

УДК 550.382.3

МАГНЕТИЗМ ГОРНЫХ ПОРОД ЗЕМНОЙ КОРЫ И ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ

В. И. Трухин, В. И. Максимочкин

(кафедра физики Земли)

E-mail: maxvi@mail.ru

Обсуждаются новые подходы к исследованию истории геомагнитного поля, палеомагнетизма пород, а также к глобальным особенностям намагничивания горных пород и их связи с особенностями эволюции Земли. Предлагается метод решения вопроса о существовании инверсий или их отсутствии путем исследования явления самообращения в горных породах.

В состав горных пород входят пара-, диа- и ферримагнитные минералы. Последние являются наиболее сильномагнитными и в основном определяют магнетизм пород. Наиболее сильномагнитными породами являются породы магматического происхождения. Они намагничиваются геомагнитным полем (ГМП) во время своего образования на поверхности Земли.

Намагниченные породы являются источником аномального геомагнитного поля (АГМП). АГМП несет информацию о месторождениях различных полезных ископаемых — от железных руд до алмазонасных кимберлитов. Геомагнитные аномалии могут быть как положительными (по направлению ГМП), так и отрицательными (против направления ГМП). При этом их источниками являются соответственно прямо- (по ГМП) и обратно- (против ГМП) намагниченные магматические горные породы. Откуда берутся обратномагниченные горные породы? В середине XX в. в результате палеомагнитных исследований было установлено [1], что существует определенная зависимость слоев прямо и обратномагниченных пород от их геологического возраста в течение последних 400–600 млн лет. Что самое существенное, так это то, что возрастные зависимости прямо- и обратно- намагниченных слоев пород являются одинаковыми для пород разных континентов и дна океана (рис. 1). Было выдвинуто предположение: изменение направлений намагниченности горных пород обусловлено соответствующим изменением (инверсией) полярности ГМП. Инверсий непосредственно никто не мог наблюдать, так как последняя инверсия произошла 780 тыс. лет назад. Продолжительность процесса инверсии ГМП составляет около 5 тыс. лет.

Но природа не так просто открывает свои тайны. Вскоре после открытия инверсий было обнаружено, что в лабораторных условиях некоторые образцы горных пород самопроизвольно, без изменения направления намагничивающего поля H , изменяют направление намагниченности на противоположное

по отношению к H [2]. Это явление было названо самообращением намагниченности. Происходит ли самообращение в природе — трудно сказать. Точно так же после открытия самообращения трудно сказать, существуют ли инверсии в реальности.

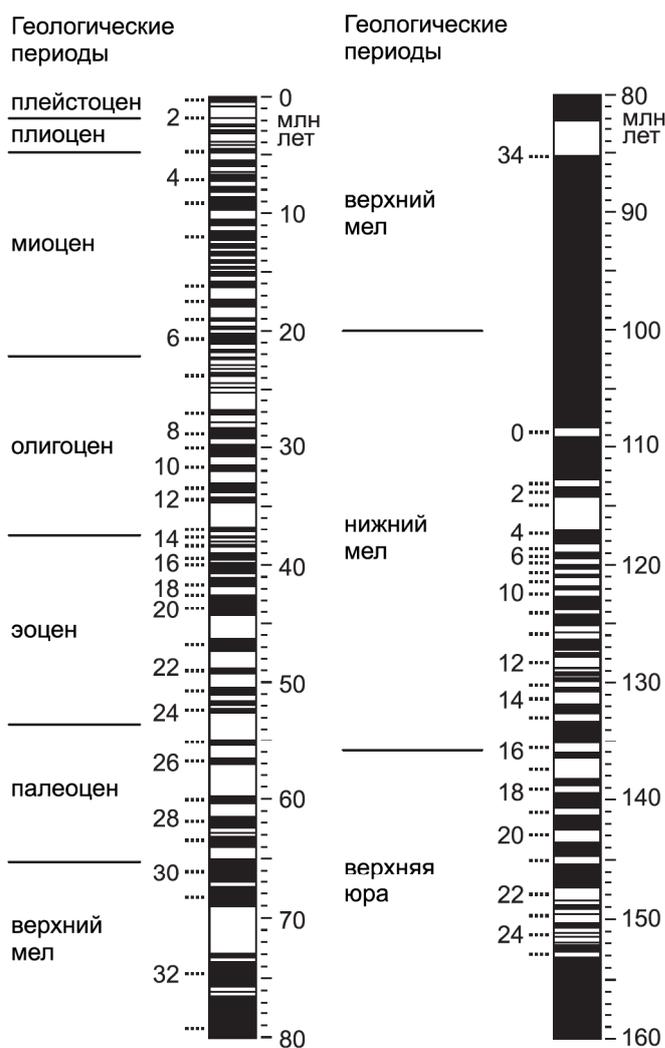


Рис. 1. Глобальная магнитохронологическая шкала инверсий геомагнитного поля

Все доказательства существования инверсий носят косвенный характер, так как они основаны на данных о намагниченности пород.

Итак, возможны два альтернативных механизма обратного намагничивания горных пород: 1) геомагнитное поле обратной полярности, возникающее в результате инверсии, и 2) самообращение естественной остаточной намагниченности (NRM), изменяющее направление NRM.

Оба механизма должны быть глобальными, так как временные последовательности слоев прямо- и обратномагнитных пород на всем Земном шаре одинаковы. А это означает, что они должны быть связаны с какими-то особенностями эволюции Земли. Например, самообращение может контролироваться изменением напряженности ГМП: при более низких величинах напряженности самообращение более вероятно.

Нами при поддержке РФФИ в течение 15 лет проводились обширные исследования особенностей намагничивания горных пород, в том числе процесса самообращения намагниченности [3–9].

Инверсии, если они реально существовали, могли существенно влиять на эволюционные процессы на Земле. Известно, что само геомагнитное поле оказывает существенное влияние на природу и на живые организмы. В последнее время было убедительно доказано [10], что у различных организмов — от бактерий до позвоночных — выявляются поведенческие реакции на изменения ГМП. Это свидетельствует о том, что ГМП является существенным компонентом среды обитания. Все это в полной мере относится и к человеку. Люди реагируют на изменение магнитной активности, многие люди очень чувствительны к магнитным бурям. Вообще, магнитное поле Земли имеет огромное экологическое значение. Более того, оно делает возможным саму жизнь на Земле. Последнее связано с тем, что ГМП образует магнитосферу Земли (рис. 2), которая является природным барьером на пути солнечного ветра и космической радиации.

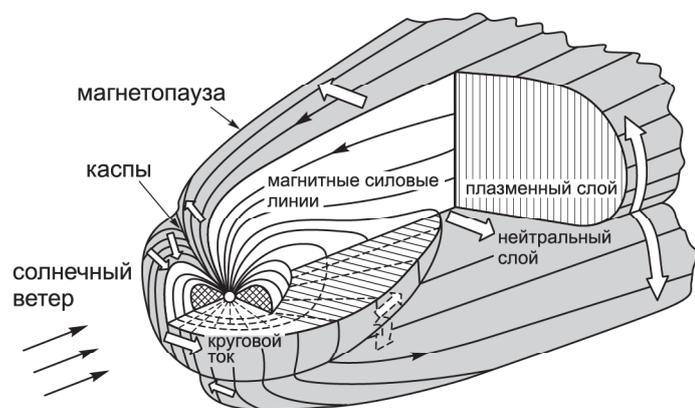


Рис. 2. Магнитосфера Земли

Итак, именно ГМП является одним из обязательных условий существования и развития жизни на Земле. Более того, жизнь на Земле могла возникнуть только после дифференциации вещества Земли, возникновения ядра и соответственно ГМП. До появления магнитного поля поверхность Земли подвергалась непрерывному воздействию «стерилизации» космической радиации, которая препятствовала началу биогенеза.

Понятно, что во время инверсий (рис. 3) (приблизительно 5000 лет) магнитосфера будет частично или полностью разрушена, и это приведет к частичному или полному уничтожению жизни и сильному воздействию на природу Земли.

Все изложенное позволяет сделать вывод, что инверсии ГМП могут существенно влиять на эволюцию Земли, и поэтому необходимо установить, существуют ли они в действительности.

Что касается самообращения — альтернативного механизма обратного намагничивания горных пород, — то в этом случае также должны были проходить синхронные глобальные процессы. Поэтому и процесс самообращения должен быть связан с особенностями эволюции ГМП и соответственно Земли.

Таким образом, у нас есть лишь один метод исследования природы обратной намагниченности (будь она связана с инверсиями ГМП или с самообращениями NRM) — это метод детального исследования процессов намагничивания горных пород, магнитных свойств горных пород и ферромагнитных минералов.

Необходимо также изучать взаимосвязь процессов намагничивания в природе с конкретными pT -условиями, в которых *in situ* находятся намагниченные породы, с глобальными геофизическими процессами, происходящими в природе (движение литосферных плит, землетрясения, изменения климата и т. п.). И, конечно, основное внимание надо уделять всестороннему изучению процесса самообращения намагниченности.

Нами в период с 1993 по 2007 г. путем изучения магнитных свойств подводных базальтов и АГМП были исследованы особенности образования и эволюции сложнопостроенных участков Атлантического океана и Красного моря.

В 1993–1996 гг. в результате исследования магнитных свойств пород подводной горы Жозефин (Центральная Атлантика) было установлено, что входящие в состав океанских пород более ранние по сравнению с возрастом горы кристаллические фазы (хромшпинелиды), относящиеся к высокобарным минералам, свидетельствуют о повышенных термодинамических условиях в магматическом очаге [3].

На основе исследования магнитных свойств ферробазальтов Исландии и траппов Якутии была установлена близость глубинных условий их генезиса. При исследовании ферробазальтов были обнаруже-

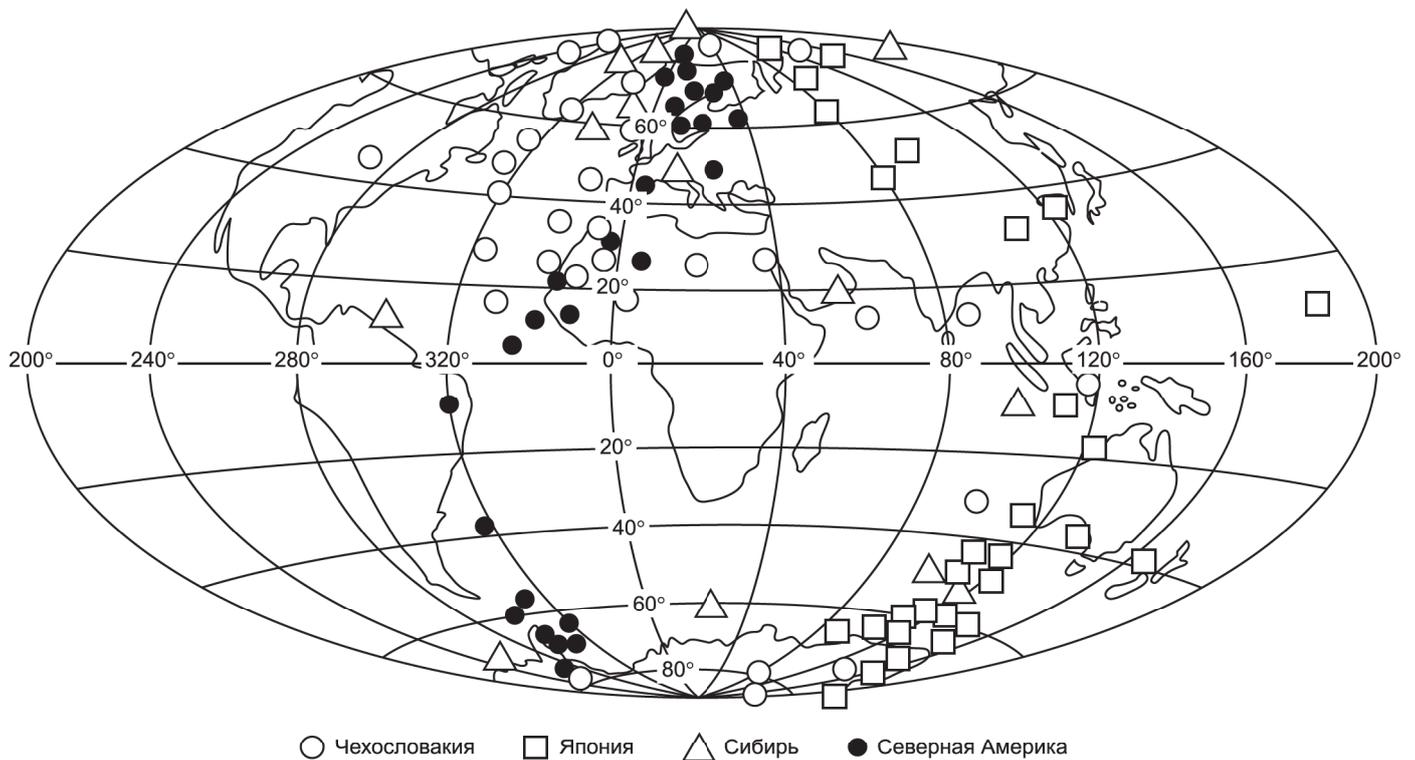


Рис. 3. Инверсия геомагнитного поля в эпоху Матуйяма–Брюнес по данным из Чехословакии, Японии и Америки

ны признаки самообращения естественной остаточной намагниченности [4].

В 1997–2001 гг. был исследован магнетизм восточного звена срединного Америко-Антарктического хребта: исследовано АГМП судном «Геленджик», проведены детальные магнито-минералогические исследования базальтов дна на драгированных образцах. Сделан вывод, что осевая зона хребта находится в состоянии «голодающего рифта» и превращается в сложнодеформированную структуру депрессии. Оценены глубины первичных магматических очагов, питающих хребты Шписс и Буве. При проведении лабораторных исследований в некоторых образцах базальтов также было обнаружено самообращение термонамагниченности, что может быть причиной обратной компоненты NRM [5].

На основе изучения магнитных свойств базальтов дна в районе трансформного разлома Романш и аномального геомагнитного поля установлены особенности эволюции земной коры в Экваториальной Атлантике, заключающиеся в том, что смещение соседних блоков трансформного разлома происходит не только вдоль, но и ортогонально их простиранию с образованием «виртуальной оси» спрединга [6]. Здесь были рассмотрены различные модели ГМП, которые используются при исследовании глобальных геофизических процессов. Большое внимание уделено проблеме самообращения. Среди коллекции пород разлома Романш также были обнаружены образцы, на которых наблюдалось самообращение термоостаточной намагниченности [7]. Рассмотрены

возможности совершенствования геофизических интерпретаций палеомагнитных данных.

Исследования магнетизма базальтов рифтовой зоны юга Красного моря, проведенные в 2005–2007 гг., позволили сделать вывод о сложном характере эволюции земной коры в этом регионе. Было установлено, что формирование горных пород в рифтовой зоне характеризуется неодновременностью магмоизвержения, повышенными тектоническими напряжениями и вторичными разогревами на некоторых участках зоны, что привело к сложности и неоднородности магнитных свойств исследованных базальтов, нехарактерных для базальтов срединно-океанических хребтов. В частности, были выявлены участки (нетрансформные смещения), где породы в особенно сильной степени были подвергнуты тектоническим воздействиям [8].

Одним из наиболее существенных достижений является установление механизма самообращения термонамагниченности (TRM) в лабораторных условиях. Теоретически Неелем показано, что возможны два принципиально различных механизма самообращения — в двухфазной и однофазной минералогических системах [11]. Нами исследовались заведомо однофазные, синтезированные в Институте экспериментальной минералогии гемойльмениты [9]. Они показали те же закономерности самообращения, что и исследованные нами образцы континентальных и океанических горных пород. Неель показал, что магнитные подрешетки ферримагнетиков могут иметь различные зависимости спонтанной намагни-

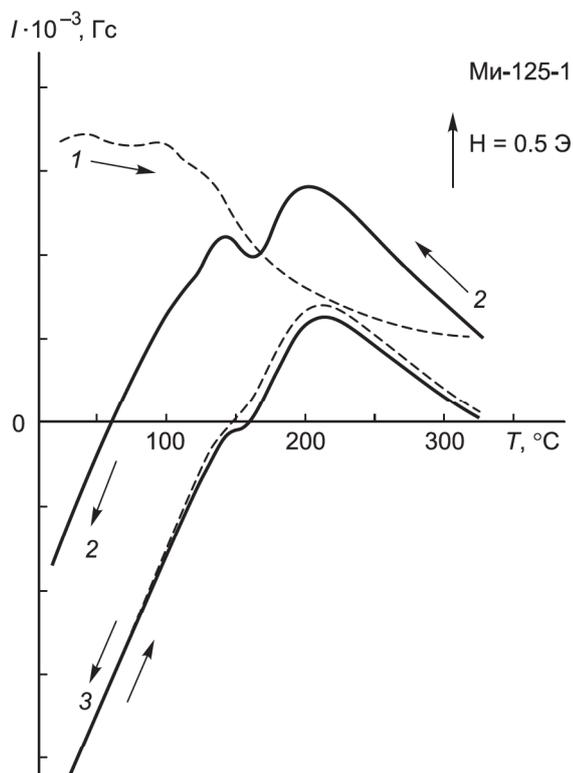


Рис. 4. Изменение намагниченности образца при нагреве в поле $H = 0.5 \text{ Э}$ (1), самообращение полной (2) и остаточной (3) термонамагниченности при охлаждении образца горной породы от 350°C

ченности от температуры, в том числе такие, при которых в некоторой точке компенсации T_{comp} происходит смена знака спонтанной намагниченности ферромагнетика, что и приводит, как было показано нами, к смене знака TRM (рис. 4). Процесс самообращения происходит в слабых магнитных полях и зависит от соотношения напряженности поля H и коэрцитивной силы H_c . При $H > H_c$ самообращение не происходит, оно происходит при $H < H_c$

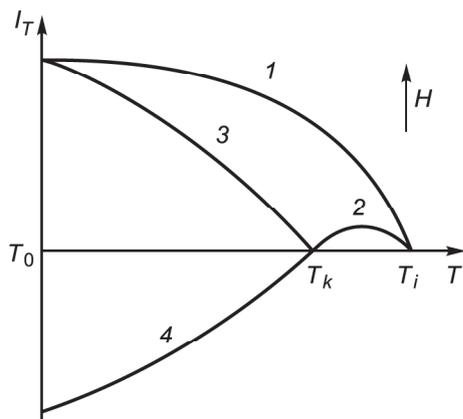


Рис. 5. Схема процесса термонамагничивания ферромагнетика в отсутствие точки компенсации (кривая 1) и при наличии точки компенсации, когда коэрцитивная сила H_c меньше, чем внешнее поле H (кривые 1, 3), и когда $H_c > H$ (кривые 2, 4)

(рис. 5). Таким образом, изменение напряженности ГМП может глобально контролировать процесс самообращения.

Результаты исследований авторов по данной тематике отражены в более чем двадцати статьях в реферируемых журналах, в том числе в журнале «Успехи физических наук» [12], и вошли в коллективную монографию [13]. Большая часть экспериментальных исследований магнитных свойств океанских пород, а также исследование явления самообращения намагниченности были выполнены с использованием современной высокочувствительной магнитометрической аппаратуры, в том числе на разработанном в нашей лаборатории вибрационном термомагнитометре ВМА-1 (рис. 6).



Рис. 6. Вибрационный термомагнитометр ВМА-1 для исследования магнитных свойств пород и минералов в диапазоне температур от 20 до 700°C

Заключение

В заключение отметим, что из-за невозможности непосредственного исследования инверсий их изучение возможно только путем детального исследования свойств, структуры и процессов намагничивания континентальных и океанских горных пород, прямо- или обратномагнитных. Необходимо установить, каким образом приобрели обратную намагниченность горные породы: 1) в результате намагничивания в поле соответствующего направления, образовавшегося в результате инверсии ГМП, или 2) в результате процессов самообращения намагниченности (т. е. при отсутствии инверсии ГМП). По нашему мнению, путем исследования явления самообращения в горных породах и других особенностей магнитных свойств можно решить проблемы инверсий ГМП и самообращения NRM.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 08-05-00623-а).

Литература

1. Харленд У.Б., Кокс А.В., Левилини П.Г. Шкала геомагнитного времени. М., 1985.
2. Нагата Т. Магнетизм горных пород М., 1965.
3. Трухин В.И., Драченкова А.А., Жилева В.А. // Физика Земли. 1996. № 5. С. 46.
4. Трухин В.И., Геншафт Ю.С., Горшков А.Г. и др. // Физика Земли. 1995. № 1. С. 24.
5. Трухин В.И., Жилева В.А., Шрейдер А.А. // Физика Земли. 2002. № 6. С. 6.
6. Трухин В.И., Шрейдер А.А., Жилева В.А. и др. // Физика Земли. 2005. № 3. С. 3.
7. Трухин В.И., Жилева В.А., Курочкина Е.С. // Физика Земли. 2004. № 6. С. 3.
8. Трухин В.И., Максимочкин В.И., Жилева В.А. и др. // Физика Земли. 2006. № 11. С. 70.
9. Трухин В.И. и др. // Физика Земли. 1997. № 2. С. 52.
10. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л., 1974.
11. Neel L. // Ann. Geophys. 1951. 7. P. 90.
12. Трухин В.И., Безаева Н.С. // УФН. 2006. 176, № 5. С. 507.
13. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М., 2005.

Поступила в редакцию
19.10.07