

14. Храмов А.Н., Шолло Д.Е. Палеомагнетизм. Д., 1967, 251 с.
15. Ade-Hall J.M., Palmer H.C., Hubbard T.F. The magnetic and opaque petrological response of basalts to regional hydrothermal alteration. - Geophys. J.R. Astr. Soc., 1971, N 24, p.137-174.

УДК 550.384.32

В.Р.Металлова, А.О.Мостриков,
А.Г.Иосифиди, В.П.Родинон, А.Н.Храмов

ВЕКОВЫЕ ВАРИАЦИИ МОДУЛЯ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ ИНВЕРСИЙ

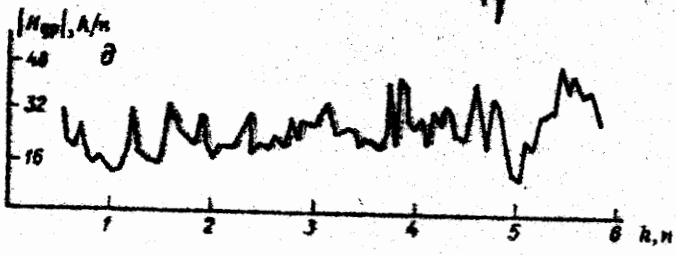
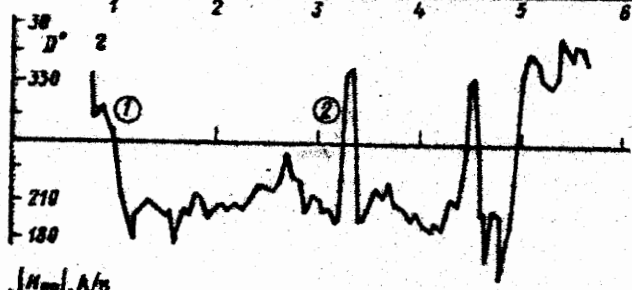
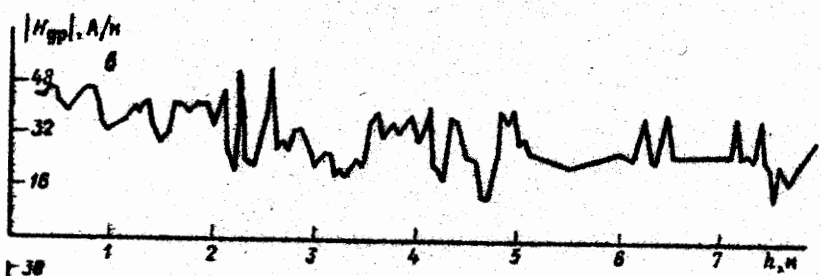
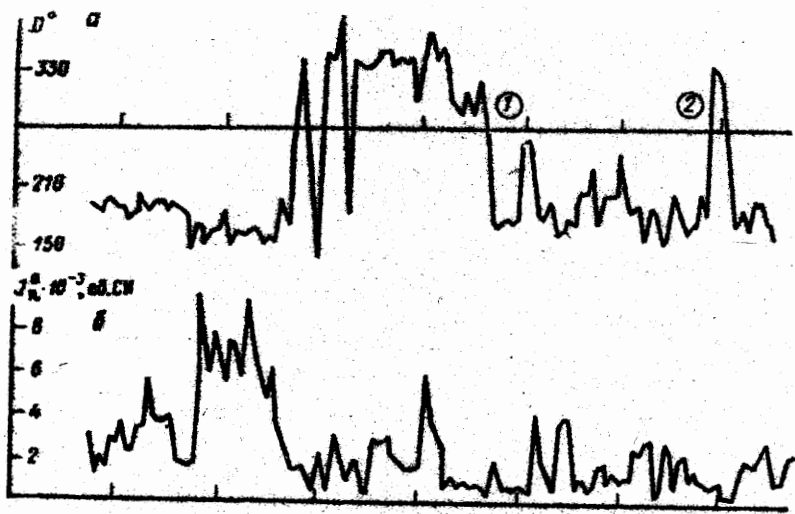
В современном геомагнетизме уделяется большое внимание изучению вековых вариаций геомагнитного поля - исследуется их спектр, распределение вариаций по поверхности Земли, их динамика во времени. Такой интерес не случаен: вековые вариации несут богатейшую информацию о свойствах источника геомагнитного поля - магнитогидродинамическом генераторе в ядре Земли, а следовательно, и о свойствах земного ядра [1].

К настоящему времени получены интересные сведения о спектральном составе вековых вариаций. Основную информацию дают археомагнитные исследования [2]. Однако несмотря на интенсификацию этих исследований остается еще много неясных вопросов, в том числе недостаточно точно установлен основной период изменения дипольного магнитного момента, необходимо дальнейшее уточнение к обертонов [3]. Практически ничего не известно о спектральной плотности отдельных гармоник вековых вариаций. Не располагая мы и сведениями о характере вековых изменений в прошлые геологические эпохи [1]. При анализе изменения направления вектора древнего геомагнитного поля удалось выделить период вековых вариаций, равный примерно 30 тыс. лет. Следует заметить, что в палеомагнитных исследованиях вековых вариаций основная ставка делается на изучение угловых компонент древнего поля - склонение и наклонение. Известны отдельные попытки привлечь для этой цели величину вектора древней остаточ-

ной намагниченности J_n^a как меры напряженности древнего поля [4]. Однако с физической точки зрения в общем случае такая постановка задачи некорректна, так как значение вектора J_n^a не сохраняется неизменным в течение жизни породы. В связи со сказанным следует, что получение информации о модуле древнего геомагнитного поля и его вековых вариациях является сегодня задачей первостепенной.

В геомагнитной лаборатории Ленинградского университета в последние годы с помощью метода ступенчатого перемагничивания [5] получен большой объем информации об изменениях модуля геомагнитного поля в период инверсий. В связи с этим появилась возможность спектрального анализа рядов изменений модуля поля для выделения спектральных компонент, определения тренда модуля поля в отдельных инверсиях и спектральной плотности каждой из гармоник, а также для сравнения полученных результатов по разновозрастным инверсиям. Кроме того, гармоническому анализу были подвергнуты также изменение во времени направления вектора напряженности геомагнитного поля (склонение вектора древней остаточной намагниченности D) и значения вектора J_n^a . Эта операция позволила сравнить информативность каждого из элементов земного магнитного поля и оценить степень корреляции между вековыми вариациями разных элементов. Спектральный анализ и определение коэффициентов корреляции проводились по стандартной методике [6]. Временные соотношения оценивались по скорости осадконакопления, которая принималась постоянной [7].

Изменение модуля древнего поля было определено для позднекембрийских инверсий (два разреза на р. Лена) (рис.1) и инверсии в раннем ордовике (р. Лена) (рис.4) [7]. На рис.1 представлены изменения напряженности поля ($|H_{др}|$), склонения вектора древней остаточной намагниченности (D) и модуля этой намагниченности по двум разрезам ($\alpha - \beta$ и ϵ, δ). Таким образом, мы располагаем информацией о поведении геомагнитного поля во время одной и той же инверсии на разрезах, отстоящих на расстоянии около 500 км (цифры в кружках -- моменты одновременных событий). Как указывалось в работе [8], изменение поля происходит одинаково, что говорит о глобальности процесса инверсии. Спектральный анализ рядов изменения модуля поля, направленный



Прог. I.

вектора и значений намагниченности проведен по одному из разрезов, на котором процесс инверсии поля представлен наиболее полно — эпоха стабильной прямой полярности, переходная зона и эпоха стабильной обратной полярности (см. рис. 1, а). Результаты этого анализа показаны на рис. 2. Из него следует, что в спектре изменений модуля поля четко выделяется несколько периодов, а именно: $\sim 8 \cdot 10^3$, $\sim 30 \cdot 10^3$, $\sim 17 \cdot 10^3$, $\sim 12 \cdot 10^3$ и $10 \cdot 10^3$ лет. По изменению склонения D и древней намагниченности спектральные компоненты выделяются менее отчетливо. Так, в спектре изменения D и J_n^a практически отсутствует длиннопериодная гармоника (10^5 лет), гармоника с периодом $\sim 30 \cdot 10^3$ лет имеет значительно меньшую спектральную плотность при фурье-анализе J_n^a , чем при анализе модуля поля, и практически не выделяется при анализе D . Кроме того, на кривой для D отсутствует гармоника с периодом ~ 17 тыс. лет, а гармоники с периодом ~ 12 и ~ 10 тыс. лет имеют значительно меньшую спектральную плотность ($S < 0,2$).

Для анализа фазовых соотношений между гармониками, выделяемыми по разным элементам земного магнитного поля, были построены взаимнокорреляционные функции R_{xy} (рис. 3). Из рисунка следует, что по элементам $|H_{др}|$ и D отчетливо выделяется общая гармоника с периодом ~ 80 тыс. лет. На эту гармонику накладывается другая с периодом 10 тыс. лет, которая по обоим элементам бифазна. Функция $R_{|H_{др}|, D}$ достигает максимума, когда изменение склонения опережает изменение модуля поля на 20 тыс. лет. По кривым $R_{J_n^a, |H_{др}|}$ и R_{D, J_n^a} можно сделать вывод только о корреляции вариаций с периодом ~ 30 тыс. лет. Таким образом, на основании сказанного следует, что напряженность древнего поля несет наиболее полную информацию о спектральном составе вековых изменений геомагнитного поля в древние геологические эпохи и об энергетических соотношениях между отдельными гармониками спектра этих изменений.

Сравнение спектров вековых изменений по двум параллельным разрезам, фиксирующим одну и ту же инверсию (см. рис. 2, точечная и штрихпунктирная кривые), показывает, что в основном эти спектры подобны: в спектре изменений модуля поля по разрезу у дер. Половинка (штрихпунктирная кривая на рис. 2, шкала

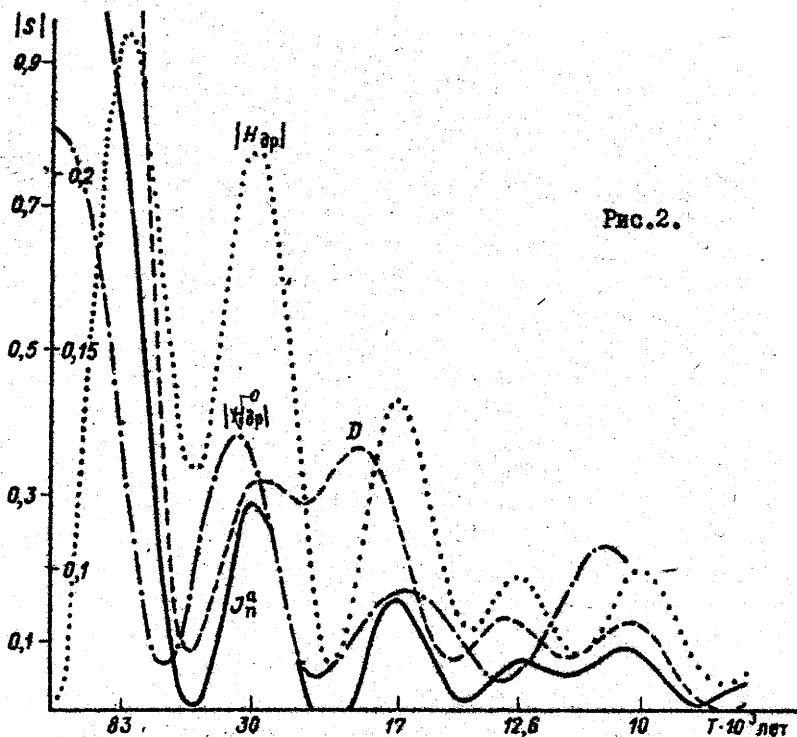


Рис.2.

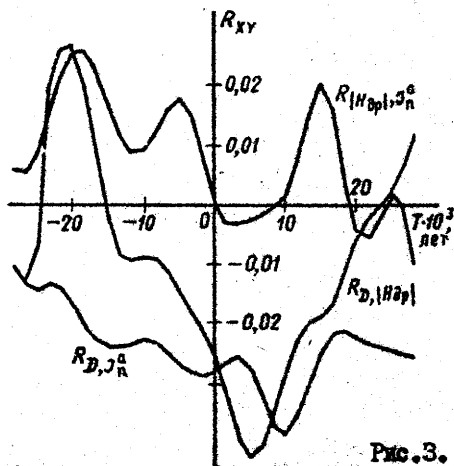


Рис.3.

по оси ординат для нее (правая) выделяются те же периоды, что и по разрезу у дер. Змеиново, а именно: ~ 10 , ~ 17 и ~ 32 тыс. лет. Отсутствие в этом спектре гармоники с периодом ~ 80 тыс. лет объясняется малой длиной анализируемого ряда. Отсутствие гармоники с периодом ~ 12 тыс. лет ставит существование ее под сомнение, тем более, что в спектре по разрезу Зме-

иновое эта гармоника имеет самую малую спектральную плотность.

Следует особо подчеркнуть, что гармоника с периодом ~ 30 тыс. лет четко выделяется по двум разрезам, хотя больший вклад она вносит в спектр вековых изменений по разрезу Эмменово. Этот факт можно объяснить тем, что данный разрез охватывает не только переходную зону, но и часть стабильной зоны прямой полярности, где эта гармоника выделяется даже визуально (см. рис. 1, б) и является преимущественной. Таким образом, можно сделать вывод, что эта гармоника в спектре вековых изменений присутствует как в зоне стабильной полярности геомагнитного поля, так и в переходной.

Интересным представляется факт выделения в обоих разрезах гармоник с периодом 10 тыс. лет. По современным представлениям этот период есть не что иное как основной период колебаний стационарного МГ-динамо Земли [1]. Таким образом,

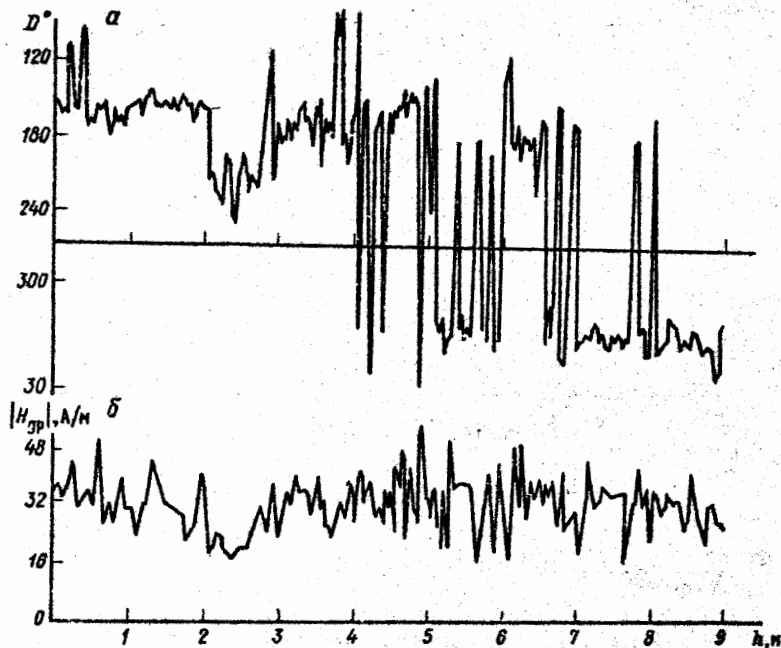


Рис. 4.

основное колебание существует и в периоды инверсий, хотя энергетический вклад этой гармоник невелик (см. рис.2).

Как известно, в большинстве инверсий устанавливается значительное уменьшение напряженности поля. Как видно из рис.1,⁶ это уменьшение характерно и для изучаемой инверсии. Скорость тренда геомагнитного поля, определенная по полному разрезу Змеиново, оказалась равной $0,5 \cdot 10^{-3}$ Э/10³ лет ($4 \cdot 10^{-2}$ А/м/10³ лет). Скорость тренда в период подготовки инверсии, т.е. еще в эпоху прямой полярности, значительно больше и составляет $1,6 \cdot 10^{-3}$ Э/10³ лет ($12,8 \cdot 10^{-2}$ А/м/10³ лет).

В период инверсии в раннем ордовике (рис.4) не устанавливается уменьшения напряженности* непосредственно перед инверсией. Однако восстановление модуля поля на заключительном этапе инверсионного периода идет со скоростью $0,9 \cdot 10^{-3}$ Э / 10³ лет ($7,2 \cdot 10^{-2}$ А/м / 10³ лет). Спектральным анализом модуля поля для этой инверсии отчетливо выделяются гармоник с периодами ~ 70 , ~ 30 и $\sim 1'$ тыс. лет (рис.5). Таким образом, в древних инверсиях вариации геомагнитного поля с этими периодами являются характерными.

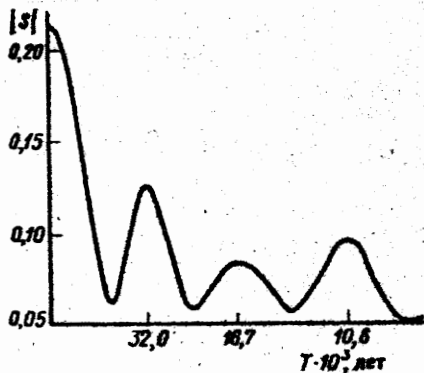


Рис.5.

Итак, можно сделать следующие выводы:

1. В древних инверсиях (поздний кембрий, ранний ордовик) вариации модуля геомагнитного поля имеют периоды ~ 80 , ~ 30 , $\sim 1'$ тыс.лет.

2. Из всех элементов земного магнитного поля (склонение и значения вектора древней остаточной намагниченности, напряженность) наиболее полную информацию о спектральном составе

* В определении напряженности для инверсии в раннем ордовике, кроме авторов статьи, принимали участие сотрудники Геомагнитной лаборатории Ленинградского университета В.А.Шапкашов и И.Н.Петров, которых авторы благодарят за эту помощь.

вековых вариаций и об энергетических соотношениях между отдельными гармониками несет модуль геомагнитного поля.

У к а з а т е л ь л и т е р а т у р ы

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л., 1978. 591 с.
2. Бурлацкая С.П. Вековые вариации магнитного поля Земли по археоманнитным и палеомагнитным данным. - Геомагнетизм и аэрономия, 1972, т.12, № 4, с.662-675.
3. Barton C.E., Merrill R.T., Barbetti M. Intensity of Earth's magnetic field over the last 10 000 years. - *Phys. Earth and Planet. Inter.*, 1979, vol.20, N 2-4, p.96-110.
4. Гурарий Г.З. Некоторые инверсии геомагнитного поля в позднем кайнозое по исследованиям в Западной Туркмении. - *Изв. АН СССР, сер.Физика Земли*, 1977, № 8, с.88-90.
5. Шашканов В.А., Металлова В.В., Смирнов В.В. Определение напряженности древнего геомагнитного поля методом ступенчатого перемагничивания. - *Изв. АН СССР, сер.Физика Земли*, 1975, № 11, с.79-90.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. М., 1974. 463 с.
7. Палеомагнетизм палеозоя /Храмов А.Н., Гончаров Г.И., Комиссарова Р.А., Осипова Э.П., Погарская И.А., Родионов В.П., Слауцитайс И.П., Смирнов Л.С., Форм Н.Н. - Л., 1974. 236 с.
8. Изменение модуля напряженности геомагнитного поля во время позднекембрийских инверсий/ Металлова В.В., Родионов В.П., Писаревский С.А., Храмов А.Н., Липатов С.Н. - *Изв. АН СССР, сер.Физика Земли*, 1980, № 10, с.65-70.