

УДК 550.384

СТАБИЛЬНОСТЬ ДРЕВНЕГО МАГНИТНОГО СИГНАЛА В ИНТРУЗИВНЫХ ПОРОДАХ, ОБНАЖЕННЫХ В СОВРЕМЕННОЙ ВОЛНОПРИБОЙНОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Е.П. Кулакова¹, Р.В. Веселовский^{1,2,3}, М.А. Новикова¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва

Поступила в редакцию 11.10.16

Приводятся результаты палеомагнитных исследований образцов из девонских даек Кольского полуострова, обнажающихся в волноприбойной зоне Баренцева и Белого морей. Детальная магнитная чистка проводилась для образцов, взятых с различной глубины от дневной поверхности, чтобы оценить воздействие агрессивного химического и физического выветривания на стабильность древнего магнитного сигнала. Показано, что в 40% случаев в интервале глубин 0–4 см породы содержат вторичную современную компоненту намагниченности, природа которой предполагается нами химической (CRM), а на глубине 4–6 см породы несут первичную компоненту намагниченности. При этом 60% изученных даек характеризуется стабильным древним палеомагнитным сигналом на всем интервале глубин опробования 0–6 см. Полученные результаты дают методическую основу для выбора методики палеомагнитного опробования магматических тел в волноприбойной зоне.

Ключевые слова: палеомагнетизм, волноприбойная зона, выветривание, Кольский полуостров, химическая намагниченность, девон, дайки.

Kulakova E.P., Veselovskiy R.V., Novikova M.A. Stability of natural remanent magnetization in intrusive rocks of modern wave-cut zone of Barents and White seas. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2016. Volume 91, part 4–5. P. 117–122.

Behavior of the NRM in the samples from Devonian alkaline dikes (the Kola Peninsula) outcropped on the wave-cut zones of the Barents and White seas was studied. Detailed magnetic thermal treatment was applied for the drill cores, taken from different depths within the interval 0–6 cm, to study the impact of aggressive physical and chemical weathering on the stability of the primary magnetic record. It is showed, that almost a half of samples from the depths 0–4 cm contains secondary component of NRM (aligned along with present day field) and its chemical nature (CRM) is suggested. At the same time the samples from 4–6 cm of depth yield the primary component NRM. Another half of the samples demonstrates very stable behavior of the paleomagnetic record on all range of the depths from the surface (0–6 cm). Obtained results give methodological basis for choosing the paleomagnetic sampling of the magmatic rocks on the wave-cut zone.

Key words: paleomagnetism, wave-cut zone, weathering, the Kola Peninsula, CRM, Devonian, dykes.

В мировой практике палеомагнитных исследований широко применяются два метода отбора образцов: (1) «ручной», когда при помощи геологического молотка и зубила берутся ориентированные блоки (штуфы) горных пород, и (2) «керновый», подразумевающий использование портативной буровой установки. В палеомагнитном сообществе распространено мнение о том, что керновый метод отбора является более предпочтительным, поскольку позволяет исследовать наименее измененные процессами выветривания разности пород с относительно глубинных уровней — до 8 см, а в ряде случаев и глубже. Однако применение кернового метода не всегда удобно и технически возможно, поэтому при полевых палеомагнитных исследованиях, особенно в нашей стране, до сих пор широко используется

ручной метод отбора палеомагнитных образцов. Наверное, каждый палеомагнитолог хотя бы раз в жизни задавался такими вопросами, как, например: «насколько глубоко необходимо забуриваться при отборе керна?», «а получу ли я искомый результат, если эту дайку опробовать не мини-дриллом, а вручную?». Этими вопросами задались и мы. Не найдя на них прямого ответа в литературе, поставили целью исследовать стабильность и компонентный состав естественной остаточной намагниченности интрузивных горных пород основного состава в зависимости от глубины отбора палеомагнитного образца.

В качестве объектов выбраны девонские дайки баренцевоморского и кандалакшского роев Кольского полуострова (рис. 1), обнажения которых на-

ходятся в пределах литорали или волноприбойной зоны Баренцева и Белого морей соответственно, в условиях агрессивного воздействия химического выветривания.

Методы и объекты исследования

Для проведения эксперимента из шести даек, возраст которых предварительно оценивается как девонский исходя из сходства их внешнего облика и структурного положения с дайками из смежных районов, девонский возраст которых подтвержден изотопно-геохронологическими исследованиями (Арзамасцев и др., 2009; Веселовский и др., 2013), было взято 10 кернов длиной 6–7 см, выбуренных вертикально.

Лабораторные палеомагнитные исследования осуществлялись по стандартной методике (Храмов и др., 1982) в Петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и в лаборатории Главного геомагнитного поля и петромагнетизма ИФЗ РАН. Эксперимент заключался в сравнении палеомагнитных характеристик и петромагнитных свойств образцов, представляющих разные части одного и того же керна, т.е. взятых с разных глубин от поверхности. Для этого с помо-

щью камнерезного станка каждый из 10 отобранных для эксперимента кернов был распилен на пять (образцы 102 и 110) или шесть образцов (образцы 146, 148, 222, 227, 360, 365, 370, 379). Образцы представляли собой цилиндры высотой ~1 см и диаметром 2,4 см. Все образцы были подвергнуты детальной температурной магнитной чистке, которая в ряде случаев выполнялась до температуры 700°C. Число шагов чистки в среднем составило 18. Для терморазмагничивания использовалась немагнитная печь MMTD80 (Magnetic Measurements Ltd., Великобритания), измерения вектора остаточной намагниченности производились на криогенном SQUID-магнитометре (2G Enterprises, США) и выполнялись в немагнитной комнате производства Lodestar Magnetics (США). На каждом шаге чистки производилось измерение магнитной восприимчивости образцов в целях отслеживания магнито-минералогических превращений.

В эксперименте участвовали образцы из трех даек баренцевоморского роя, по два керна из каждой (образцы 102, 110, 146, 148, 222, 227). Петрографически исследованные породы могут быть отнесены к щелочным лампрофирам. В районе Кандалакшского залива Белого моря (Монастырский наволок) было опробовано три дайки, среди которых были

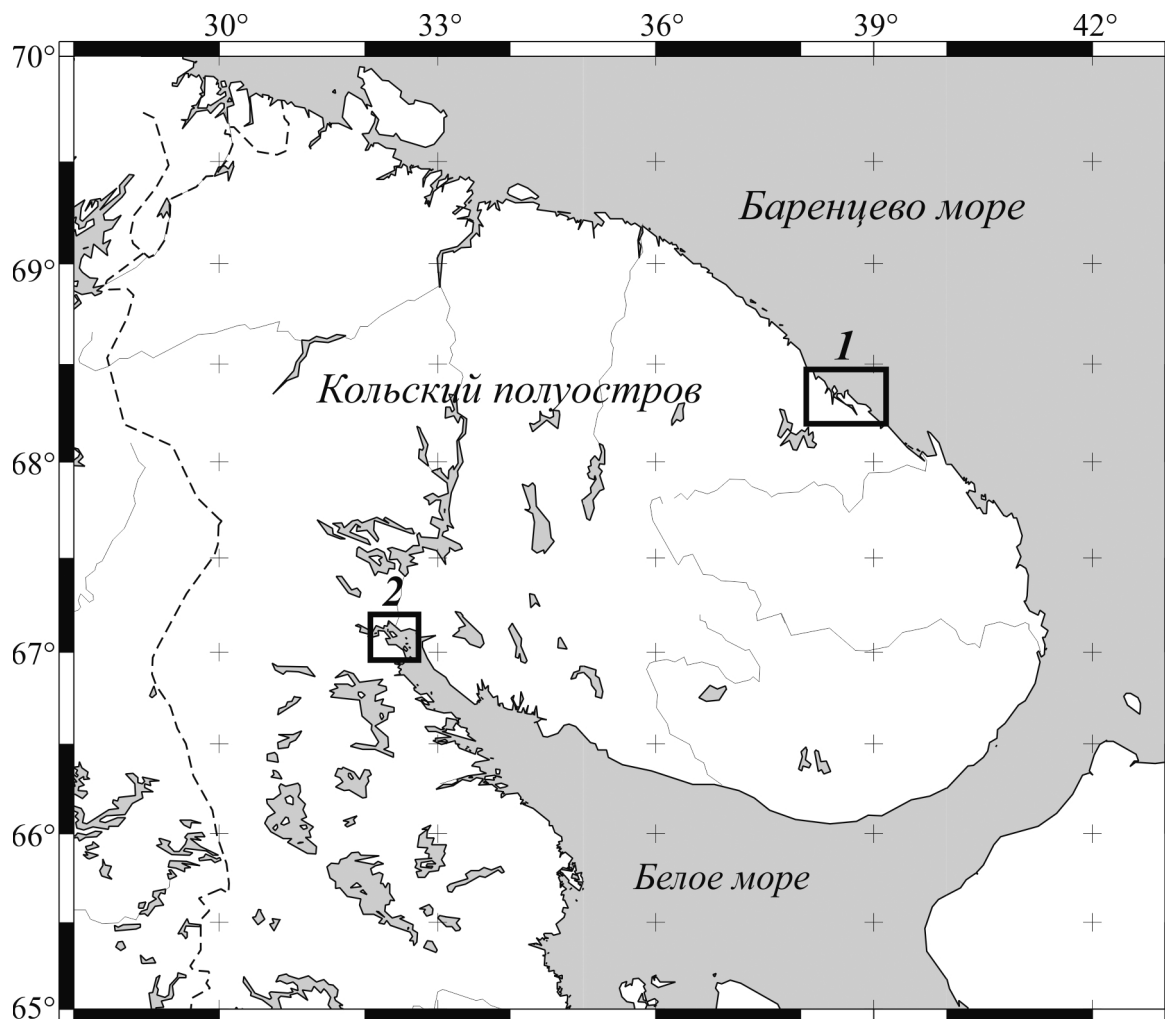


Рис. 1. Районы исследования: 1 – Дроздовская и Ивановская губы Баренцева моря; 2 – Кандалакшский залив Белого моря

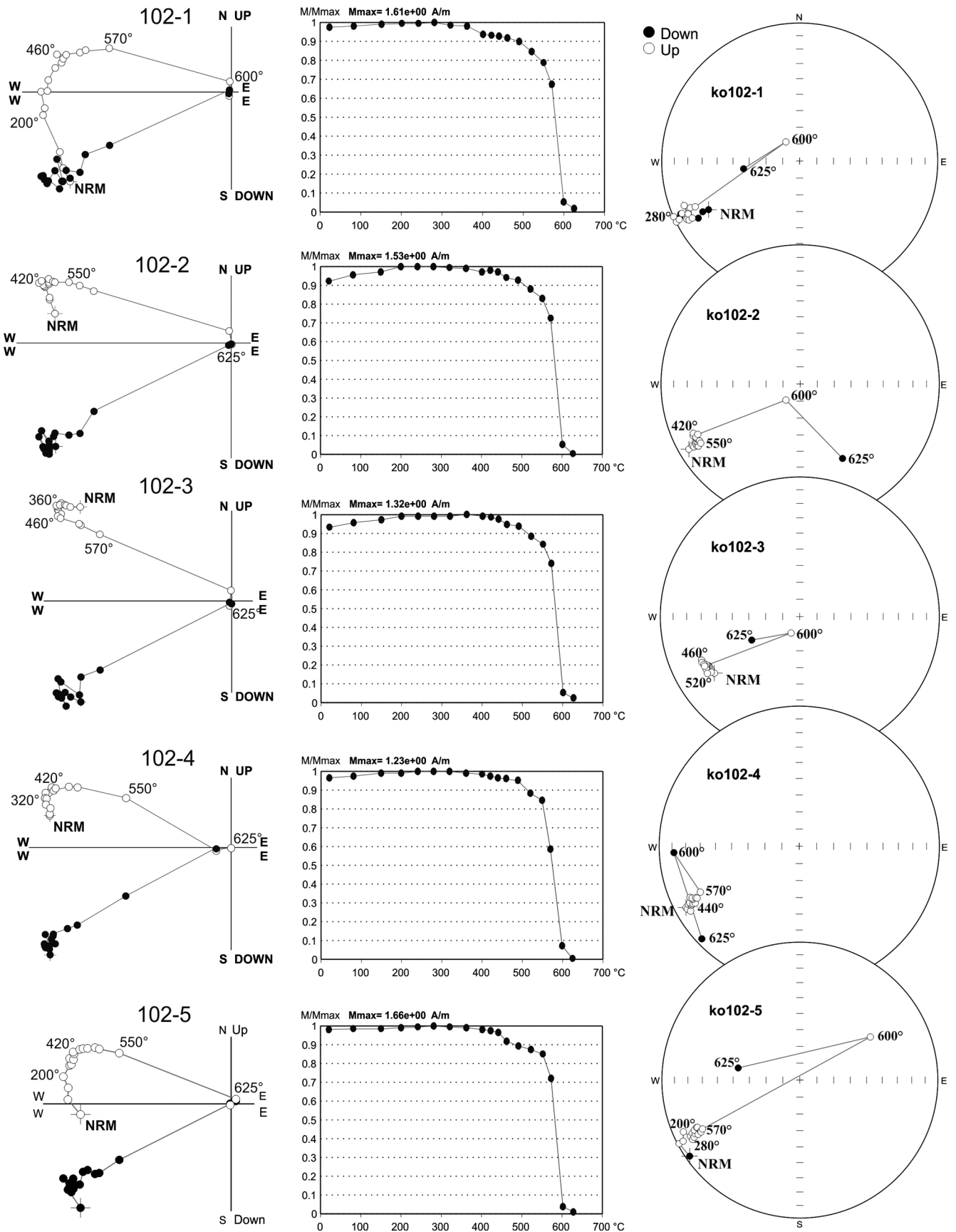


Рис. 2. Диаграммы Зийдвервелда, кривые размагничивания и стереограммы, иллюстрирующие стабильность поведения и компонентного состава вектора естественной остаточной намагниченности в ходе термоочистки образцов, отобранных с разных глубин от поверхности (кern 102). Залитые кружки на диаграммах – проекции вектора на горизонтальную (вертикальную) плоскости; залитые кружки на стереограммах – проекция вектора на нижнюю (верхнюю) полусферу. NRM – естественная остаточная намагниченность при комнатной температуре

встречены щелочные лампрофиры меланефелинитовой серии с большим количеством вкрапленников флогопита (образцы 360 и 365), а также пикриты (образец 370).

Результаты палеомагнитных исследований

Из всех исследованных образцов больше половины (6 из 10) в ходе термоочистки демонстрирует стабильное поведение вектора остаточной намагниченности независимо от положения образцов «внутри» керна (рис. 2), из которого они выпилены; то же касается и зависимости магнитной восприимчивости от температуры нагрева. То есть на примере этих образцов можно утверждать, что методика отбора – портативной буровой установкой или вручную – не влияет на конечный результат.

Однако образцы, выпиленные из четырех кернов (222, 227, 365, 379), представляющих три дайки (одна из баренцевоморского роя и две из кандалакшского роя), говорят об обратном. На рис. 3 представлены стереограммы, иллюстрирующие поведение вектора остаточной намагниченности образцов, взятых с различной глубины (от 0 до 6 см) для керна 222. На рисунке видно, что в наиболее близких к поверхности образцах (222-1, 222-2) в широком температурном диапазоне (200–550°C) преобладает компонента намагниченности, близкая к современной: среднее направление этой компоненты, посчитанное для четырех образцов, в которых она наиболее уверенно выделяется, составляет $D = 338^\circ$, $I = 83^\circ$. В более глубоких, т.е. менее измененных внешними воздействиями образцах (222-3–222-6) появляются круги перемагничивания, которые проходят через среднее направление описанной выше компоненты и ожидаемое для данной дайки девонское палеомагнитное направление (примерно, $D = 245^\circ$, $I = 18^\circ$), следов которого в приповерхностных образцах не наблюдается. Каких-либо изменений, связанных с нагревом образцов в ходе температурной очистки, не происходило, что следует из графиков температурной зависимости магнитной восприимчивости (рис. 4). Кривые подобны, а их сдвиг по значению магнитной восприимчивости может быть связан с неточностью вычисления веса, на который нормировалось значение измеренной магнитной восприимчивости, и/или с неоднородностью распределения магнитных минералов в породе.

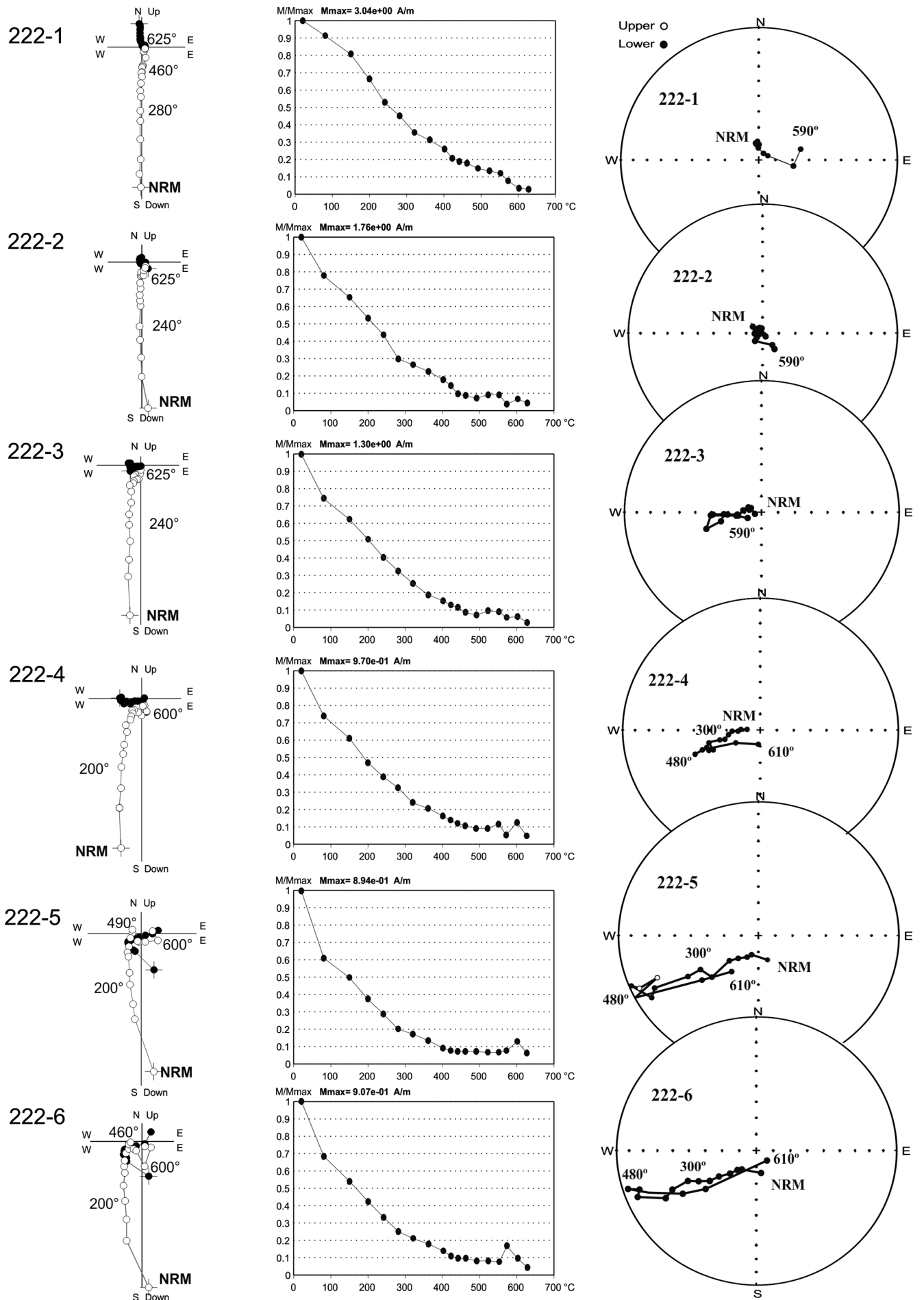
Обсуждение результатов

Таким образом, в ходе температурных магнитных чисток выявлены два возможных варианта поведения вектора естественной остаточной намагни-

ченности в зависимости от глубины отбора образца: (1) отсутствие влияния глубины на поведение и компонентный состав вектора естественной остаточной намагниченности или (2) заметное изменение компонентного состава вектора ЕОН по мере уменьшения глубины отбора. Следует заметить, что подобные варианты описаны в работе (Johnson, Merrill, 1973), с той лишь разницей, что упомянутые варианты реализовывались при разных температурах окисления титаномагнетита. Первый случай имел место при окислении титаномагнетита при температуре ниже 135°C, второй – выше 135°C. Несколько ранее этими же авторами было показано (Johnson, Merrill, 1972), что низкотемпературное окисление стехиометрического магнетита приводит к возникновению в образцах химической компоненты намагниченности (CRM), которая имеет направление поля времени ее формирования, меньшую интенсивность по сравнению с первичной термоостаточной намагниченностью и легко разрушается магнитной очисткой переменным полем.

В нашем случае наблюдаемое различие в компонентном составе вектора ЕОН относительно более и менее измененных образцов также логично связывать с низкотемпературным окислением титаномагнетита в зоне гипергенеза. Поскольку все образцы полностью размагничиваются при нагреве до температуры не выше 625°C, это позволяет исключить наличие в исходных образцах сколько-нибудь заметного количества гематита, т.е. окисление происходило с образованием титаномагнетита. Ответ на вопрос, почему в одних случаях древняя (девонская) компонента намагниченности уверенно диагностируется в образцах, отобранных с любой глубины, а в других – «затушевывается» современной компонентой при приближении к дневной поверхности, кроется, по всей видимости, в составе магнитных минералов и их количестве. Так, основным магнитным минералом дайки, из которой выбурен керн 102 (рис. 2), является практически «чистый» магнетит, о чем свидетельствуют термокривые, параметры петли гистерезиса и результаты микронзондового анализа. В то же время образец 222 (рис. 3) содержит малое количество титаномагнетита, температура Кюри которого около 400–500°C. В первом случае химическая намагниченность титаномагнетита намного слабее термоостаточной намагниченности магнетита, а во втором случае CRM образованного при низкотемпературном приповерхностном окислении титаномагнетита больше исходной TRM. О том, что это именно химическая намагниченность, а не вязкая, можно судить по ее стабильности в ходе температурной очистки: тем-

Рис. 3. Диаграммы Зийдервельда, кривые размагничивания и стереограммы, иллюстрирующие изменение поведения и компонентного состава вектора естественной остаточной намагниченности в ходе термоочистки образцов, отобранных с разных глубин от поверхности (керн 222). Залитые кружки на диаграммах – проекции вектора на горизонтальную (вертикальную) плоскости: залитые кружки на стереограммах – проекция вектора на нижнюю (верхнюю) полусферу. NRM – естественная остаточная намагниченность при комнатной температуре



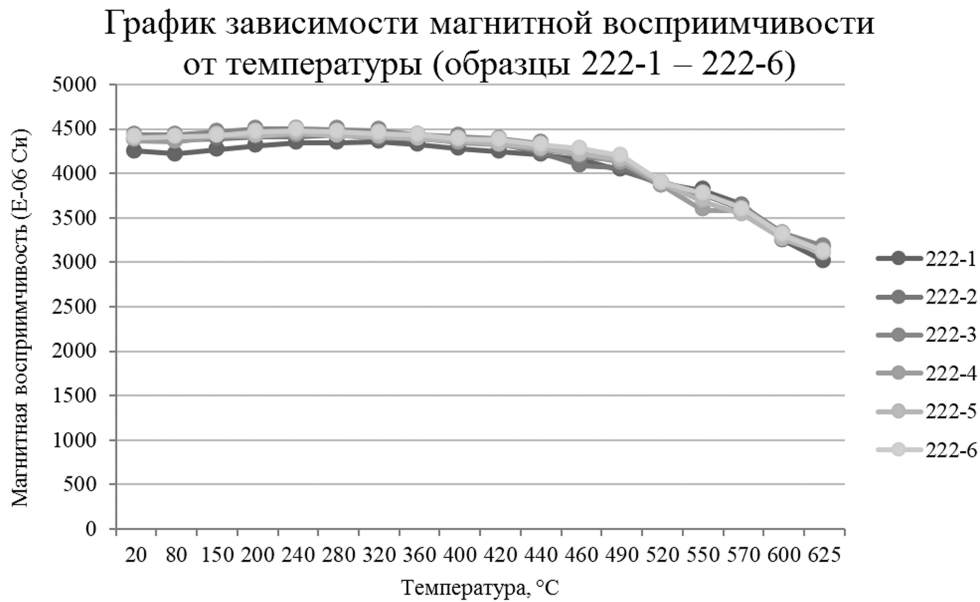


Рис. 4. График зависимости нормированной на массу магнитной восприимчивости образцов керна 222 от шага температурной чистки

пература разблокирования соответствующей компоненты намагниченности на глубинах 1–3 см достигает 590°C.

Заключение

К сожалению, ограниченное количество материала не позволило выполнить более или менее полный спектр необходимых палео- и петромагнитных экспериментов для рассмотренных образцов, что определяет рекогносцировочный характер настоящего исследования и позволяет сформулировать задачи для дальнейших работ. Тем не менее уже на данной стадии можно сделать следующий практический вывод: отбор образцов для палеомагнитных исследований из объектов, находящихся в зоне гипергенеза, в том числе на морских побережьях, желательно проводить из наименее выветрелых

пород, т.е. методика отбора образцов при помощи мини-дрилла является приоритетной. Наш опыт показал, что более глубокие (4–6 см от дневной поверхности) части керна лучше сохраняют древний палеомагнитный сигнал и в меньшей степени подвержены низкотемпературному окислению титаномagnetита, которое способствует образованию современной намагниченности химической природы. Очевидно, что данный вывод в разной степени применим для каждого конкретного объекта, однако он поднимает вопрос о необходимости проверки стабильности палеомагнитного сигнала в породах при отборе палеомагнитных коллекций в прибрежно-морских условиях.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФ, проект 16-17-10260, РФФИ, проект 15-35-20599, и гранта 14.Z50.31.0017 Правительства РФ.

ЛИТЕРАТУРА

Арзамасцев А.А., Федотов Ж.А., Арзамасцева Л.В. Дайковый магматизм северо-восточной части Балтийского щита. СПб.: Наука, 2009. 383 с.

Веселовский Р.В., Арзамасцев А.А., Демина Л.И. и др. Палеомагнетизм, геохронология и магнитная минералогия даек Кольской девонской магматической провинции // Физика Земли. 2013. № 4. С. 82–104.

Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А. и др. Палеомагнитология. Л.: Недра, 1982. 312 с.

Johnson H.P., Merrill R.T. Magnetic and mineralogical changes associated with low-temperature oxidation of magnetite // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77. P. 334–341.

Johnson H.P., Merrill R.T. Low-temperature oxidation of a titanomagnetite and the implications for paleomagnetism // J. Geophys. Res. 1973. Vol. 78. P. 4938–4949.

Сведения об авторах: Кулакова Екатерина Петровна – магистрант каф. динамической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: liverpool.town.uk@gmail.com; Веселовский Роман Витальевич – канд. геол.-минерал. наук, доцент каф. динамической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: roman.veselovskiy@ya.ru; Новикова Мария Алексеевна – ст. науч. сотр. каф. динамической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, e-mail: mari_1989@mail.ru