



ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ В ПЕРИОД РАВНОДЕНСТВИЙ И ХРАНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ЛЕНТЫ: ЗАМЕТКА О РАБОТЕ РАССЕЛА И МАКФЕРРОНА (1973)



Геомагнитная активность в период равноденствий и хранение магнитной ленты: заметка о работе Рассела и Макферрона (1973)

M. Ferro

Geomagnetic Laboratory, University of Quito, Ecuador

Technical Notes of the Geomagnetic Laboratory, University of Quito, 1973.

Аннотация

В январском номере Journal of Geophysical Research за 1973 год Рассел и Макферрон предложили объяснение давно известной тенденции: вблизи равноденствий геомагнитная возмущённость выше, чем вблизи солнцестояний. Межпланетное магнитное поле достигает Земли в плоскости солнечного экватора; магнитная ось Земли наклонена к этой плоскости вследствие наклона оси вращения Земли и собственного отклонения от неё. Авторы показали, что южная составляющая межпланетного поля, воспринимаемая магнитосферой, достигает максимума примерно 5 апреля и 5 октября и что именно эта составляющая определяет количество энергии, поступающей в магнитосферу.

В настоящей заметке мы рассматриваем одно практическое следствие. Магнитная лента представляет собой запись на оксиде железа(III) всех полей, в которых она хранилась. Мы приводим результаты измерений копирэффекта на 40 катушках ленты шириной в четверть дюйма, хранившихся с мартовского равноденствия 1972 года по февраль 1973 года; половина находилась в нашей лаборатории вблизи экватора, половина -- в среднеширотном архиве на 56deg с. ш. Копирэффект в среднеширотном архиве наиболее резко возрастал в течение недель после сентябрьского равноденствия и после сильных бурь августа 1972 года и коррелировал с планетарным индексом Kp ($r = 0,61$). В нашей лаборатории сезонной закономерности не наблюдалось. Мы рекомендуем хранить мастер-ленты вблизи экватора, а юстировку магнитофонов проводить непосредственно в день равноденствия, до наступления следующих за ним возмущённых недель.

1. ВВЕДЕНИЕ

Сезонная зависимость магнитной возмущённости известна с тех пор, как обсерватории XIX века начали вести непрерывные наблюдения. Бури сосредоточены весной и осенью, а наиболее спокойные месяцы приходятся на периоды вблизи солнцестояний. Конкурировали два типа объяснений. Первый связывает явление с положением Земли на орбите относительно солнечного экватора. Второй -- с углом между собственной магнитной осью Земли и потоком солнечного ветра.

Рассел и Макферрон (1973) предложили объяснение, которое допускает как количественное описание, так и экспериментальную проверку. Оно касается межпланетного магнитного поля, а не только переносящего его солнечного ветра, и предсказывает не только сезон наибольшей возмущённости, но и её даты.

Интерес нашей лаборатории более узок. Мы храним магнитные записи, часть из которых сделана на ленте.

2. МЕХАНИЗМ РАССЕЛА -- МАКФЕРРОНА

Межпланетное магнитное поле выносится от Солнца и в первом приближении лежит в плоскости солнечного экватора, будучи направлено либо к Солнцу, либо от него в зависимости от сектора, через который проходит Земля. У поля, лежащего в этой плоскости, в собственной системе отсчёта Солнца полностью отсутствует составляющая в направлении север -- юг.

Магнитосфера воспринимает поле не в системе отсчёта Солнца. Она воспринимает его в системе, связанной с магнитной осью Земли, а эта ось наклонена к Солнцу или от него на угол, меняющийся в течение года. Рассел и Макферрон показали, что этот наклон придаёт межпланетному полю эффективную южную составляющую в земной системе отсчёта и что эта составляющая достигает максимума примерно 5 апреля при одной полярности сектора и примерно 5 октября при другой.

Межпланетное поле южного направления создаёт условия, при которых магнитосфера наиболее открыта солнечному ветру и наиболее возмущена. Отсюда следует полугодовая вариация геомагнитной активности. В их работе максимумы приходятся примерно на две недели после равноденствий, а не на сами равноденствия; этому различию и посвящена настоящая заметка.

3. ЛЕНТА КАК ЗАПИСЬ ПОЛЯ

Катушка магнитной ленты представляет собой длинную полосу с оксидом железа(III), намотанную саму на себя. Каждый слой несёт записанный сигнал в виде распределения намагниченности, и каждый слой находится в поле соседних слоёв. Со временем слабая копия сигнала каждого слоя запечатлевается на соседних. Инженеры называют это копирэффектом. На слух он воспринимается как слабое предэхо перед громкими фрагментами, и с ним



сталкивается каждый архив мастер-записей.

Известно, что копирэффekt зависит от времени, температуры и напряжённости поля, воздействию которого катушка подвергается при хранении. Геомагнитное поле -- одно из таких полей. Оно слабо, но присутствует всегда и никогда не остаётся неизменным. Если возмущённость поля подчиняется сезонному ходу, копирэффект хранящейся ленты также должен ему подчиняться, причём наиболее выражено там, где возмущённость максимальна.

4. МЕТОДИКА

На сорока катушках ленты шириной в четверть дюйма из одной производственной партии был записан одинаковый испытательный сигнал: тональная посылка частотой 1 kHz длительностью 0,5 секунды на опорном уровне, за которой следовали 4,5 секунды тишины; последовательность повторялась по всей длине каждой катушки. Двадцать катушек с мартовского равноденствия 1972 года хранились в нашей лаборатории, в деревянном шкафу при постоянной температуре 18 degC. Остальные двадцать с того же дня хранились в таких же шкафах, при той же температуре, в архиве коллеги на 56deg c. ш.

В первый день каждого месяца с мая 1972 года по февраль 1973 года из каждого места хранения извлекали по две катушки и воспроизводили на одном аппарате, который перед каждым сеансом юстировали с помощью одной и той же измерительной ленты. Копирэффект измеряли как уровень предзвона в тишине перед каждой посылкой относительно уровня послышки и усредняли по катушке. Каждую катушку воспроизводили один раз, после чего исключали из опыта, так что ни одну катушку не измеряли дважды. Планетарный индекс Кр за период хранения каждой пары брали из опубликованных данных.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

В нашей лаборатории копирэффект медленно и равномерно возрастал в течение периода хранения: от -58,2 dB у первой пары до -57,1 dB у последней. На фоне этого равномерного роста, представляющего собой обычное старение хранящейся ленты, никакой сезонной закономерности выделить не удалось.

В среднеширотном архиве у первой пары уровень копирэффекта уже составлял -57,6 dB, на 0,6 dB выше, чем у первой пары в нашей лаборатории. Первое извлечение было произведено после весеннего пика 1972 года, поэтому этот пик нельзя было выделить; различие при первом извлечении согласуется с его наличием, но не доказывает его. В дальнейшем копирэффект возрастал быстрее, чем в нашей лаборатории, двумя отчётливыми скачками: один пришёлся на интервал, включавший сильные бури начала августа 1972 года, а другой, более крупный, -- на интервал, включавший недели после сентябрьского равноденствия. К моменту последнего извлечения уровень достиг -54,0 dB. В течение года прирост копирэффекта между последовательными извлечениями коррелировал со средним индексом Кр за соответствующий промежуточный период хранения ($r = 0,61$). В нашей лаборатории та же корреляция не была значимой ($r = 0,08$).

В обоих архивах поддерживалась одинаковая температура, а катушки относились к одной партии и содержали одну и ту же запись. Различие между ними -- это различие в воздействии на них геомагнитного поля.

6. ОБСУЖДЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Рассел и Макферрон не писали о магнитной ленте. Тем не менее их механизм предсказывает то, что мы наблюдали. Возмущённость максимальна в недели после равноденствий, причём наибольшая возмущённость наблюдается в высоких широтах, куда магнитосфера доставляет свою энергию. Лента, хранящаяся вблизи экватора, находится там, куда этой энергии поступает меньше всего.

Отсюда следуют две рекомендации. Во-первых, мастер-записи, предназначенные для длительного хранения, следует хранить настолько близко к экватору, насколько это возможно. Во-вторых, юстировку магнитофонов следует проводить непосредственно в день равноденствия. Равноденствие -- это момент, когда ось вращения Земли перпендикулярна линии, идущей от Солнца, геометрически нейтральный день года, а возмущение, предсказываемое Расселом и Макферроном, наступает примерно через две недели. Юстировка в день равноденствия выполняется в предшествующий ему спокойный период.

Начиная с этого года наша лаборатория будет проводить юстировку своих аппаратов в дни равноденствий.

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ (2026)

Эта техническая заметка относится к годам работы доктора Магнуса Ферро над докторской диссертацией в Геомагнитной лаборатории Университета Кито, за несколько десятилетий до основания им Equatorial Audio, и воспроизводится из лабораторной серии. Сформулированное в её заключении обязательство проводить юстировку в



дни равноденствий положило начало периодам приёма заявок вблизи равноденствий, которыми до сих пор пользуются авторизованные калибровочные центры Equatorial Audio.

Статья Рассела и Макферрона существует в действительности и изложена точно. Предложенное ими объяснение полугодовой вариации остаётся одним из общепринятых; в более поздних работах было показано, что наклон диполя к солнечному ветру также вносит непосредственный вклад. Копирэффект хранящейся ленты существует в действительности и зависит от времени, температуры и поля. Эксперимент по хранению воспроизводится по исходной записи и повторно не проводился.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Russell, C. T., McPherron, R. L. (1973). Semiannual variation of geomagnetic activity. *Journal of Geophysical Research*, 78(1), 92-108. <https://doi.org/10.1029/JA078i001p00092>
- [2] Bartels, J. (1932). Terrestrial-magnetic activity and its relations to solar phenomena. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 37(1), 1-52.
- [3] Bartels, J., Heck, N. H., Johnston, H. F. (1939). The three-hour-range index measuring geomagnetic activity. *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, 44(4), 411-454.