

УДК 538.7+550.382.3

ВЛИЯНИЕ СДВИГОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОД ПОВЫШЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОДВОДНЫХ БАЗАЛЬТОВ

С. С. Абсалямов

(кафедра физики Земли)

E-mail: absalyamovss@bsu.bashedu.ru

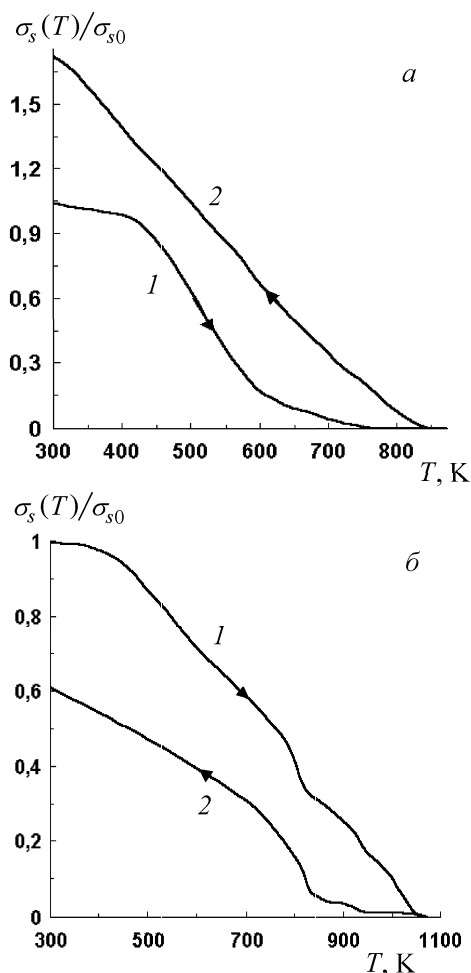
Обработка сдвиговым воздействием под повышенным давлением (ВД + СД) подводных базальтов приводит к изменению характера температурной зависимости намагниченности насыщения, а также к увеличению интенсивности окисления содержащихся в них титаномагнетитов. Образование в результате обработки в условиях ВД + СД сильно деформированных участков с высокой плотностью дислокаций в ферромагнитных включениях приводит к фазовой неустойчивости оксидов железа.

Исследованиями магнитных свойств базальтов последних лет установлено, что изменения содержащихся в них титаномагнетитов, соответствующих различным стадиям окисления, определяются не только возрастом изученных пород, но и механическими напряжениями в океанической коре. Например, в работе [1] установлено, что базальт, имеющий возраст 4 млн лет, содержит титаномагнетит, находящийся на первой стадии низкотемпературного окисления. В то же время более молодые базальты с возрастом 1.5 млн лет, отобранные в зонах, непосредственно примыкающих к тектоническим нарушениям и находящихся в условиях одновременного действия литостатических и стрессовых напряжений, содержат гетерофазно окисленные титаномагнетиты. В другой работе [2] установлено, что магнитные свойства и микроструктура глубинных пород из зоны дислокационного метаморфизма Кольской сверхглубокой скважины определяются интенсивностью действовавших стрессовых давлений. Разрушение остаточной намагниченности насыщения, термоостаточной намагниченности и образование пьезоостаточной намагниченности горных пород в условиях сдвигового воздействия под повышенным квазивесосторонним давлением (ВД + СД) происходит значительно интенсивнее по сравнению с действием одного лишь давления [3]. Обработка в условиях ВД + СД приводит не только к изменениям структурно-чувствительных магнитных параметров минералов, но и к необратимому уменьшению такой фундаментальной характеристики как намагниченность насыщения с одновременным изменением характера ее температурной зависимости [4]. В настоящее время магнитные свойства подводных базальтов в условиях ВД + СД практически не изучены (кроме работ [5, 6]), хотя тектоническая активность и результаты глубокого бурения, сейсмопрофилирования, а также измерения реальных напряжений показывают, что подводные базальты океанической коры находятся в сложном поле механических напряжений с преобладанием касательных. В данной работе

приведены результаты изучения температурной зависимости намагниченности насыщения подводных базальтов Красного моря (в дальнейшем базальтов) после их обработки в условиях ВД + СД. Базальты отобраны из осевой зоны Красноморского рифта при помощи подводного аппарата «Пайсис». Образцы базальтов были представлены нам участником рейса НИС «Академик Курчатов» 1980 г. проф. В. И. Трухиным.

Воздействие на горную породу давления, определяемого весом вышележащих толщ, и повышенных стрессовых напряжений, вызванного тектоническими движениями, в лабораторных условиях смоделировано на установке Бриджмена [7]. Обработка горных пород в условиях ВД + СД производилась по схеме $P^+ \sigma^+ \sigma^- P^+$, где знак «+» означает приложение давления или начало сдвигового воздействия σ , а знак «-» означает снятие давления или окончание сдвигового воздействия.

На рисунке, *a* представлены кривые температурной зависимости намагниченности насыщения базальта (образец П-68-4) в исходном состоянии. По вертикальной оси приведена величина относительного изменения намагниченности насыщения $\sigma_S(T)/\sigma_{S0}$, где $\sigma_S(T)$ означает величину намагниченности насыщения при повышенной температуре (T), а σ_{S0} — при комнатной температуре. Кривые $\sigma_S(T)/\sigma_{S0}$, снятые в процессе нагревания (кривая 1) и остывания (кривая 2), не совпадают. Точка Кюри, определенная по кривой 1, составляет 630 К. Кривая остывания идет выше кривой нагревания. При понижении температуры с 850 К величина намагниченности насыщения монотонно возрастает и при комнатной температуре она становится в 1.7 раза больше значения σ_{S0} образца в исходном состоянии. Таким образом, кривые $\sigma_S(T)/\sigma_{S0}$ базальтов являются типичными для наиболее распространенного первичного магнитного минерала пород океанической коры — титаномагнетита, при нагреве которого в воздухе происходит его окисление с образованием ильменита и магнетита.



Температурная зависимость намагниченности насыщения подводного базальта Красного моря: (а) в исходном состоянии; (б) после сдвигового воздействия под повышенным квазивиосторонним давлением ($P = 600$ МПа, $\alpha = 720^\circ$): 1 — кривая нагрева, 2 — кривая охлаждения

На рисунке, б представлены кривые $\sigma_s(T)/\sigma_{s0}$ образцов базальтов после обработки их при комнатной температуре в воздухе в условиях ВД + СД ($P = 600$ МПа, угол поворота наковальни 720°). Образцы базальтов перед испытанием, находившиеся в исходном состоянии, имели форму диска с диаметром 10 мм и высотой 1 мм. В процессе обработки их в условиях ВД + СД наблюдается интенсивное раздробление. Для снятия кривой зависимости $\sigma_s(T)/\sigma_{s0}$ использованы автоматические магнитные микровесы [8]. Порошок базальтов, помещенный в кварцевую ампулу, находится в магнитном поле напряженностью 240 кА/м. Сравнение кривых $\sigma_s(T)/\sigma_{s0}$, представленных на рисунке, показывают, что они отличаются. В первую очередь следует отметить, что кривая охлаждения после обработки в условиях ВД + СД идет ниже кривой нагрева. При нагревании величина $\sigma_s(T)/\sigma_{s0}$ до 400 К остается практически постоянной. Далее в интервале от 400–780 К она монотонно уменьшается. Первая ступенька на кривой нагрева наблюдается в интервале температур 780–825 К, а вторая — 920–950 К. Окончательное исчезновение σ_s происходит только

при 1043 К. На кривой охлаждения выделяются две ступеньки в интервалах температур 800–850 К, 920–950 К.

Из приведенных экспериментальных результатов видно, что температурные зависимости намагниченности насыщения образцов базальтов в исходном состоянии и после обработки в условиях ВД + СД существенно различаются. В частности, на кривой нагрева в интервале температур 780–825 К, 920–950 К появляются две ступеньки и окончательное исчезновение σ_s происходит только при 1043 К. Такое изменение характера кривой температурной зависимости намагниченности насыщения должно быть связано с наличием новых магнитоупорядоченных фаз с большими значениями точек Кюри. Анализ хода кривой $\sigma_s(T)/\sigma_{s0}$, записанной при остывании образца, указывает на то, что он содержит магнетит, гематит и железо. Это следует из того, что температуры, соответствующие ступенькам на кривой нагрева и температуре исчезновения намагниченности насыщения, близки к величинам точек Кюри.

Возникает вопрос: почему при нагревании на воздухе в образце подводного базальта, подвергнутого обработке в условиях ВД + СД, выделяется железо. В процессе сдвигового воздействия под повышенным квазивиосторонним давлением происходит интенсивное раздробление базальтов. Дробление и разрушение образцов базальтов в свою очередь приводит к уменьшению размеров содержащихся в них ферромагнитных включений. Поэтому одной из причин восстановления атомов железа, по-видимому, является то, что базальты после воздействия ВД + СД обладают развитой поверхностью. Увеличение свободной поверхности приводит к увеличению интенсивности окисления мелких частиц титаномагнетита с образованием магнетита и ильменита при нагреве их в воздухе. В то же время обработка в условиях ВД + СД одновременно с процессом раздробления образцов приводит к созданию в частицах сильно деформированных участков с высокой плотностью дислокаций [4]. Поэтому химическая неустойчивость оксидов железа на таких участках частиц должна быть вызвана особенностями самой структуры, поскольку такая структура характеризуется значительной объемной долей в частице участков с высокой плотностью дислокаций. Известно [10], что коэффициент диффузии на таких участках на несколько порядков превышает коэффициент диффузии исходного образца. Из-за искажения кристаллической решетки в этих областях частиц с высокой плотностью дислокаций среднее расстояние между атомами также увеличивается. Увеличение расстояния между атомами приводит к затруднению удержания атомами железа атомов кислорода на участках, насыщенных дислокациями и подверженных сильным внутренним напряжениям. По-видимому, именно эти обстоятельства

приводят к облегчению диффузии атомов кислорода, уменьшению энергии связи между атомами кислорода, железа и частичному восстановлению наиболее мелких частиц (< 1 мкм) магнетита до вюститита ($2\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow 6\text{FeO} + \text{O}_2$) и затем до железа ($2\text{FeO} \rightarrow \alpha\text{-Fe} + \text{O}_2$).

Таким образом, обработка подводных базальтов сдвиговым воздействием под повышенным квазивсесторонним давлением приводит к изменению характера температурной зависимости намагниченности насыщения. Установлено, что уменьшение размеров ферромагнитных включений базальтов в результате раздробления их в процессе обработки в условиях ВД + СД, с одной стороны, способствует при нагреве на воздухе увеличению интенсивности окисления титаномагнетита с образованием магнетита и ильменита. С другой стороны, образование в результате обработки в условиях ВД + СД сильно деформированных участков с высокой плотностью дислокаций в частицах приводит к фазовой неустойчивости оксидов железа на этих участках с частичным восстановлением их до железа.

Литература

1. Трухин В.И., Багин В.И., Жилыева В.А. и др. // Физика Земли. 2000. № 6. С. 26.
2. Глухих И.И., Шерендо Т.А., Шерстобитова Л.А., Смирнов Ю.П. // Матер. IV Всесоюзного съезда по геомагнетизму. 7–8 октября 1991. Владимир–Суздаль. Ч. III. С. 83.
3. Валеев К.А., Абсалямов С.С. // Физика Земли. 2000. № 3. С. 59.
4. Абсалямов С.С. // Там же. № 2. С. 51.
5. Абсалямов С.С., Гареева М.Я. // Матер. XVIII международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники». 24–28 июня 2002. Москва. С. 611.
6. Максимова В.И. // Там же. С. 547.
7. Бриджмен П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. М., 1955.
8. Мулюков Х.Я., Шарипов И.З., Абсалямов С.С. // Приб. и техн. эксперимента. 1998. № 3. С. 149.
9. Абсалямов С.С., Мулюков Х.Я. // Докл. РАН. 2000. 375, № 4. С. 469.
10. Gleiter H. // Nanostruct. Mater. 1992. No. 1. P. 1.

Поступила в редакцию
29.01.03

АСТРОНОМИЯ

УДК 537.591.5

ПРОТОНЫ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ И ИХ СВЯЗЬ С ИСТОЧНИКАМИ

И. В. Гецелев, В. П. Охлопков, Е. А. Чучков

(НИИЯФ)

E-mail: okhlopkov@tasped.sinp.msu.ru

По данным наземных и спутниковых измерений в 1956–2001 гг. рассчитаны суммарные за цикл солнечной активности (СА) флюенсы протонов солнечных космических лучей (СКЛ) с энергией более 30 МэВ для каждого десятиградусного интервала гелиодолгот в диапазоне $E90^\circ - W150^\circ$ от центрального меридиана. Отмечена существенная неравномерность распределения СКЛ по гелиодолготе. Рассмотрены особенности этого распределения.

Вводные замечания и используемые данные

Для изучения процессов генерации и распространения СКЛ в межпланетном пространстве, а также для различных прикладных целей весьма полезным является сопоставление результатов анализа их различных характеристик с расположением областей инжекции солнечных протонных событий (СПС) на Солнце. В предлагаемой работе для 19–23 циклов СА рассматривается зависимость суммарного за цикл СА флюенса протонов СКЛ от гелиодолготы их источника. Привязка к источникам частиц СКЛ сложна и трудоемка, и к настоящему времени отработаны достаточно корректные методические подходы, которые использовались в различных каталогах [1–4], Solar-Geophysical Data (USA, Boulder, Colo-

rado), интернете [5]. Для наших целей мы брали эти данные из каталогов [1–5].

С целью получения необходимых для этого исследования исходных данных был выполнен анализ имеющихся к настоящему времени сведений по СКЛ, охватывающих период с 1956 по 2001 г. Наиболее полным и почти непрерывным оказался ряд данных по солнечным протонам с энергией более 30 МэВ [6–8]. Следует отметить некоторую неоднородность этих сведений. Данные по 19-му циклу получены на основе результатов косвенных измерений потоков протонов с помощью риометров или аппаратуры, установленной на шарах-зондах. В 20-м цикле СА появились более надежные спутниковые измерения. К недостаткам следует отнести использование различной регистрирующей аппаратуры и то, что в не-