

Магнитные критерии устойчивости хромосферных волокон

Березин И.А.^{1,2}, Тлатов А.Г.^{1,2}

1Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия
2Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, Элиста, Россия
iberalex@yandex.ru

На Кисловодской Горной Астрономической Станции (ГАС) ГАО РАН ведутся длительные синоптические наблюдения крупномасштабного магнитного поля на магнитографе СТОП и хромосферных волокон в линии Н-альфа. Проведён анализ положений волокон и магнитных полей над линиями смены полярности магнитного поля (polarity inversion lines, PIL). по данным PFSS-моделирования за период 2014–2026 гг. Рассчитаны профили индекса изменения поперечного магнитного поля с высотой n (decay index) и соответствующие критические высоты достижения различных пороговых значений n для широкого набора точек на Солнце, включая как активные, так и спокойные области. Выполнено сопоставление с синоптическими картами волокон. Результаты указывают на отсутствие прямой и однозначной связи между критической высотой и наличием волокна в данной области PIL. Области с волокнами демонстрируют широкий разброс значений критической высоты, который перекрывается с распределением для областей без волокон. Таким образом, сам факт достижения критического порога n не является ни необходимым, ни достаточным условием для формирования волокна. Скорее, формирование и устойчивое существование волокон определяется более тонкими характеристиками профиля магнитного поля: крутизной его спада или роста на характерных высотах, абсолютной величиной и направлением поперечной компоненты, и другими.

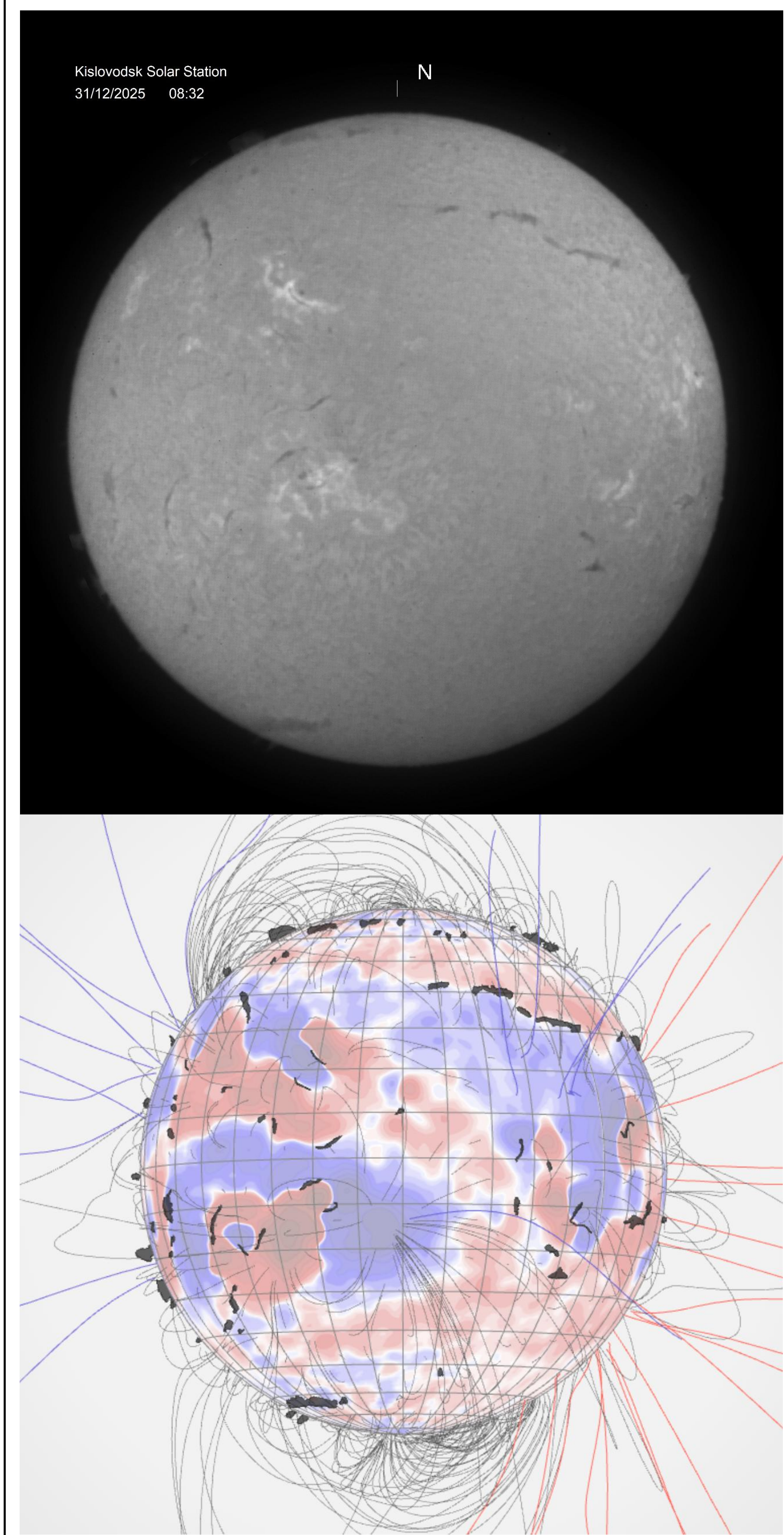


Рис. 1. Сверху: изображение Солнца в ядре линии Н-альфа (ГАС) 31.12.2025. Снизу: распределение магнитных полей по данным СТОП с силовыми линиями в PFSS приближении и положение солнечных волокон https://obsun.ru/2025-12-31_06

Солнечные волокна являются крупномасштабными долгоживущими структурами, располагающимися над линиями смены полярности (PIL) фотосферного магнитного поля. Несмотря на многочисленные исследования эруптивных процессов, условия формирования и устойчивого существования неэруптивных волокон остаются недостаточно изученными.

В данной работе исследуется вопрос о том, отличаются ли линии смены полярности, над которыми наблюдаются волокна, от PIL без волокон с точки зрения структуры вышележащего коронального магнитного поля.

Данные

Анализ выполнен на основе синоптических карт магнитного поля и карт хромосферных волокон для кэррингтоновских оборотов 2152 – 2308. Синоптические карты магнитного поля построены из ежедневных измерений магнитографа СТОП. Синоптические карты волокон сформированы из ежедневных масок волокон, полученных из наблюдений в линии Н-альфа на ГАС. Набор данных охватывает значительную часть 24-го и 25-го циклов солнечной активности и позволяет проводить статистическое исследование магнитных условий над PIL на глобальных масштабах.

Методика

По синоптическим магнитограммам определяются линии смены полярности. Для этого синоптические карты магнитного поля предварительно аппроксимируются сферическими гармониками. Наличие хромосферных волокон, «связанных» с теми или иными участками PIL определяется по соответствующим картам волокон.

Для каждой PIL рассчитывается корональное магнитное поле в PFSS-приближении с 90 гармониками и определяется высотный профиль тангенциальной компоненты магнитного поля над линией смены полярности. На основе этих профилей вычисляется decay index:

n = - d(ln B_t) / d(ln h),

где B_t — тангенциальная компонента магнитного поля, h — высота над фотосферой (рис. 2).

В качестве одного из параметров рассматривается критическая высота — высота, на которой decay index достигает характерных пороговых значений (например, (n=1) или (n=1.5)), соответствующих условиям развития тороидальной неустойчивости магнитного жгута.

Проводится сравнение профилей decay index и характерных критических высот (рис. 3) для:

- Участков PIL, связанных с волокнами;
- Участков PIL, над которыми волокна отсутствуют.

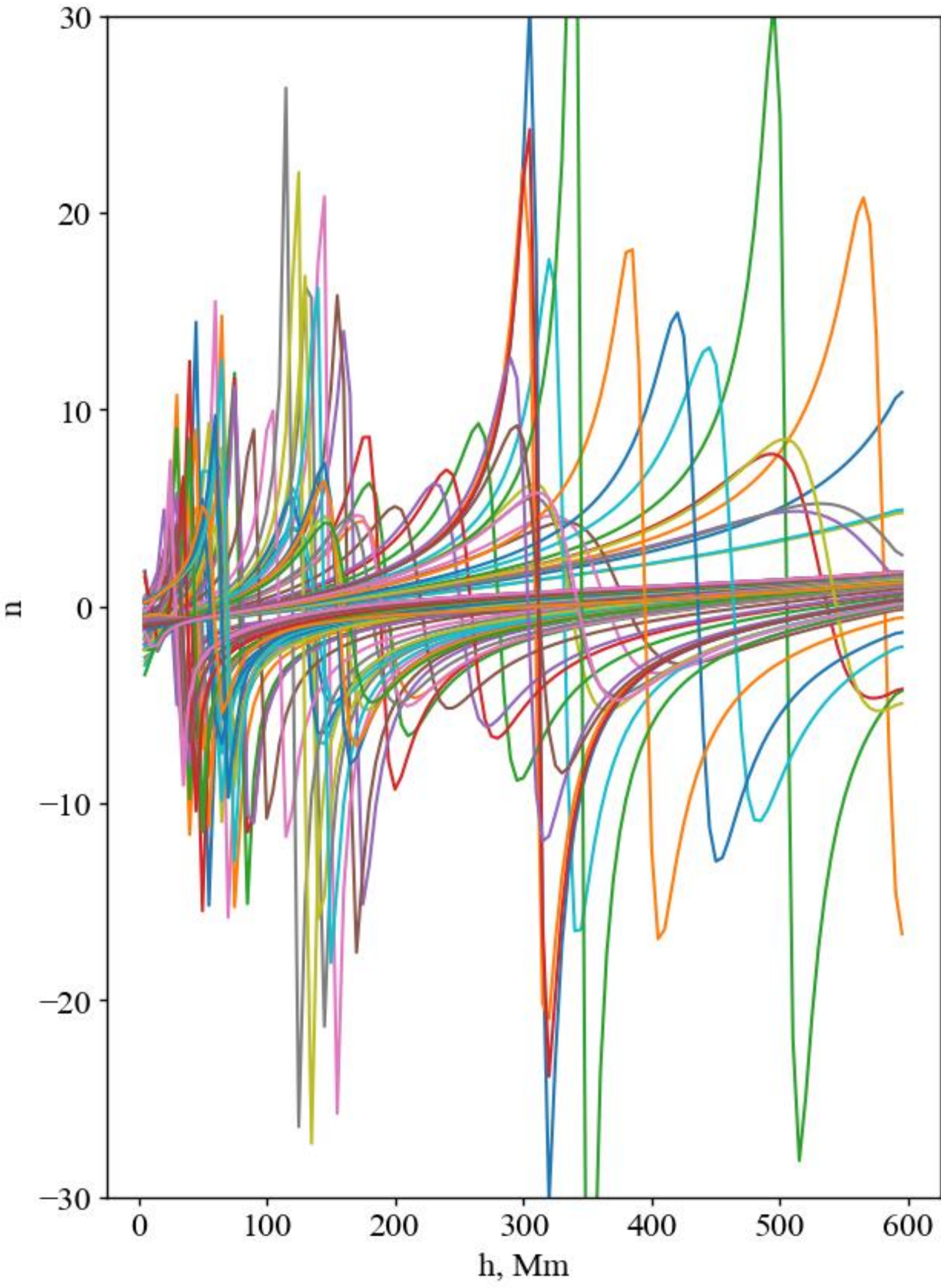


Рис. 2. Зависимость decay index от высоты для разных точек над PIL для 2158 оборота Кэррингтона

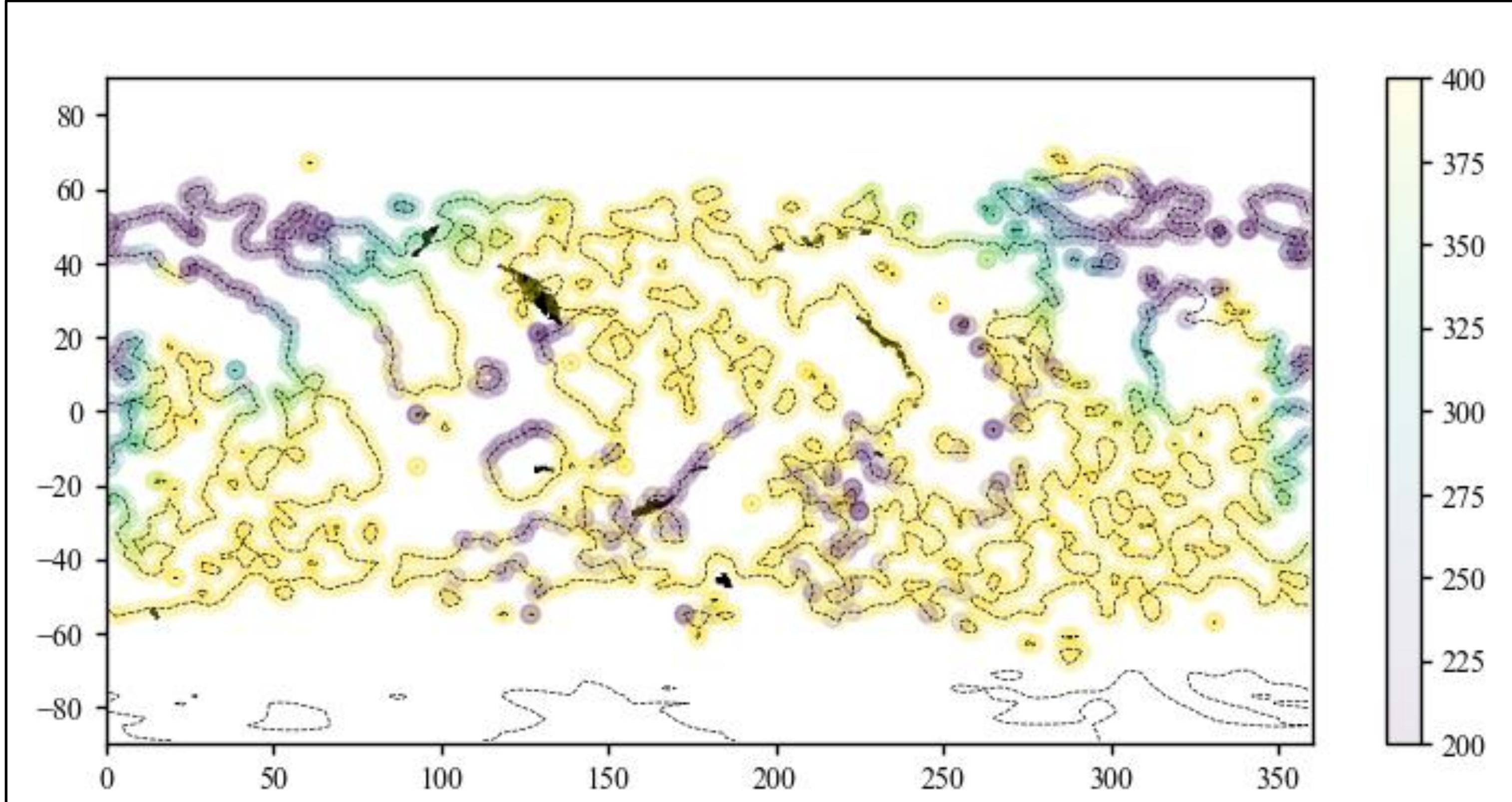


Рис. 3. Расчёты для 2158 оборота Кэррингтона. Пунктирными линиями обозначены PIL, чёрным цветом – волокна по данным наблюдений в линии Н-альфа. Цвет демонстрирует величину критической высоты n = 1

Выводы

Полученные результаты предварительного статистического анализа показывают, что критические высоты, определяемые по профилям decay index, демонстрируют значительный разброс как для PIL с волокнами, так и для PIL без волокон, без выраженного разделения между этими двумя выборками.

Полученный результат также свидетельствует о том, что критическая высота, связанная с условиями тороидальной неустойчивости, сама по себе не является достаточным критерием существования хромосферного волокна. Следует отметить, что профили decay index над различными участками PIL часто имеют сложную немонотонную структуру. В ряде случаев наблюдаются несколько локальных максимумов и точек перегиба, а также существенно различающиеся скорости изменения decay index с высотой.

Это указывает на то, что описание магнитных условий над волокнами только через одну характеристическую критическую высоту может быть недостаточным. Более информативным может оказаться анализ полной формы профиля decay index, включая наличие локальных максимумов, характерных масштабов изменения и высотных интервалов с различным режимом изменения магнитного поля.