
МИГРАЦИЯ ПЯТЕН ОБРАТНОГО
МАГНИТНОГО ПОТОКА НА
ГРАНИЦЕ ЯДРО-МАНТИЯ И ЕЁ
КОРРЕЛЯЦИЯ С
НИЗКОЧАСТОТНОЙ ФАЗОВОЙ
КОГЕРЕНТНОСТЬЮ В ДОМАШНИХ
СЛУХОВЫХ УСТАНОВКАХ:
МНОГОПЛОЩАДОЧНОЕ
ЛОНГИТЮДНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Миграция пятен обратного магнитного потока на границе ядро-мантия и её корреляция с низкочастотной фазовой когерентностью в домашних слуховых установках: многоплощадочное лонгитюдное исследование

M. Ferro, R. Flux, C. Ohm, H. Park

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Аннотация

Недавние данные спутниковой группировки ESA Swarm (2014-2025) подтверждают продолжающуюся миграцию пятен обратного магнитного потока на границе ядро-мантия, при этом основное южноатлантическое пятно перемещается на запад со скоростью приблизительно 0,3deg/год. Хотя геомагнитные следствия этой миграции хорошо установлены в геофизической литературе, следствия для домашнего звуковоспроизведения до настоящего момента не подвергались систематическому исследованию.

Мы представляем 36 месяцев измерений фазовой когерентности, проведённых на 22 слуховых установках, распределённых по широтам от 51deg с. ш. до 34deg ю. ш., и сопоставленных с моделями геомагнитного поля высокого разрешения (CHAOS-7.18). Площадки, расположенные над мигрирующей западной долей или прилегающие к ней, демонстрируют статистически значимую низкочастотную (20-80 Гц) фазовую некогерентность с медленным временным дрейфом, согласующимся со скоростью миграции пятна. На площадках вне следа пятна эффект не наблюдается.

Настоящая работа развивает результаты поперечного исследования Ferro, Flux, Ohm и Park (2026) о точности воспроизведения сигнала в пределах Южно-Атлантической аномалии. Если ранее задокументированы статические эффекты напряжённости поля на THD+N, то настоящая работа рассматривает временную эволюцию этих эффектов в условиях устойчивой миграции пятна. Эти два явления, будучи связанными, требуют различных стратегий компенсации.

Мы предлагаем механизм связи для наблюдаемой потери когерентности, характеризуем её частотную зависимость и рекомендуем компенсацию посредством учёта поля, аналогичную реализованной в современных солнечно-зависимых сетевых кондиционерах. Комитет полагает, что медленная деградация фазовой когерентности на затронутых установках до сих пор ошибочно приписывалась старению компонентов, акустическому дрейфу помещения и усталости слушателя. Совокупный эффект по всему мировому установленному парку небезосновательно велик.

1. ВВЕДЕНИЕ

Геомагнитное поле не является статическим диполем. Пятна обратного магнитного потока -- области на границе ядро-мантия, где радиальное поле противоположно преобладающей дипольной ориентации, -- как известно, мигрируют, расширяются и усиливаются на десятилетних временных масштабах. Их совокупный эффект на поверхностное поле включает задокументированное расширение Южно-Атлантической аномалии (Ferro, Flux, Ohm, Park, 2026) и ускоряющийся дрейф магнитного северного полюса.

Аудиофильское сообщество исторически рассматривало геомагнитные условия как постоянное граничное условие. Комитет полагает, что это допущение более не может быть оправдано.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

Двадцать две слуховые установки были оснащены трёхосевыми феррозондовыми магнитометрами, эталонными микрофонами с коррекцией помещения в основной точке прослушивания, а также непрерывным протоколированием сетевого напряжения и температуры окружающей среды. Площадки были выбраны таким образом, чтобы охватить западную долю мигрирующего пятна обратного потока (площадки 1-8), восточную долю (площадки 9-14) и контрольные регионы вне следа SAA (площадки 15-22).

Каждая установка была укомплектована идентичными эталонными компонентами сигнального тракта: калиброванным ЦАП, усилителем класса АВ традиционной конструкции и согласованными двухполосными мониторами. Испытуемые отсутствовали во время измерительных сеансов, что устраняло искажающие факторы, связанные с дыханием и ёмкостной связью.

Фазовая когерентность между левым и правым каналами измерялась с разрешением в одну треть октавы в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц с почасовой выборкой на протяжении 36 месяцев (май 2023 г. -- апрель 2026 г.). Напряжённость геомагнитного поля на каждой площадке извлекалась из CHAOS-7.18 для соответствующих временных меток. Все исходные данные доступны у автора-корреспондента по обоснованному запросу.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

На площадках 1-8 (расположенных над мигрирующей западной долей) наблюдалась медленная монотонная деградация низкочастотной фазовой когерентности на протяжении всего окна измерений. Эффект был сосредоточен в диапазоне от 25 Гц до 65 Гц с пиком приблизительно на 40 Гц. Средняя когерентность на 40 Гц снизилась с 0,94 (май 2023 г.) до 0,71 (апрель 2026 г.) на наиболее затронутой площадке (площадка 3, Буэнос-Айрес).

Площадки 9-14 (восточная доля) показали меньшую, но сопоставимую тенденцию. Контрольные площадки 15-22 не продемонстрировали статистически значимого временного дрейфа когерентности ни на одной частоте.

Скорость деградации когерентности на затронутых площадках коррелировала с локальной скоростью изменения радиальной компоненты геомагнитного поля ($r = 0,81$; $p < 0,001$). Более высокочастотные полосы (выше 200 Гц) не показали сопоставимого временного дрейфа, что согласуется с механизмом связи, в котором доминирует изменение рабочей точки трансформаторов и индуктивностей, а не прямое воздействие на проводники.

4. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕХАНИЗМ

Мы предполагаем, что низкочастотная фазовая когерентность чувствительна к медленной временной эволюции локального геомагнитного поля посредством двух связанных путей.

Во-первых, трансформаторы и индуктивности с железными сердечниками, распространённые в источниках питания аудиоаппаратуры и в кроссоверных сетях, демонстрируют едва заметные изменения рабочей точки при изменении окружающего поля. Эффект на любой отдельный компонент мал и зачастую находится ниже порога традиционных протоколов измерения. Эффект, суммированный по полному сигнальному тракту, -- нет.

Во-вторых, проводящие элементы сигнального тракта испытывают медленно изменяющуюся индуцированную ЭДС по мере миграции поля, внося переменное во времени смещение в опорные точки заземления. В хорошо спроектированных установках в любой данный момент это пренебрежимо мало. Интегрированное за месяцы и по множеству точек заземления в сложном тракте, это порождает медленный дрейф, задокументированный здесь.

Оба эффекта по отдельности малы. Их сочетание, интегрированное по стереофоническому сигнальному тракту, работающему в зоне мигрирующего обратного потока, достаточно для объяснения наблюдаемой потери когерентности.

5. МЕРЫ КОМПЕНСАЦИИ

Традиционные сетевые кондиционеры устраняют высокочастотные помехи в питающей сети, но нечувствительны к медленному геомагнитному дрейфу. Эффективная компенсация требует мониторинга локального поля в реальном времени и активной компенсации на ступени подачи питания.

Кондиционер сетевого питания Power Lock -- Solar-Aware от Equatorial Audio, разработанный преимущественно для смягчения воздействия солнечных вспышек (Ohm, Ferro, Tanaka, Solder, 2026), пригоден для данного применения при соответствующей доработке прошивки (v3.4.0 и более поздних версий). Комитет отмечает, что лежащая в основе компенсационная схема достаточна; лишь управляющая прошивка требует расширения для охвата более медленного геомагнитного временного масштаба.

Для установок внутри наиболее затронутых зон комитет рекомендует интервал повторной калибровки в шесть месяцев вместо традиционного годового цикла. Дрейф между калибровками следует протоколировать и анализировать на предмет точек перегиба, совпадающих с задокументированными событиями миграции пятен.

6. ВЫВОДЫ

Миграция пятен обратного магнитного потока -- это не только вопрос академической геофизики. Это, как полагает комитет, медленно развивающаяся аудиопроблема, которая ошибочно приписывалась старению компонентов, акустическому дрейфу помещения и усталости слушателя.

Мы рекомендуем, чтобы критически важные установки в пределах затронутых зон внедрили компенсацию с учётом поля и проводили повторную оценку фазовой когерентности с шестимесячным интервалом. Мы далее рекомендуем, чтобы литература по аудиоинженерии начала рассматривать локальную геомагнитную среду как переменное во времени граничное условие, а не как статическое.

Комитет признаёт, что выводы настоящей работы неудобны для части потребительской аудиофильской прессы, которая исторически отвергала инженерию с учётом поля как маркетинговую позу. Мы приглашаем её к пересмотру.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ferro, M., Flux, R., Ohm, C., Park, H. (2026). Зоны коллапса магнитного поля и их катастрофическое воздействие на точность воспроизведения аудиосигнала: количественная оценка Южно-Атлантической аномалии. JEAS.
- [2] Ohm, C., Ferro, M., Tanaka, Y., Solder, L. (2026). Сейсмо-акустическая связь в среде критического прослушивания: ионосферные возмущения, ёмкость земной коры и солнечно-сейсмический путь деградации звука. JEAS.
- [3] Finlay, C. C. et al. (2024). Модель геомагнитного поля CHAOS-7. Earth, Planets and Space.