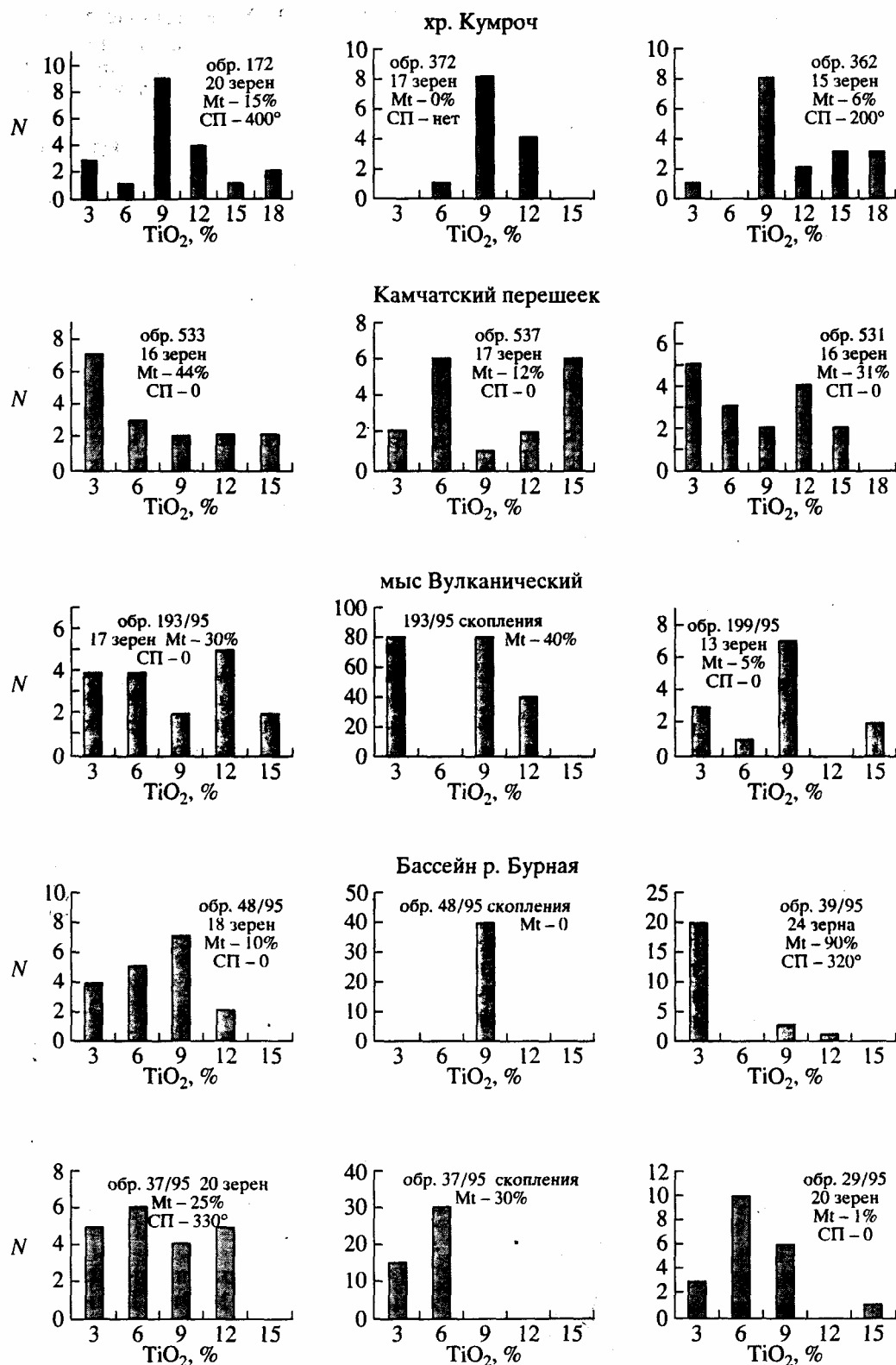


Рис. 4. Гистограммы распределений составов титаномагнетитов для неперемагниченных толщ Ачайвайм-Валагинской островной дуги. Ордината – количество зерен, абсцисса – содержание TiO_2 . В области гистограммы указаны суммарное количество исследованных магнитных зерен, процентное содержание чистого магнетита от общего числа зерен (Mt – 35%, Mt – 20% и т.д.). Обозначение СП – 250°, 320° и т.д. указывает на присутствие в намагниченности образца вторичной компоненты и температуру ее уничтожения. СП – 0 обозначает отсутствие вторичных компонент.

районе. Из этого разреза, из наименее перемангниченной его части, были взяты 4 образца для микронзондовых исследований. Намагниченность двух из них состоит только из доскладчатой компоненты, а в двух других послескладчатые компоненты уничтожаются при 320°C. Магнитные минералы пород бассейна р. Бурная представлены равномерно распределенными по породе разрозненными зернами титаномагнетитов и их скоплениями (часто в виде включений в альбите). Размер разрозненных зерен колеблется от 5 до 50 мкм, в скоплениях – до 2 мкм. В некоторых шлифах наблюдались единичные агрегаты, состоящие из магнетита, ильменита и сфена. Характерные распределения содержания TiO_2 в единичных титаномагнетитах и в скоплениях показаны на рис. 4. В зернах титаномагнетитов крупнее и мельче 20 мкм не замечено большой разницы в содержаниях TiO_2 . Кривые J_s-T , $J_{rs}-T$ показывают, что в породах присутствует только одна магнитная фаза – магнетит с $T_c = 550-570^\circ C$ (рис. 3). По 7 образцам измерены параметры гистерезиса: J_s находятся в интервале 1.2–3.82 Ам²/кг, $H_{cr} = 253-370$ А/м, $H_c = 66-103$ А/м, $J_{rs}/J_s = 0.07-0.1$, $H_{cr}/H_c = 3.17-4.24$.

ПЕРЕМАГНИЧЕННЫЕ ПОРОДЫ

Перемангниченные толщи изучались на о. Карагинском, Малкинском выступе Камчатки и в хр. Майны-Какыйне в южной Корее.

На острове Карагинский (исследовались толщи в бассейнах рек Ильхатунваям и Вороньей) все опробованные разрезы сложены туффидами различной зернистости, алевролитами и аргиллитами. В устье р. Ильхатунваям в разрезе присутствуют многочисленные карбонатные конкреции. Вторичные изменения пород проявлены в пелитизации и карбонатизации плагиоклазов, отдельные зерна цеолитизированы, в ряде случаев появляется пренит и соссюрит. По клинопироксенам развиты гидроокислы железа. Стекло во всех шлифах превращено в бурый мезостазис, в некоторых шлифах развит тонкочешуйчатый хлорит. По ассоциациям вторичных минералов метаморфизм пород данной партии происходил в условиях, граничных между цеолитовой и пренит-пумпеллитовой субфациями ($T = 180-200^\circ C$, $P = 1$ кбар). В породах комплекса была выделена как доскладчатая, так и послескладчатая намагниченность. Послескладчатые компоненты намагниченности обратной полярности выявлены практически во всех образцах и сохраняются в большинстве образцов до 500°C, многие образцы перемангничены полностью. Микронзондовый анализ был проведен по 2 образцам туфов около устья р. Ильхатунваям и 5 образцам из бассейна р. Вороньей. На микроанализаторе в исследуемых породах обнаружены однородные на вид, без признаков распада, зерна титаномагнетитов с различным со-

держанием TiO_2 . Характерные распределения содержания TiO_2 показаны на рис. 5. Поскольку кривые J_s-T , $J_{rs}-T$ показали присутствие только магнетитовой фазы с $T_c = 576^\circ C$ (рис. 3), очевидно, титаномагнетиты претерпели тонкий спиноидальный распад, не фиксирующийся микронзондом. J_s (12 образцов) находятся в интервале 0.2–4.5 Ам²/кг, $H_{cr} = 183-366$ А/м, $H_c = 54-100$ А/м. Отношения J_{rs}/J_s и H_{cr}/H_c – распределены в интервалах 0.02–0.09 и 2.25–4.3.

Островодужные туффицы Малкинского выступа на юге Камчатки представлены разнотекстурными лито-витро-клинтокластическими (с существенным преобладанием кристаллокластов), кристалло-витро-кластическими и витро-кластическими разностями. Вторичные изменения туффицитов выражены в развитии хлоритов, цеолитов и лимонита по литокластам стекловатых пород; цеолитов, хлоритов, карбонатов, пренита, реже – соссюрита – по плагиоклазам; по пироксенам – хлорита, реже эпидота. В некоторых образцах наблюдаются субпараллельные прожилки, выполненные тонкозернистым пренит-карбонатным агрегатом. Парагенезисы вторичных минералов отвечают условиям низов пренит-пумпеллитовой субфации ($T = 190-210^\circ C$, $P = 1-1.5$ кбар). Намагниченность островодужных толщ представлена единственной послескладчатой компонентой прямой полярности, близкой к направлению современного поля Земли. Из туффицитов Малкинского выступа были изучены на микронзонде 5 образцов. Магнитные минералы в них представлены отдельными однородными зернами титаномагнетитов, размером от 1 до 200 мкм, а также скоплениями мелких, до 4 мкм зерен титаномагнетитов, которые пространственно ассоциируют с кристаллами альбита, и, вероятно, являются включениями в этом минерале. Типичные распределения содержаний TiO_2 как в отдельных зернах титаномагнетитов, так и во включениях показаны на рис. 5. На кривых J_s-T , $J_{rs}-T$ выявлена только точка Кюри чистого магнетита (рис. 3), следовательно, зерна титаномагнетитов претерпели тонкий спиноидальный распад. Параметры петель гистерезиса измерялись по 13 образцам. J_s распределена в интервале 1.9–6.2 Ам²/кг, $H_{cr} = 219-384$ А/м, $H_c = 44-76$ А/м, $J_{rs}/J_s = 0.03-0.06$, $H_{cr}/H_c = 4.4-8.1$.

Перемангниченные позднемиоценовые и палеоценовые толщи хр. Майны-Какыйне (два разреза МК400 и МК700) сложены вулканическими толщами, включающими разнотекстурные туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты и туфосилициты. В них выделяются две послескладчатые компоненты – прямой и обратной полярности. Первая из них обычно уничтожается при 400–450°C, редко при 500–550°C, другая в большинстве случаев сохраняется до 500–580°C. Микроскопическое изучение пород этого района показало, что ос-

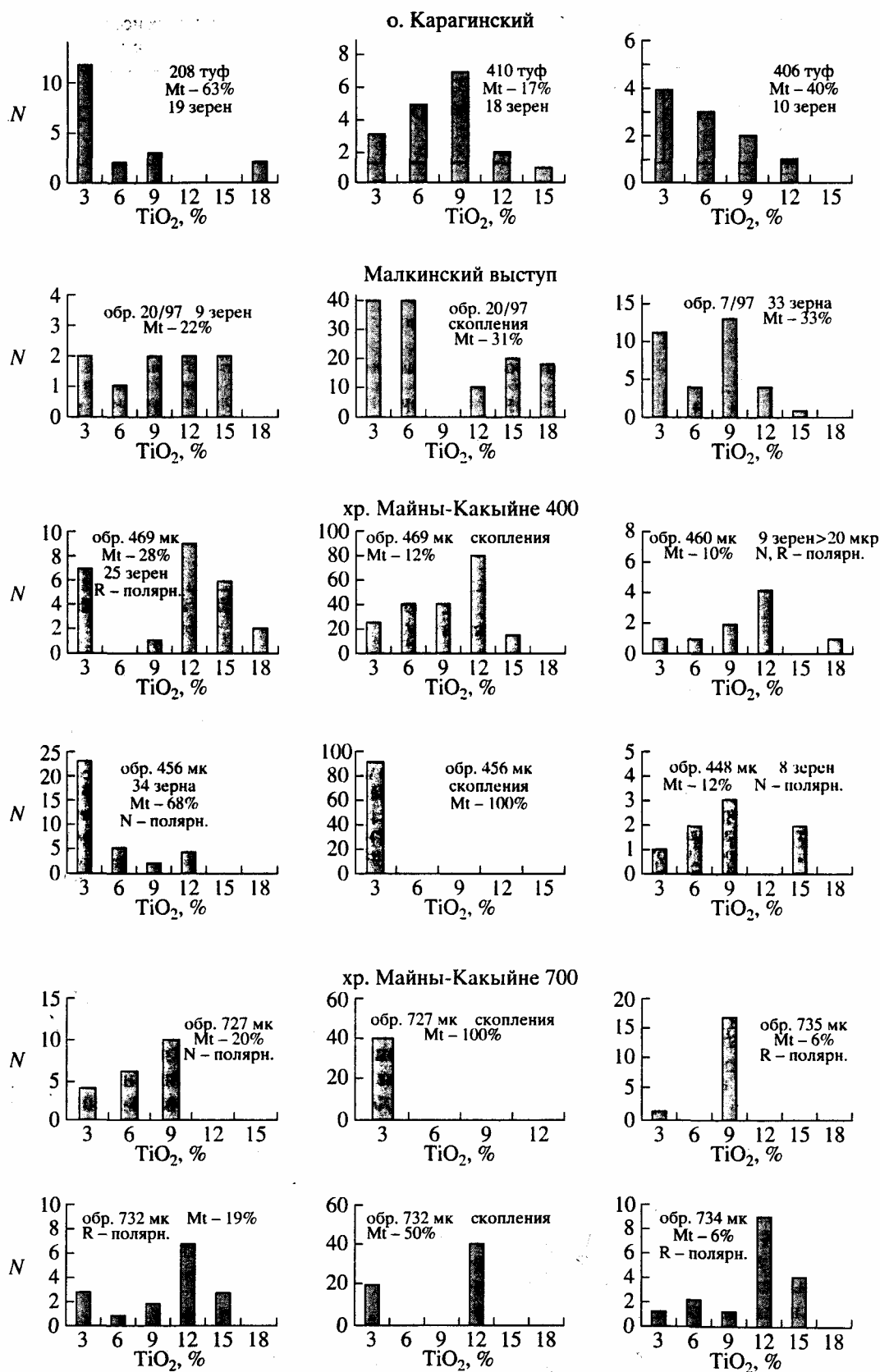


Рис. 5. Гистограммы распределений составов титаномagnetитов для перемagnetиченных толщ Ачайваам-Валагинской островной дуги. Обозначения см. рис. 4.

Таблица 1. Направления компонент намагниченности, рассчитанные при палеомагнитных исследованиях толщ Кроноцкой дуги и направления компонент намагниченности образцов, используемых для петромагнитных исследований

№ компоненты	Тип намагниченности	Тесты	Возраст намагниченности	Возраст пород	D_c	I_c	K_c	α_{c95}	D_d	I_d	K_d	α_{d95}
Неперемагнитные толщи												
Камчатский мыс (3) [Levashova et al., 1998; Pechersky et al., 1997]												
3р(78)	д/скл	F+, T+	P_1^1	P_1^1	118	60	7	6	27	60	15	4
3п(4)					99	43	8	25	24	69	7	26
Кроноцкий п-ов (4) [Levashova et al., 1998]												
4р(98)	д/скл	F+, T+	K_2	K_2	98	-60	5	19	103	-63	43	6
4п(3)					65	-72	4	41	110	-54	8	28
4р(29)	д/скл	F+, T+	P_2^1	P_2^1	283	57	13	20	279	60	49	3
4п(1)					297	-47			295	65		
4р(76)	д/скл	F+, T+	P_2^2	P_2^2	311	77	22	11	297	64	78	6
4п(1)					285	-32			286	27		

D , I , K , α_{95} – соответственно, склонение, наклонение, кучность, угол доверия. Индексы с и д обозначают современную и древнюю системы координат.

F+/- – тест складки (положительный/отрицательный); R+/- – тест обращения (положительный/отрицательный); T+/- – является ли выделенная компонента намагниченности самой высокотемпературной или не является; G+/- – совместимость с геологическими, тектоническими и другими палеомагнитными данными по исследованному району; M+/- – совпадает ли направление выделенной компоненты с направлением современного поля района или не совпадает.

В графе “№ компоненты” цифра указывает номер объекта на рис. 1, р, п – соответственно, направления намагниченности, рассчитанные для всего разреза или объекта и для образцов, используемых в петромагнитном анализе; в скобках указано количество образцов. N, R – прямая и обратная полярность, соответственно.

новыми парагенезисами вторичных минералов в различных типах пород являются хлорит–цоизит–эпидот–карбонат, развивающиеся по стеклу; хлорит–карбонат–эпидот–альбит–цоизит, редко – пренит и пумпеллиит – по плагиоклазу; хлорит–эпидот, реже карбонат, цоизит, актинолит – по клинопироксену. Такие ассоциации соответствуют границе цеолитовой и пренит–пумпеллиитовой субфаций ($T = 200\text{--}220^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}2$ кбар) и средней части пренит–пумпеллиитовой субфации ($T = 230\text{--}250^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}2$ кбар). Микрозондовое исследование магнитных зерен из 4 образцов из разреза МК700 и 4 из разреза Mk400 показало, что они представлены титаномагнетитами двух генетических типов. Первый тип представлен разрозненными зернами от первых микрон до 100 мк. Второй тип – это мелкие (1–3 мкр) включения рудных минералов в альбите. Зерна первого типа однородные на вид, без признаков распада. В большинстве зерен титаномагнетитов наблюдаются трещины, образующиеся при их низкотемпературном окислении. Зерна второго типа

также являются титаномагнетитами, состав которых близок к составам титаномагнетитов первого типа. В пределах одного кристалла полевого шпата обычно наблюдаются близкие по составу включения титаномагнетитов. Типичные распределения составов разрозненных титаномагнетитов и скоплений представлены на рис. 5. Кривые J_s – T , J_{rs} – T показали, что все магнитные минералы претерпели спинойдальный распад до магнетита с $T_c = 550\text{--}580^\circ\text{C}$. Параметры гистерезиса сняты по 8 образцам. J_s находятся в интервале 1.1–4.9 Ам²/кг, $H_{cr} = 109\text{--}390$ А/м, $H_c = 21\text{--}116$ А/м. Отношения J_{rs}/J_s и H_{cr}/H_c – распределены в интервалах 0.02–0.1 и 3.3–11.7.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время наиболее распространены три типа процессов перемагничивания, которые могут привести к полному уничтожению первичной намагниченности и к формированию новых, устойчивых к размагничивающим воздействиям

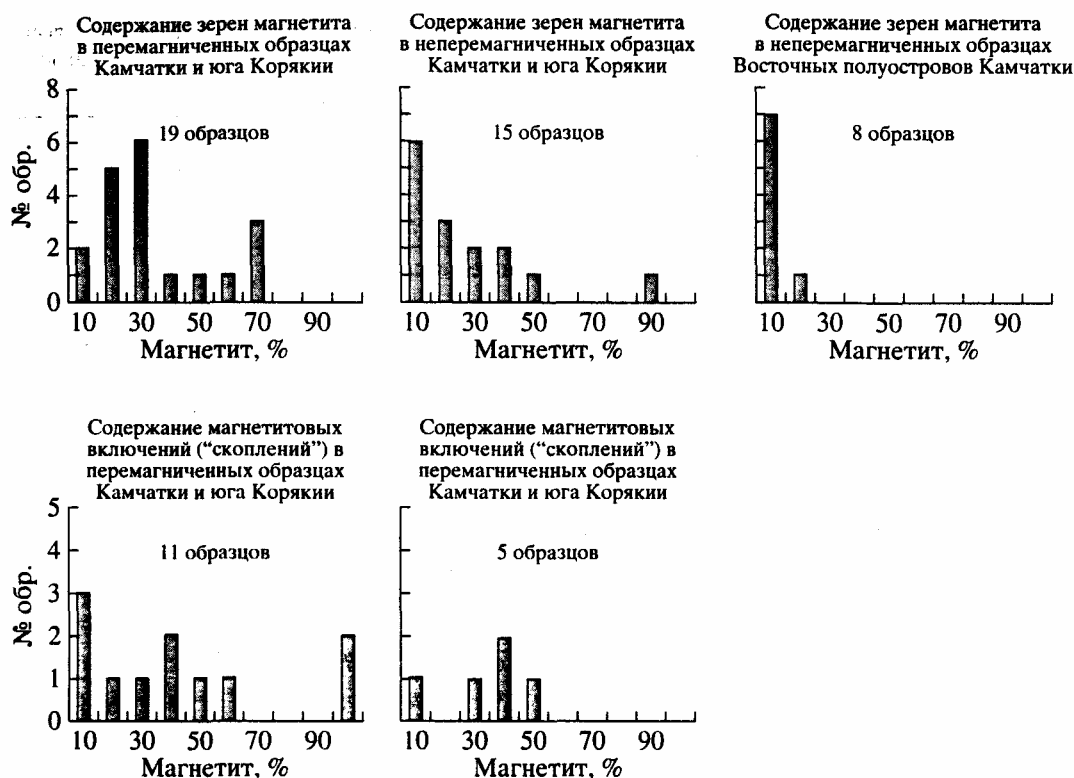


Рис. 6. Гистограммы процентного содержания зерен магнетита от общего количества исследованных зерен в образцах Кроноцкой и Ачайваям-Валагинской дуг. Ось ординат – количество образцов, ось абсцисс – содержание магнетита. В области гистограмм указано суммарное количество образцов.

компонент намагниченности – сильный прогрев пород, химическое преобразование пород с формированием новых магнитных минералов (обычно чистого магнетита или гематита) и термовязкое перемагничивание, протекающее при низких температурах в течение длительного времени.

1. Изучение образцов Кроноцкой дуги показало, что породы не претерпели значительных температурных воздействий (температуры не были выше $160\text{--}180^\circ\text{C}$). Их намагниченность (за исключением единичных образцов) состоит из доскладчатой компоненты. Титаномагнетиты характеризуются, в основном, высокими содержаниями TiO_2 и, по-видимому, на ранних стадиях накопления толщ претерпели тонкий спиноидальный распад с формированием магнетита [Гапеев и Артемова, 1988]. Зерна чистого магнетита при микроанализе обнаружены в незначительных количествах. Эти данные прекрасно увязываются с выводом о первичности намагниченности толщ Кроноцкой дуги (табл. 1).

2. Проведенные исследования перемагнитных после деформаций и неперемагнитных толщ Ачайваям-Валагинской дуги не выявили их отчетливых различий. Как перемагнитные, так и неперемагнитные толщ не претерпели сильных температурных воздействий (не выше 250°C).

Видимые на микрозонде магнитные минералы как в перемагнитных, так и в неперемагнитных толщах представлены либо разрозненными, равномерно распределенными по породе титаномагнетитами, размеры которых от субмикронных до $80\text{--}100$ мкр, либо двумя типами зерен: разрозненными титаномагнетитами различной величины и скоплениями мелких (до $3\text{--}4$ мкр) зерен титаномагнетитов. Титаномагнетиты претерпели тонкий спиноидальный распад с формированием чистого магнетита. По данным [Гапеев и Артемова, 1988] такой распад вполне вероятен на ранних стадиях формирования породы. Распределения содержаний TiO_2 как в скоплениях, так и в единичных зернах, близкие. Отличительной чертой туфов и туффитов толщ Ачайваям-Валагинской дуги от аналогичных пород Кроноцкой дуги является повышенное процентное содержание в них зерен чистого магнетита от общего числа исследованных зерен (рис. 4, 5, 6). Повышенное содержание магнетита наблюдается как в перемагнитных, так и в неперемагнитных толщах, примерно в одинаковых соотношениях (рис. 6). Важно отметить, что в некоторых образцах и перемагнитных и неперемагнитных туфов наблюдается до 70% (о. Карагинский, хр. Майны-Какыйне) и 90% (р. Бурная) чистого магнетита. Причем, намагниченность трех, исследованных в бассейне

Таблица 2. Направления компонент намагниченности, рассчитанные при палеомагнитных исследованиях толщ Камчатско-Олюторской дуги и направления компонент намагниченности образцов, используемых для петромагнитных исследований

№ ком- поненты	Тип на- магни- ченнос- ти	Тесты	Возраст намагни- ченности	Возраст пород	D _c	I _c	K _c	α_{c95}	D _d	I _d	K _d	α_{d95}
Неперемагнитные толщ												
бассейн р. Бурной (17) [Коваленко и др., 1999a]												
17р(68)	д/скл	F+, T+, R+	K ₂ ср-м	K ₂ ср-м	104	30	8	7	88	65	14	5
17п(3)					72	54	13	22	117	70	34	14
мыс Вулканический (16) [Коваленко и др., 1999a]												
16р(64)	д/скл	F+, T+	K ₂ ср-м	K ₂ ср-м	107	13	5	8	97	68	12	5
16п(5)					120	21	9	21	113	74	26	12
Камчатский перешеек (5) [Левашова и Шапиро, 1999]												
5р(49)	д/скл	F+, T+	K ₂ ср-д	K ₂ ср-д	49	-61	14	15	104	-66	83	6
5п(3)					351	-55	7	30	99	-70	160	6
хр. Кумроч (2) [Levashova et al., 1997]												
2р(93)	д/скл	F+, T+	K ₂ ср-д	K ₂ ср-д	289	-44	8	5	160	-68	16	4
2п(3)					278	-9	11	25	214	-64	61	10
Перемагниченные толщ												
Малкинский выступ (1) [Коваленко и др., в печати]												
1р(39)	п/скл	F-, T-	Р	K ₂ ср-м	350	71	29	4	343	-13	14	6
1п(4)					352	75	12	21	348	-18	8	25
о. Карагинский (6) [Коваленко и др., 1996б]												
6п(26) р. Ильхатунваям	п/скл	F-, T-	Р	K ₂ ср-м	311	-77	16	7	328	-86	12	8
6п(2)					186	-87	15	25	150	-76	11	30
6р(28) р. Воронья	п/скл	F-, T-	Р	K ₂ ср-м	311	50	9	9	293	-41	5	11
6п(3)					309	-23	14	22	307	2	12	23
хр. Майны-Какыйне (9) (10) [Коваленко и Ремизова, 1997]												
9р(10)R	п/скл	F-, T-, G-	N	Р ₁	32	-59	10	14	91	-71	10	14
9п(1)R					47	-84			146	-60		
10р(7)R	п/скл	F-, T-, G-	N	Р ₁	310	-45	13	14.5	322	-23	14	14
10п(3)R					307	-52	15	21	322	-29	15	21
9, 10р(28)N	п/скл	F-, T-, M+	Q	Р ₁	56	78	9	9	100	58	5	12
9п(3)N					139	83	18	19	23	65	31	14

р. Бурной образцов (содержание магнетита 25, 90, 10% от общего числа измеренных магнитных зерен в образцах), явно доскладчатая (табл. 2). Также доскладчатой является намагниченность 5 исследованных образцов в районе м. Вулканического (содержание магнетита – 1, 25, 30, 30, 5%), Камчатского перешейка (содержание магнетита 44, 12, 31%) и в хр. Кумроч (содержание магнетита более низкое – 15, 0, 6, 0%).

В образцах перемагниченных толщ близкие содержания магнетита – Малкинский выступ – 33, 18, 29, 22%; в двух разрезах хр. Майны-Какыйне – МК700 – 6, 6, 19% и МК400 – 10, 68, 12%; на о. Карагинском – 66, 63, 50, 20, 17, 25, 40% (рис. 5). Таким образом, процессы, приведшие к формированию повышенных, но сравнимых в перемагниченных и неперемагнитных туфах Ачайва-Валагинской дуги концентраций магнетита, вряд ли является причиной перемагничивания не-

которых толщ этой дуги. Скорее, формирование магнетита произошло на ранних стадиях формирования островодужных толщ, за счет каких-то характерных именно для этой дуги низкотемпературных геохимических процессов.

Таким образом, анализ видимых на электронном микроскопе магнитных минералов (крупнее 0.5 мкр) не позволяет сделать вывод о химическом постдеформационном перемагничивании некоторых толщ Ачайваям-Валагинской дуги. Но возни-

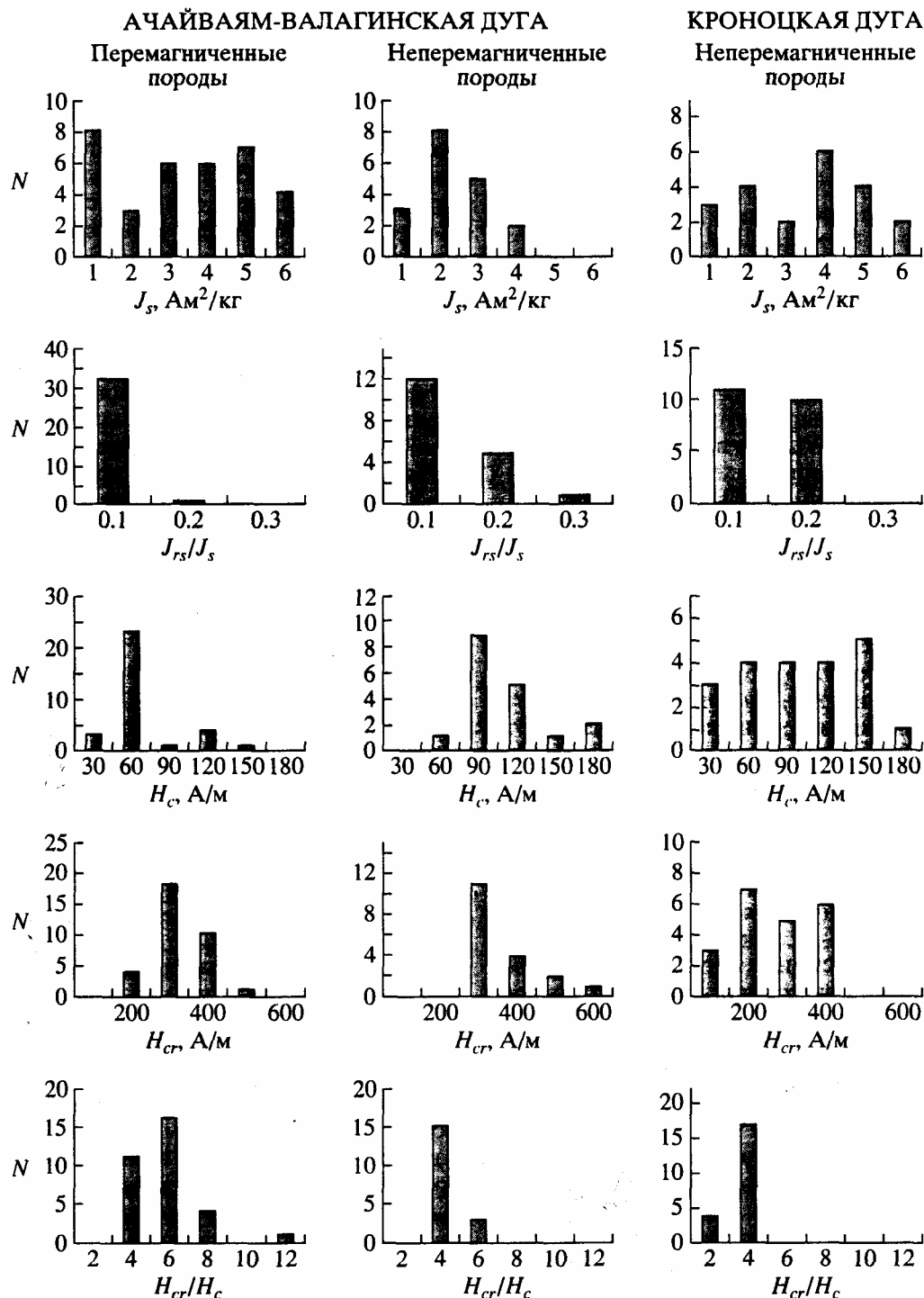


Рис. 7. Гистограммы распределений величин параметров петель гистерезиса образцов Кроноцкой и Ачайваям-Валагинской островных дуг. Ось ординат – количество образцов, ось абсцисс – величина намагниченности насыщения (J_s), отношений остаточной намагниченности насыщения к намагниченности насыщения (J_{rs}/J_s), коэрцитивной силы (H_{cr}), остаточной коэрцитивной силы (H_{cr}/H_c).

ОСТРОВОДУЖНЫЕ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫЕ ТОЛЩИ

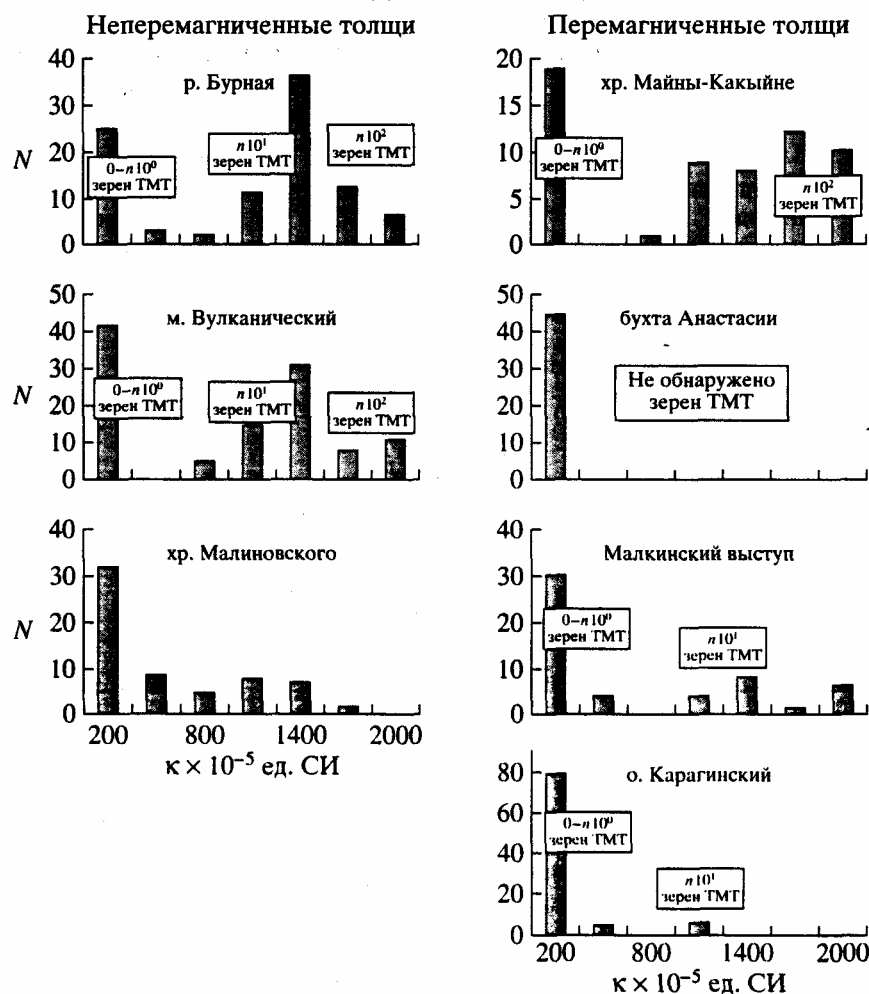


Рис. 8. Гистограммы распределений величин магнитной восприимчивости образцов Кроноцкой и Ачайваам-Валагинской островных дуг. Таблицы $0-10^0$, 10^1 и т.д. в области гистограмм показывают количество (единицы, десятки, сотни) зерен магнитных минералов, встреченных при микрозондовых исследованиях пород с величинами магнитной восприимчивости, указанными на оси абсцисс ниже таблицы.

кает вопрос - являются ли те магнитные минералы, которые мы можем видеть при наших возможностях увеличения, действительно теми минералами, с которыми связана намагниченность пород? Может быть за пределами видимости существуют другие минералы, с которыми и связано перемагничивание пород? Если это так, то тогда концентрация магнитных минералов в перемагниченных толщах должна быть значительно выше, чем в неперемагниченных, так как в этом случае намагниченность предполагаемых вторичных минералов должна полностью подавить намагниченность первичных титаномagnetитов, концентрация которых в породе во многих случаях велика. С этой целью мы провели сравнение параметров петель гистерезиса и магнитной восприимчивости перемагниченных и неперемагниченных пород. На рис. 7 видно, что исследованные перема-

гниченные и неперемагниченные породы обладают близкими характеристиками магнитной жесткости - как показывают спектры распределений H_c , H_{cr} , породы достаточно жесткие. Величины отношений J_{rs}/J_s и H_{cr}/H_c характерны либо для многодоменных зерен, либо для агрегатов сильно взаимодействующих однодоменных зерен [Бродская и др., 1992]. Так как, все обнаруженные при микрозондовых исследованиях однородные на вид титаномagnetиты претерпели тонкий спиноидальный распад, последний вариант вполне возможен. При близких параметрах магнитной жесткости для оценки концентрации магнитных минералов в породах возможно использование величин магнитной восприимчивости, которая измерялась во всех палеомагнитных образцах. На рис. 8 видно, спектры магнитной восприимчивости образцов перемагниченных и неперемагниченных пород

весьма схожи и никоим образом не свидетельствуют о сильно повышенных концентрациях магнитных минералов в перемагнитных породах. Кроме того, наблюдается четкая корреляция и в перемагнитных и в неперемагнитных породах: чем меньше магнитная восприимчивость образца, тем меньшее количество магнитных зерен обнаруживается в нем при микрозондовых исследованиях (рис. 8). Близкие распределения величин намагниченности насыщения (рис. 7), замеренных для части образцов обсуждаемых палео-магнитных коллекций, еще раз подтверждают вывод о близких концентрациях магнитных минералов в перемагнитных и неперемагнитных породах. Проведенные рассуждения свидетельствуют о том, что намагниченность перемагнитных и неперемагнитных толщ связана с магнетитом, сформировавшимся за счет сгашоидально-го распада зерен титаномагнетитов, которые мы наблюдаем на электронном микроскопе. Следовательно, нет оснований предполагать присутствие вторичных хемогенных магнитных минералов, сформированных после деформаций толщ, приведших к их перемагнитиванию. Этот же вывод поддерживается опубликованными в [Коваленко и Злобин, 1999] данными об едином перемагнитивании в Олюторской зоне и в Малкинском выступе гематитсодержащих (красные яшмы) и магнетитсодержащих островодужных пород.

Последним типом процессов перемагнитивания являются термовязкие процессы, с которыми мы и вынуждены попытаться связать послескладчатую намагниченность островодужных толщ.

Поскольку, аллохтонные комплексы пород, приближенные к Ватынско-Ирунейско-Андриановскому коллизионному шву, вряд ли находились на большой глубине (по крайней мере, не глубже чем удаленные от коллизионного шва неперемагнитные толщи) и, скорее всего, многие из них были выведены на поверхность Земли, то для возникновения необходимой для термовязкого перемагнитивания температуры (не выше 200-250°C) необходимо допустить существование вдоль коллизионного шва долгоживущего источника тепла, прогревающего толщ в течение нескольких миллионов лет.

ВЫВОДЫ

1. Петромагнитные исследования образцов по-зднемеловых и кайнозойских Кроноцкой и Ачай-вям-Валагинской дуг, комплексы пород которых находятся в покровно-складчатой структуре Камчатки и южной Корякии показали, что магнитные минералы этих толщ представлены магнетитом, сформировавшимся при спиоидальном распаде титаномагнетитов. Распад очень тонкий, продукты распада не фиксируются при микрозондовых исследованиях, магнитные зерна выглядят

как гомогенные титаномагнетиты. В толщах Кроноцкой дуги эти "титаномагнетиты" характеризуются высокими содержаниями TiO_2 , беститанистые зерна (чистый магнетит) практически отсутствуют. В породах Ачайвям-Валагинской дуги содержание беститанистых зерен (магнетита) от общего количества исследованных в образцах зерен достигает в среднем 30-50%, в единичных образцах - 70, 90%.

2. Сравнимые содержания безтитанистых зерен в перемагнитных и неперемагнитных туфах Ачайвям-Валагинской дуги свидетельствуют, что процессы, приведшие к формированию повышенных концентраций этих зерен магнетита, вряд ли являются причиной перемагнитивания некоторых толщ этой дуги. Скорее, формирование магнетита произошло на ранних стадиях формирования островодужных толщ за счет каких-то характерных именно для этой дуги низкотемпературных геохимических процессов.

3. Петромагнитное сравнение перемагнитных и неперемагнитных толщ Ачайвям-Валагинской дуги не дало оснований для предположения термального или химического перемагнитивания островодужных толщ. Наиболее вероятно термовязкое перемагнитивание островодужных пород.

4. Если вывод 3 верен, то вдоль простирания Ватынско-Ирунейско-Андриановского коллизионного шва необходимо допустить существование долгоживущего теплового источника, прогревающего толщ в течение нескольких миллионов лет.

Авторы приносят благодарности д. г.-м. н. Д.М. Печерскому, к. г.-м. н. А.К. Гапееву за ценные советы и полезное обсуждение работы, к. г.-м. н. М.Л. Баженову и Н.М. Левашовой за предоставление образцов для петромагнитных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ, проекты № 97-05-64609 и 97-05-64610.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аккреционная тектоника восточной Камчатки. М.: Наука. 1993. 272 с.
- Богданов Н.А., Чеховин В.Д., Сухов А.Н., Вишневская В.С. Тектоника Олюторской зоны // Очерки тектоники Корякского нагорья. М.: Наука. 1982. С. 189-217.
- Богданов Н.А., Вишневская В.С., Кеппежинская У.К. и др. Геология юга Корякского нагорья // М.: Наука. 1987. 168 с.
- Бродская С.Ю., Печерский Д.М., Шаронова З.В., Кузнецов Ю.И., Смирнов Ю.П. Методические рекомендации по изучению петромагнитных и магнитных свойств пород, вскрытых сверхглубокими скважинами. Тверь: Гере. 1992. 85 с.

- Гапеев А.К., Артемова Т. Т. О распаде твердых растворов в системе магнетит-ульвошпинель // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1988. № 12. С. 82-87.
- Коваленко Д.В. Палеомагнетизм палеогеновых комплексов п-ва Ильпинский // Геотектоника. 1992. № 5. С. 78-95.
- Коваленко Д.В. Палеомагнетизм и кинематика центральной части Олюторского хребта (Корякское нагорье) // Геотектоника. 1996. № 3. С. 82-96.
- Коваленко Д.В., Ремизова Л.Л. Палеомагнетизм северо-западной части Олюторской зоны (юг Корякского нагорья) // Физика Земли. 1997. № 7. С. 81-91.
- Коваленко Д.В., Злобин В.Л. О перемагничивании толщ Олюторского террейна // Физика Земли. 1999. № 3. С. 37-51.
- Коваленко Д.В., Ремизова Л.Л., Ярославцева Я.Ю. Палеомагнетизм геологических комплексов Олюторского хребта (юг Корякского нагорья) // Физика Земли. 1999. № 2. С. 34-49.
- Коваленко Д.В. Палеомагнетизм и тектоническая эволюция северо-западного обрамления Командорской котловины (Берингово море) // Геотектоника. 1999. № 3. С. 58-77.
- Коваленко Д.В., Ярославцева Я.Ю., Злобин В.Л. Палеомагнетизм и тектоника о. Карагинский (юг Корякского нагорья) // Геотектоника. 1999. № 2. С. 54-72.
- Коваленко Д.В., Ширяевский Е.В., Левашиова Н.М., Злобин В.Л., Носорев А.В. Палеомагнетизм геологических комплексов Малкинского выступа (Камчатка) // Физика Земли. 2000. № 6.
- Левашиова Н.М., Шатино М.Н. Палеомагнетизм позд-немеловых островодужных комплексов Срединного хребта Камчатки // Тихоокеанская геология, в печати.
- Ногата Т. Магнетизм горных пород. М.: Мир. 1965. 346 с.
- Печерский Д.М., Вагин В.И., Бродская С.Ю., Шаронова З.В. Магнетизм и условия образования изверженных горных пород. М.: Наука. 1975. 287 с.
- Печерский Д.М., Диденко Д.М. Палеоазиатский океан. М. 1995. 297 с.
- Печерский Д.М., Шатино М.Н. Палеомагнетизм верх-немеловых и палеогеновых вулканогенных серий Восточной Камчатки: доказательства абсолютных перемещений древних зон субдукции // Физика Земли. 1996. №2. С. 31-55.
- Савостин Л.А., Хейфец А.Н. Палеомагнетизм мааст-рихт-нижнепалеоценовых островодужных образований Олюторской зоны (южная Корякия) // Палеомагнетизм и аккреционная тектоника. Л.: ВНИГРИ. 1988. С. 127-140.
- Чехович В.Д., Богданов Н.А., Кравченко-Бережной И.Р., Аверина Г.Ю., Гладенков А.Ю., Тильман Q.M. Геология западной части Беринговоморья. М.: ИЛ САН. 1990. 204 с.
- Шатино М.Н. Позднемеловая ачайваям-валагинская вулканическая дуга (Камчатка) и кинематика плит северной пачифики // Геотектоника. 1995. № 1. С. 58-70.
- Levashova N.M., Shapiro M.N., Bazhenov M.L., Lander A.N. Tectonic evolution of Kamchatka: synthesis of geological and paleomagnetic data // 6th Zonenshain conference on plate tectonic. Program and abstracts. Moscow. 1998. IOAN and GEOMAR. P. 234.
- Levashova N.M., Bazhenov M.L., Shapiro M.N. Late Cretaceous paleomagnetism of the East Ranges island arc complex, Kamchatka: Implications for terrane movements and kinematics of the northwest Pacific // Journal of Geophysical Research. 1997. V. 102. NB11. P. 24843-24857.
- Pechersky D.M., Levashova N.M., Shapiro M.N., Bazhenov M.L., Sharonova Z.V. Paleomagnetism of Palaeogene volcanic Series of the Kamchatsky Mys Peniusula, East Kamchatka: the motion of an activa island arc // Tectonophysics. 1997. V. 273. P. 219-237.