

Произведение ΩL , которое имеет смысл относительной скорости движения противоположных краев пятна, можно оценить как $|\text{grad } V_\psi|_{\text{max}} L$. На основании (3) $|\text{grad } V_\psi|_{\text{max}} \approx 2 \cdot 10^{-7}$ 1/с. Что же касается размера пятен, то он часто порядка $10^9 \div 10^{10}$ см. Подставив это в (3), находим $|\mathbf{H}| \approx 10^3 \div 10^4$ Э.

Конечно, приведенные выше соображения являются не более чем предварительными, и их можно считать лишь наметками обширной программы дальнейших как теоретических, так и экспериментальных исследований.

Литература

1. *Larmor J.* // Rev. Brit. Assoc. Adv. Sci. 1910. P. 159.
2. *Зельдович Я.Б., Рuzмайкин А.А.* // УФН. 1982. **152**, № 2. С. 263.
3. *Григорьев В.И., Григорьева Е.В.* Бароэлектрический эф-

фект и электромагнитные поля планет и звезд. М.: Изд-во МГУ, 1995.

4. *Краев А.П.* Основы геоэлектрики. М.; Л.: ГИТТЛ, 1952.
5. *Имянитов И.М., Шифрин К.С.* // УФН. 1962. **76**, № 4. С. 593.
6. *Брей Р., Лоухед Р.* Солнечные пятна. М.: Мир, 1967.
7. *Чалмерс Дж. А.* Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеоздат, 1974.
8. *Вандакуров Ю.В.* Конвекция на Солнце и 11-летний цикл. Л.: Наука, 1976.
9. *Howard R., Harvey J.* // Solar Phys. 1970. **12**, No. 1. P. 21.
10. *Прист Э.* Солнечная магнитогиродинамика. М.: Мир, 1985.
11. *Craig P.* // Phys. Rev. Lett. 1969. **22**, № 14. P. 8.
12. *Григорьева Е.В.* // Изв. АН СССР, Физика Земли. 1990. **10**. С. 24.

Поступила в редакцию
24.03.99

УДК 550.382.3

ПРИРОДА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД АДЖИДЕРИНСКОЙ СВИТЫ

В. И. Багин, А. В. Гарбузенко^{*)}, Г. З. Гурарий^{*)}, Х. Назаров^{**)}, В. М. Трубихин^{*)}

(кафедра физики Земли)

Магнито-минералогическое изучение осадочных пород аджидеринской свиты (поздний эолейстоцен) в разрезе Аджидере (Западная Туркмения) показало, что их естественная остаточная намагниченность имеет ориентационную природу. Это может быть использовано для определения параметров тонкой структуры геомагнитного поля во время осадконакопления.

Введение

Информативность результатов детальных палеомагнитных исследований определяется прежде всего тем, насколько надежно сопоставлено время формирования пород и естественной остаточной намагниченности, которую приобретают в геомагнитном поле содержащиеся в них рудные ферримагнитные минералы. Иными словами, необходимо определить природу естественной остаточной намагниченности (ЕОН) изучаемых пород и показать, что ее характеристики могут быть использованы для анализа древнего геомагнитного поля. Особое значение такой анализ приобретает при исследованиях тонкой структуры геомагнитного поля.

Разрез Аджидере изучен на расстоянии 25–30 км от г. Кызыл-Арват в юго-западном направлении по правому руслу р. Аджидере на южном склоне хребта Кызыл-Бурун. По возрасту он относится к нижней части верхнего апшерона. В изученной части разреза зафиксировано геомагнитное поле хрона Матуяма, субхрона Харамильо и его изменение во время инверсии на границе хрона и субхрона. Изучение этого геомагнитного поля и стало целью проведения настоящей работы.

Исследования [1, 2] показали, что осадконакопление верхнеапшеронских пород в изученной части разреза Аджидере началось не ранее чем 1,2 млн лет назад, протекало без существенных перерывов со средней скоростью около 0,5 м за тысячу лет и закончилось примерно 1,0 млн лет назад. В этом разрезе осуществлен детальный отбор образцов для магнито-минералогических исследований, результаты которых изложены в настоящей работе.

Методика лабораторных исследований

При исследованиях немаловажное значение уделялось изучению состава и происхождения рудных минералов — возможных носителей ЕОН.

Главной задачей магнито-минералогических исследований было выявление магнитных фаз, ответственных за те или иные компоненты ЕОН. При этом предполагалось оценить, какие из этих фаз имеют первичное, а какие вторичное происхождение. Определялись кривые нормального намагничивания $I_r(H)$ в полях до $H = 2$ Тл и кривые терморазрушения индуктивной $I(T)$ и остаточной $I_r(T)$ намагниченности.

^{*)} Геологический институт, Москва.

^{**)} Институт геологии АН Туркменистана, Ашхабад.

Нормальное намагничивание образцов в полях до $H = 0,2$ Тл осуществлялось в катушке индуктивности, а в полях до $H = 2$ Тл — в электромагните ФЭЛ-1. Измерения I_r проводились с помощью астатического магнитометра с отрицательной обратной связью для компенсации нуля отсчета. Чувствительность вибромагнитометра и термомагнитометра, использованных для термомагнитных измерений, составляла $1 \cdot 10^{-1}$ и $9 \cdot 10^{-3}$ А/м соответственно. Максимальное значение поля в зазоре электромагнита вибромагнитометра было 0,45 Тл.

Результаты измерений $I_r(H)$, $I(T)$ и $I_r(T)$ представлены в относительных единицах. Исследовалось 65 образцов из разреза Аджидере, отобранных из петрографически разных пород.

Результаты

Минераграфические исследования позволили разделить комплекс изучаемых пород на три группы.

Для пород первой группы наиболее характерным рудным минералом является магнетит обломочного происхождения. Это правильные изометричные зерна, составляющие основную долю рудного минерала в породе. Количество его невелико, обычно около 1%. Пигментация гидроксидами железа, как правило, слабая. Помимо обломочного магнетита в этих породах в небольшом количестве присутствуют обломочные зерна гематита и гидроксилов железа. Кроме того, в небольшом количестве встречаются зерна магнетита и гематита, развитые по пириту, и зерна гематита — по титаномагнетиту. Микроскопические исследования показывают, что окисление пирита и титаномагнетита в основном происходило до отложения их в изучаемых породах, т. е. они также являются обломочными.

Иногда обнаруживаются, хотя и редко, вторичные образования — это маггемит, образовавшийся в результате окисления вторичного же пирита.

Для пород второй группы наиболее характерным рудным минералом является обломочный гематит. Общее количество его — около 2%. Ряд изученных образцов этих пород был значительно пигментирован гидроксидами железа.

Помимо обломочного гематита в породах данной группы имеется магнетит обломочного происхождения и, как и в первой группе, присутствуют агрегаты магнетита и гематита, развитые по пириту, и гематит — по титаномагнетиту и темноцветным силикатам. Однако, поскольку зерна рудного минерала однородны и не содержат следов выноса титана и железа в окружающую породу, можно считать, что все процессы преобразования материнских минералов происходили до их фиксации в изучаемых осадках. Единичные зерна магнетита, развитые по пириту, в породах этой группы также имеют в основном явно обломочное происхождение.

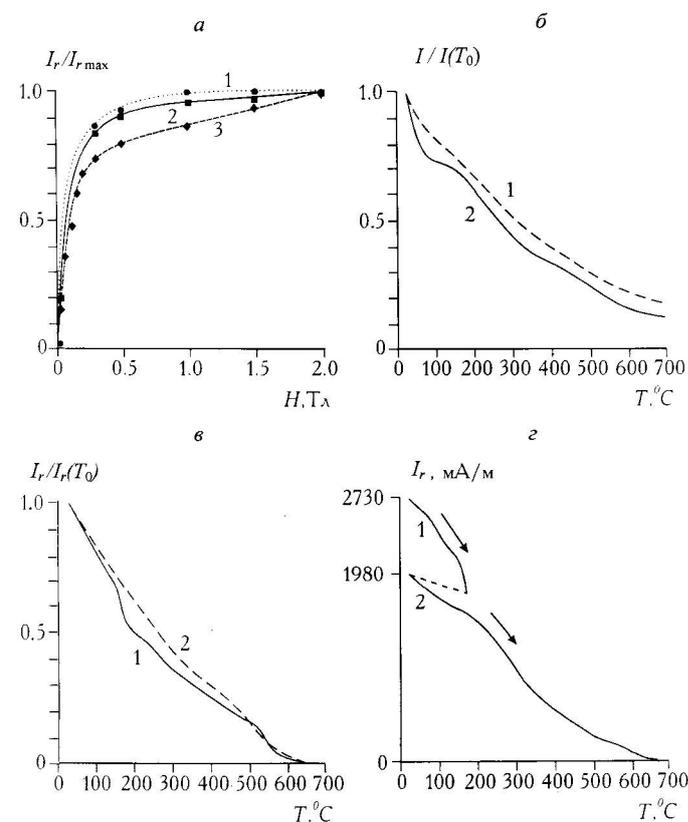
Породы третьей группы в минералогическом отношении (если рассматривать комплекс рудных минералов) представляют собой смесь в разных пропорциях минералогических составляющих пород первой

и второй групп с максимальным в большинстве случаев количеством рудной фракции — до 3%.

Все изложенное выше позволяет предполагать в основном обломочное осадочное происхождение рудных минералов — носителей остаточной намагниченности изучаемых пород. Соответственно природа ЕОН, вероятнее всего, ориентационная. Возможная химическая намагниченность может быть связана с вторичным маггемитом либо с новообразованиями гидроксилов железа, пигментирующих породы. Однако маггемит играет незначительную роль в балансе рудных минералов в данных породах, а гидроксилов железа вносят незначительный вклад в общую величину ЕОН, что было показано, например, в работе [3].

Магнито-минералогические исследования

Нормальное намагничивание. Для изученных пород наиболее характерными являются три типа кривых $I_r/I_{r\max}$ (рисунок, а). Все кривые обнаруживают резкий рост нормальной остаточной намагниченности в области полей 0–0,2 Тл. Далее, при увеличении поля до 1 Тл кривые становятся пологими, и лишь для одного типа наблюдается насыщение намагниченности, о чем свидетельствует ее неизменность в полях 1,5 и 2,0 Тл. Для двух других типов насыщение не достигается в полях до 2,0 Тл; при этом следует отметить практически линейный рост I_r в области



Типичные кривые разного типа (цифры при кривых) нормального намагничивания (а) и терморазрушения индуктивной (б) и нормальной (в) намагниченности; г — кривые терморазрушения нормальной намагниченности при нагреве образца до 175 °С (1) и повторном нагреве его после охлаждения до комнатной температуры (2)

полей $0,5 \div 2,0$ Тл. Полученные данные позволяют сделать некоторые заключения о магнитном фазовом составе изучаемых осадочных пород. Несомненно наличие в породах разного количества гематита, обладающего различной магнитной жесткостью (кривые трех основных типов), а также дисперсных зерен магнитно-мягких минералов (магнетита, маггемита, титаномагнетита и др.), идентифицировать которые на основании анализа этих кривых не представляется возможным.

Терромагнитные исследования. Кривые $I(T)/I(T_0)$ (рисунок, б) соответствуют главным образом парамагнитным соединениям и не позволяют выделить какие-либо упорядоченные магнитные фазы (кривая 1). Лишь в отдельных случаях (кривая 2) на фоне парамагнитной зависимости $I(T)$ можно предположительно установить фазу, теряющую индуктивную намагниченность при температуре около 150°C , которая может соответствовать температуре Нееля гидрогетита [3]. Однако в общем случае проявление данной фазы очень невыразительно. Следует отметить, что при нагревании образцов до 700°C на всех полученных кривых $I(T)/I(T_0)$ наблюдается парамагнитный «хвост», величина которого варьирует в пределах 10–30% от $I(T_0)$. Кроме того, величина индуктивной намагниченности, измеренная при комнатной температуре после охлаждения образцов до 700°C , как правило, уменьшается на единицы–десятки процентов по сравнению с исходной индуктивной намагниченностью $I(T_0)$. Все это свидетельствует о том, что главный вклад в индуктивную намагниченность изучаемых пород вносят парамагнитные соединения, часть из которых испытывает фазовые превращения.

Сравнение величин намагниченности I и I_r для нагретых контрольных образцов показало, что I_r составляет лишь несколько процентов от I . Это обстоятельство позволяет утверждать, что ферримагнитная фракция, ответственная за остаточную намагниченность изучаемых пород, составляет лишь доли процента от общего количества железосодержащих соединений. В связи с этим более четкую информацию о ферримагнитных фазах можно было получить лишь при анализе температурных зависимостей $I_r(T)$, избавленных от парамагнитного «фона».

Десятки полученных кривых $I_r(T)/I_r(T_0)$ проявляют удивительное сходство, типичные из них приведены на рисунке, в. На кривой 1 четко выделяются перегибы в области температур 170° , 575° и нечетко — при 350°C . Зафиксирована также гематитовая фаза с разблокирующей температурой $T_{\text{уб}}$ порядка 650°C . На кривой 2 видны перегибы при 350 и 575°C , наблюдается и гематитовая фаза с $T_{\text{уб}}$ около 650°C . Полученные результаты позволили идентифицировать во всех изученных образцах гематит с $T_{\text{уб}} \approx 650\text{--}675^\circ\text{C}$ и магнетит с $T_{\text{уб}} \approx 575^\circ\text{C}$. Перегибы на кривых $I_r(T)/I_r(T_0)$ в области температур 175 и 350°C , вероятнее всего, обусловлены фазовым переходом низкотемпературного маггемита в гема-

тит [4]. Нагрев контрольных образцов до температуры 175°C , где перегиб проявляется наиболее четко, привел к его исчезновению, т. е. при этой температуре, по-видимому, произошло фазовое превращение основной части маггемитовой фазы (см. кривые 1 и 2 на рисунке, з).

Анализ величин намагниченности I_r до и после прогрева образцов до 700°C и охлаждения до комнатной температуры показал, что, как правило, I_r , в отличие от I , увеличивается. Это свидетельствует о возможном образовании новых ферримагнитных фаз в результате температурных фазовых превращений парамагнитных соединений. Скорее всего образуется магнетит, развивающийся по пириту, который частично окисляется при нагревах до $600\text{--}650^\circ\text{C}$.

Выводы

На основании минераграфических и магнито-минералогических исследований осадочных пород аджидеринской свиты в Западной Туркмении установлено следующее.

1. Основными ферримагнитными минералами в изучаемых породах являются гематит, магнетит, маггемит и, возможно, гидроокислы железа.
2. Гематит и магнетит имеют обломочное происхождение и могут быть носителями ЕОН ориентационной природы.
3. Маггемит и гидроокислы железа могут быть носителями как ориентационной, так и химической остаточной намагниченности, и при палеомагнитных исследованиях от их намагниченности лучше всего избавляться путем нагрева образцов.

Таким образом, осадочные породы разреза Адждере в принципе пригодны для изучения параметров тонкой структуры геомагнитного поля (таких, как напряженность и его вариации), существующего во время их накопления.

Авторы глубоко благодарны А. Г. Фейну за помощь в полевых работах, Ю. А. Лаврушину за ценные советы, а также дирекции и сотрудникам Института геологии АН Туркменистана за помощь в организации экспедиционных работ.

Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда (гранты 56000 и 56300) и РФФИ (гранты 94-05-1724 и 97-05-64469).

Литература

1. Гурарий Г.З., Багин В.И., Гарбузенко А.В. и др. // Физика Земли. 2000. №1. С. 33.
2. Невеская Л.А., Трубихин В.М. // Атропоген Евразии. М.: Наука, 1984. С. 19.
3. Багин В.И., Гендлер Т.С., Авилова Т.Е. Магнетизм α -окислов и гидроокислов железа. М. (ИФЗ АН СССР), 1988.
4. Кудрявцева Г.П. Ферримагнетизм природных оксидов. М.: Недра, 1988.

Поступила в редакцию
02.06.99