



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Факультет физики
Базовая кафедра Институт Космических Исследований

«ОСОБЕННОСТИ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ (АКР) В СЕВЕРНОМ И ЮЖНОМ ПОЛУШАРИЯХ ЗЕМЛИ»

Выполнил студент Колпак Валерия Игоревна
Научный руководитель Могилевский Михаил Менделевич

Москва, 2021



ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

- 1) Используя данные спутника ERG и особенности его орбиты, исследовать свойства АКР вблизи области магнитной эклиптики: сезонная зависимость, зависимость от геомагнитной активности.**
- 2) Провести статистический анализ интенсивности АКР от источников в северном и южном полушариях.**
- 3) Проанализировать отдельные случаи симметричности/асимметричности процессов в северной и южной авроральных областях Земли.**



МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ АКР

Авроральное километровое радиоизлучение (АКР) представляет собой мощное естественное радиоизлучение в диапазоне частот 30-700 кГц (максимум излучения наблюдается от 100 до 300 кГц), генерируемое в околоземной плазме и распространяющееся от Земли.

АКР генерируется в авроральной магнитосфере в областях с пониженной плотностью плазмы (каверна Кальверта), где электронная плазменная частота ниже, чем гирочастота электронов [$\omega_{pe} = (4\pi e^2 N/m)^{1/2} < \omega_{ce} = eB/mc$]. Излучение происходит на локальной гирочастоте электронов, источником энергии являются сверхтепловые электроны (несколько кэВ), которые инжектируются из хвоста магнитосферы в ее внутренние области во время геомагнитных возмущений.

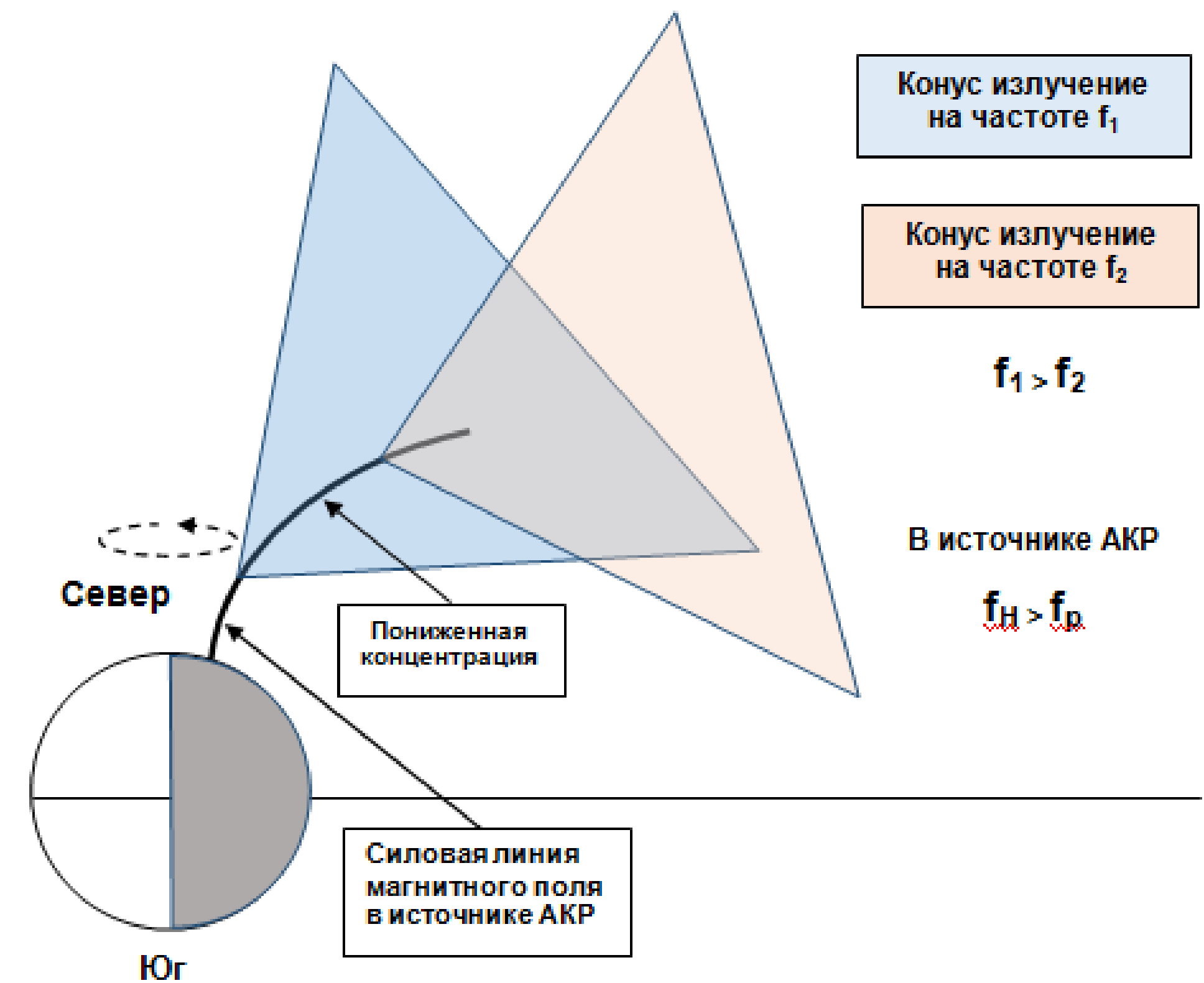


Рис. 1 Диаграмма направленности для источника АКР.

ОРБИТА СПУТНИКА ERG

Спутник ERG, запущен на высокоэллиптическую орбиту с небольшим наклоном 31° . Его перигей составляет 300 км, а апогей 33 200 км.

В этой работе используются результаты измерения электрической компоненты поля в диапазоне частот от 10 кГц до 10 МГц, в который попадают АКР.

Период обращения спутника по орбите составляет около 8 часов (три орбиты в сутки).

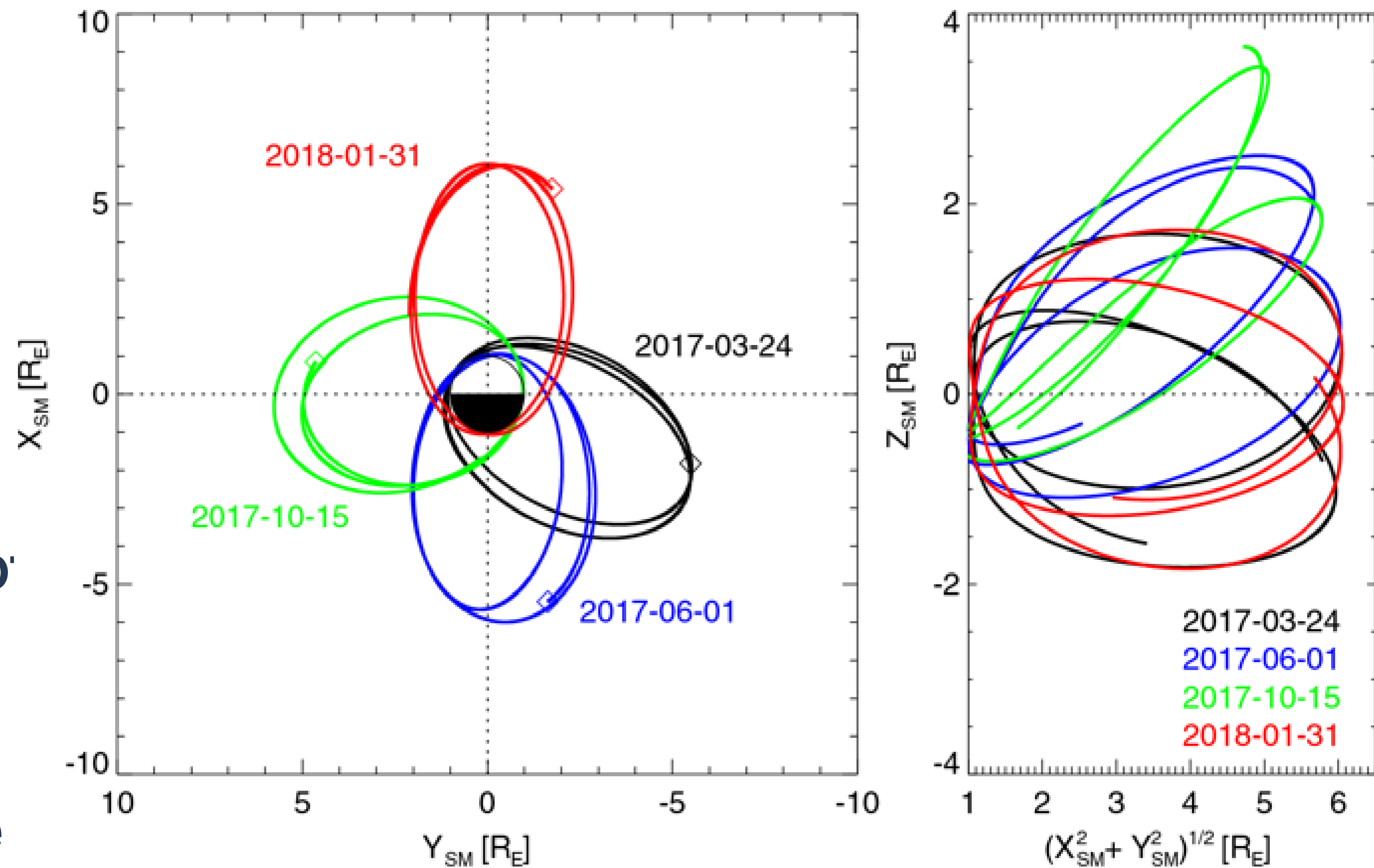


Рис. 2 Положение орбиты спутника ERG с 24 марта 2017 по 31 января 2018



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НА СПУТНИКЕ ERG

На первом этапе были использованы результаты первичной обработки измерений электромагнитных полей, полученных в эксперименте PWE, выполненных стандартными программами проекта и размещенные на сайте проекта https://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/cef/test/erg_test.cgi?site. Пример таких данных приведен на рисунке 3 – динамической спектрограмме результатов измерения электрической компоненты ЭМ поля в диапазоне частот до 10 МГц.

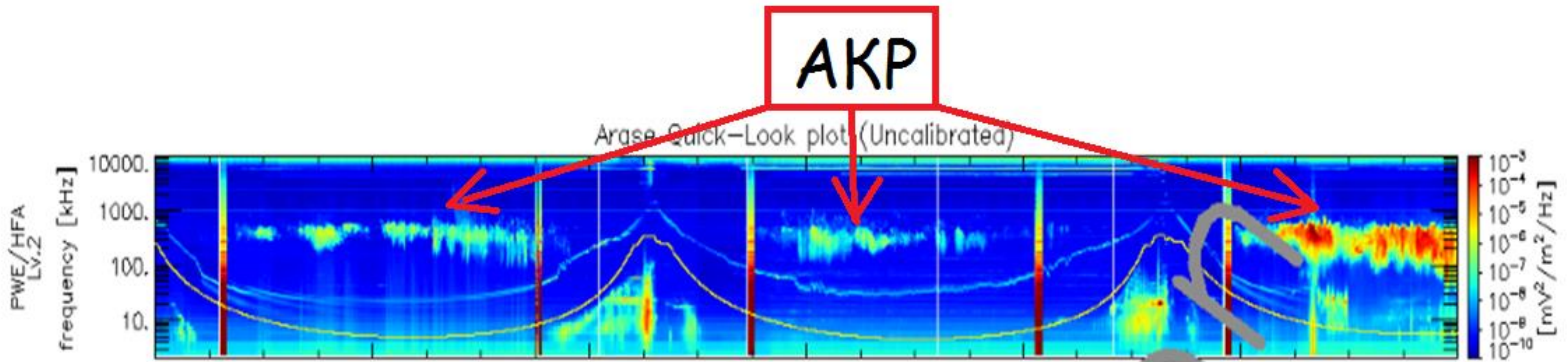


Рис. 3 Пример динамической спектрограммы излучений, зарегистрированных на борту спутника в течении суток (трех витков).



СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

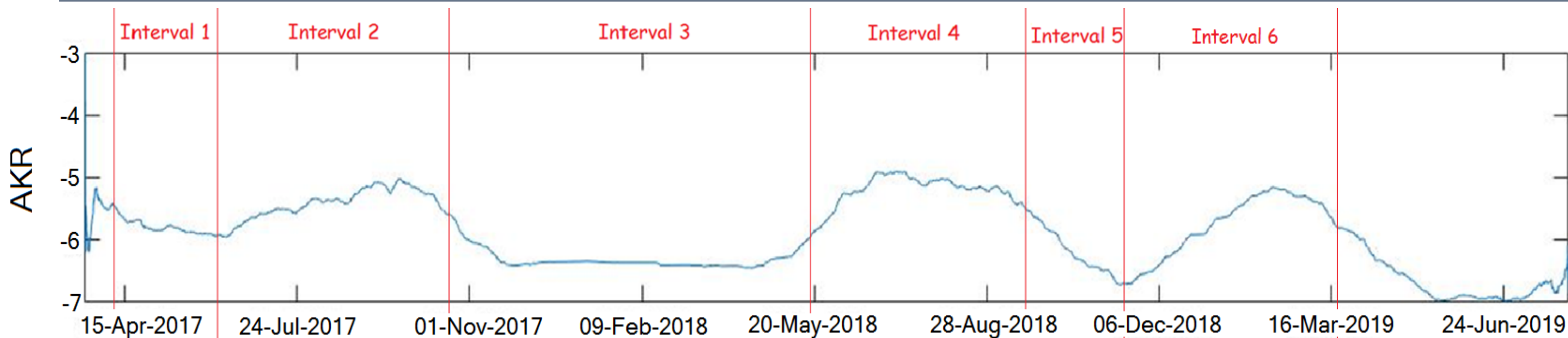


Рис. 4 Средние значения интенсивности АКР в логарифмическом масштабе, полученные путем усреднения 2-х часовых значений за месяц.

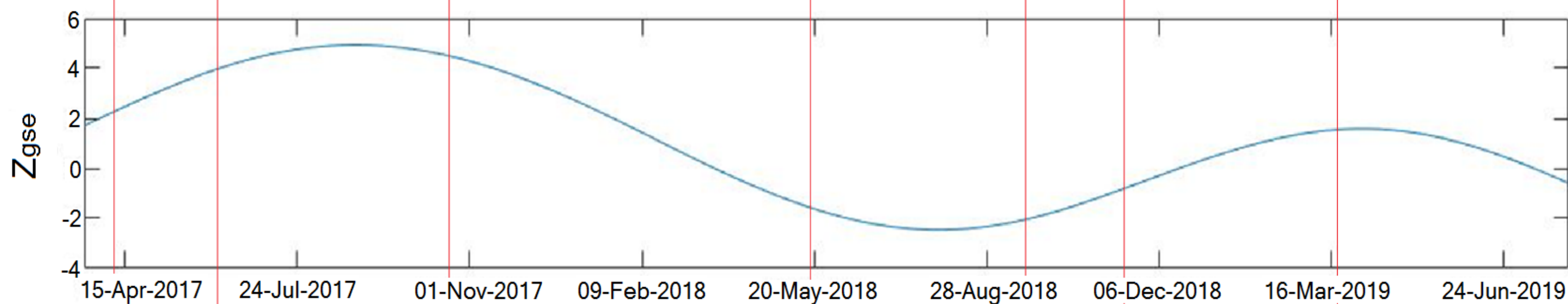


Рис. 5 Эволюция Z (км) координаты положения апогея спутника в системе GSE (отклонение от плоскости эклиптики).

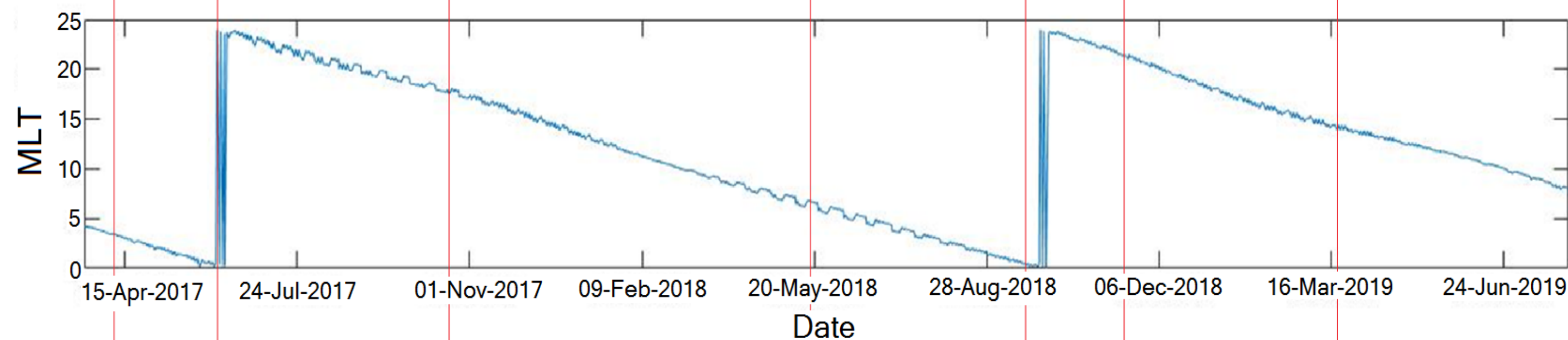
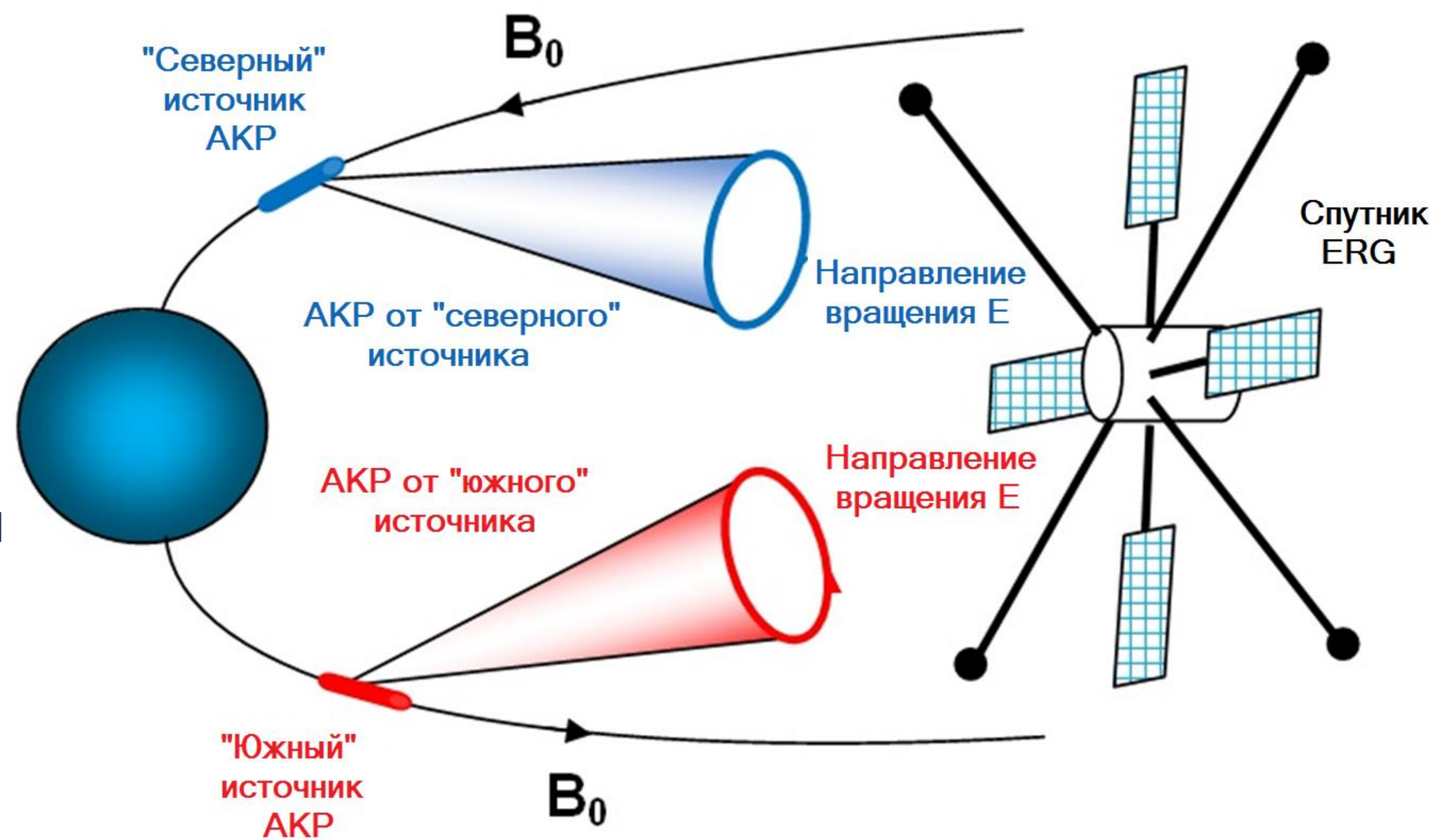


Рис. 6 Магнитное местное время положения апогея спутника.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОЛЯРИЗАЦИИ АКР

АКР генерируется электронами и это излучение на выходе из источника имеет преимущественно электронную (правую) поляризацию. Но поскольку излучение от северных и южных источников приходит на приемник с разных сторон, то эти излучения воспринимаются как излучения с противоположными поляризациями. Направление поляризации вычисляется на борту спутника ERG, что позволяет определить местоположение источника АКР. На поляризационной спектрограмме синий цвет соответствует источникам на Севере, красный – на Юге.





НОЧНАЯ ОБЛАСТЬ (MLT = 18 – 06; Z > 0) – ИНТЕРВАЛ 2

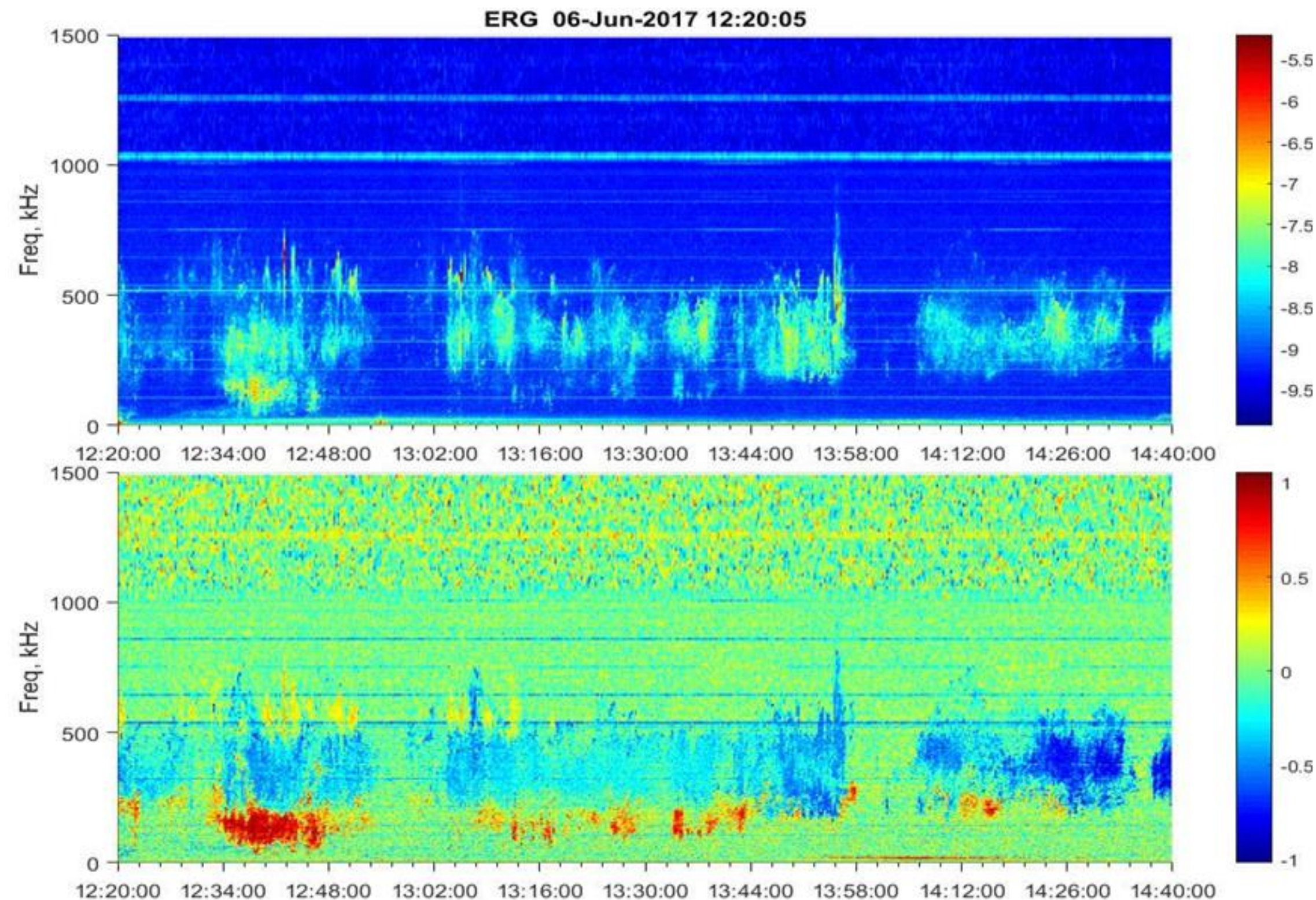


Рис. 7 Спектрограммы амплитуды (вверху) и поляризации (внизу) АКР.

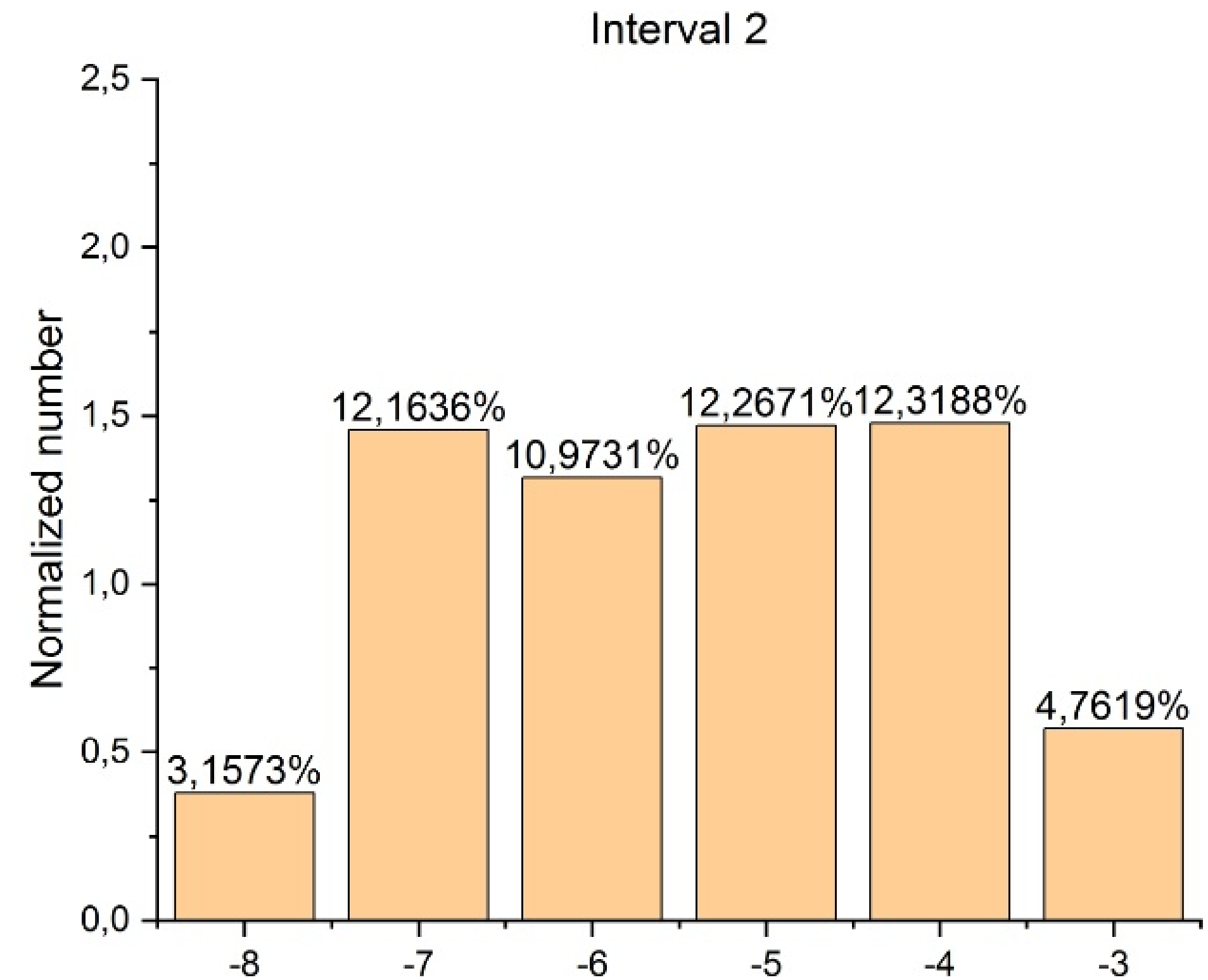


Рис. 8 Распределение интенсивности АКР «северных» источников, интервал 2.

В этом интервале положение апогея спутника было смещено в сторону северного полушария ($Z > 0$) и на спутнике наблюдались излучения, преимущественно от "северных" источников. Поскольку в этот период в северном полушарии было лето, то средняя мощность излучения несколько ниже, а ширина спектра - узкая.



НОЧНАЯ ОБЛАСТЬ (MLT = 18 – 06; Z < 0) – ИНТЕРВАЛ 4

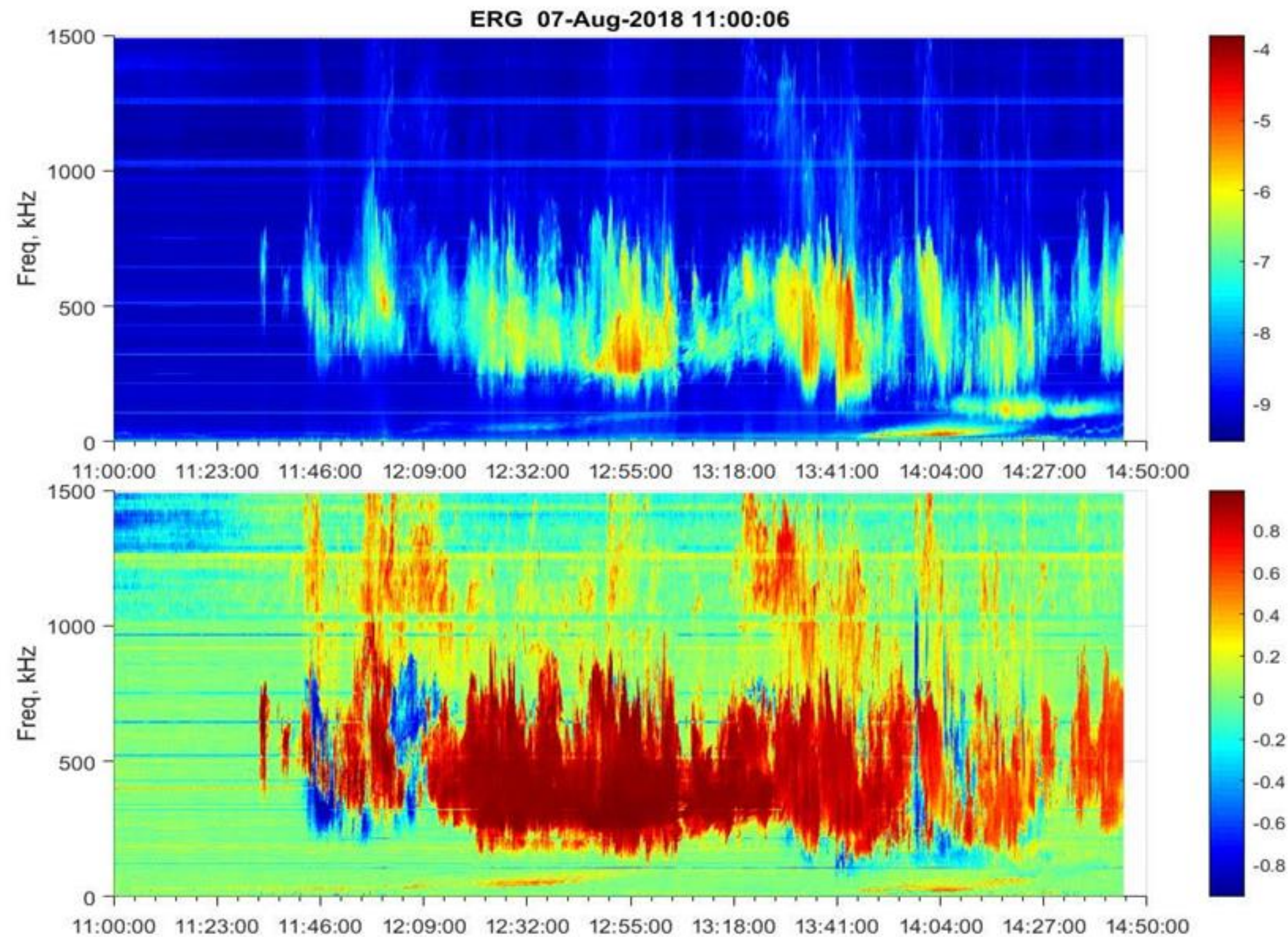


Рис. 9 Спектрограммы амплитуды (вверху) и поляризации (внизу) АКР.

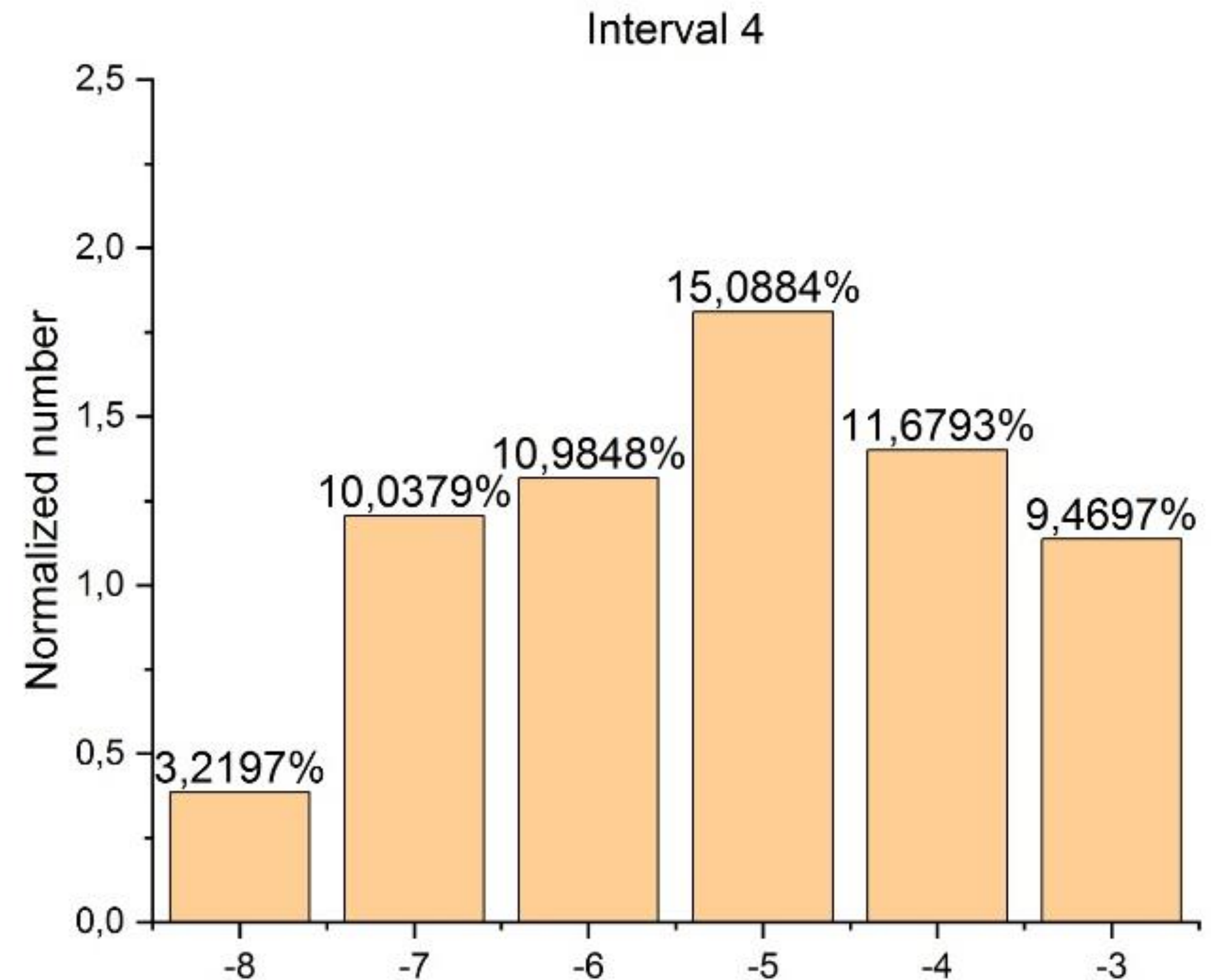


Рис. 10 Усредненные спектры интенсивности АКР «южных» источников, интервал 4.

В этом интервале положение апогея спутника было смещено в сторону южного полушария ($Z < 0$) и на спутнике наблюдались излучения, преимущественно от "южных" источников. В южном полушарии в это время была местная зима и поэтому средняя интенсивность несколько выше, чем в предыдущем интервале (больше максимумов).



СРАВНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ АКР ОТ СЕВЕРНЫХ И ЮЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ

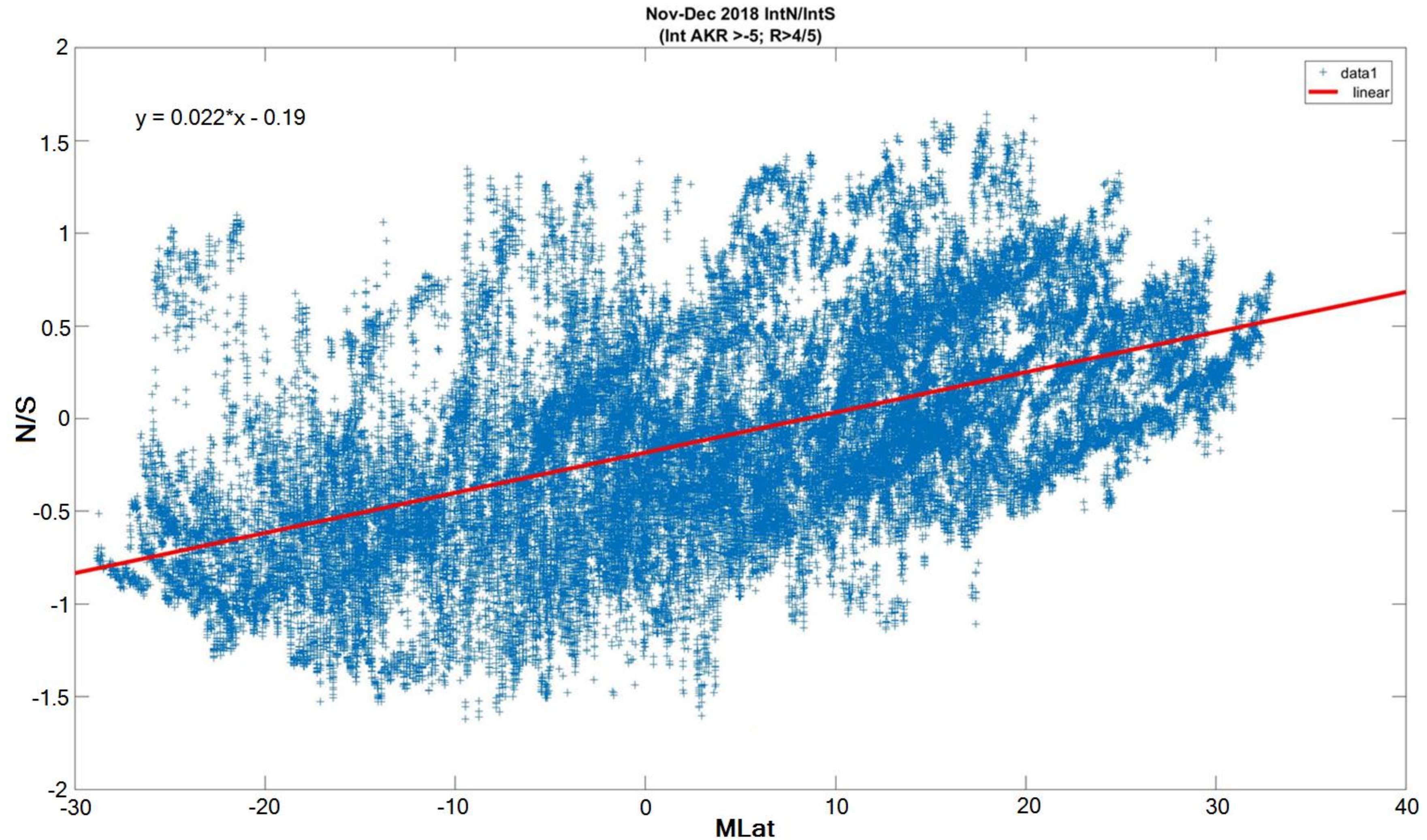


Рис. 11 Изменение отношения N/S в зависимости от магнитной широты спутника.
Красная линия – линейная аппроксимация.



ОДНОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ АКР ОТ «СЕВЕРНЫХ» И «ЮЖНЫХ» ИСТОЧНИКОВ

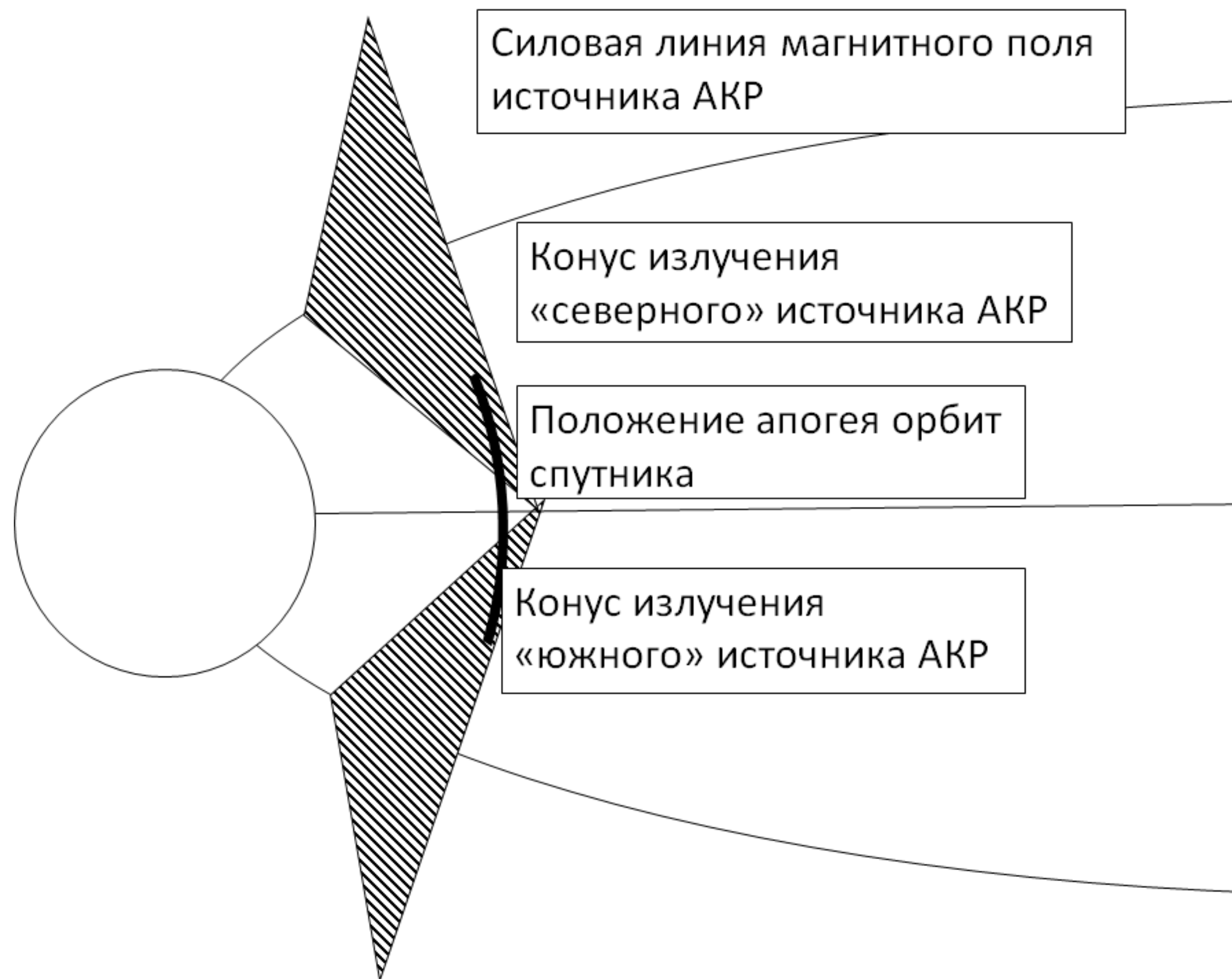


Рис. 12 Схема одновременных измерений АКР от «северных» и «южных» источников.

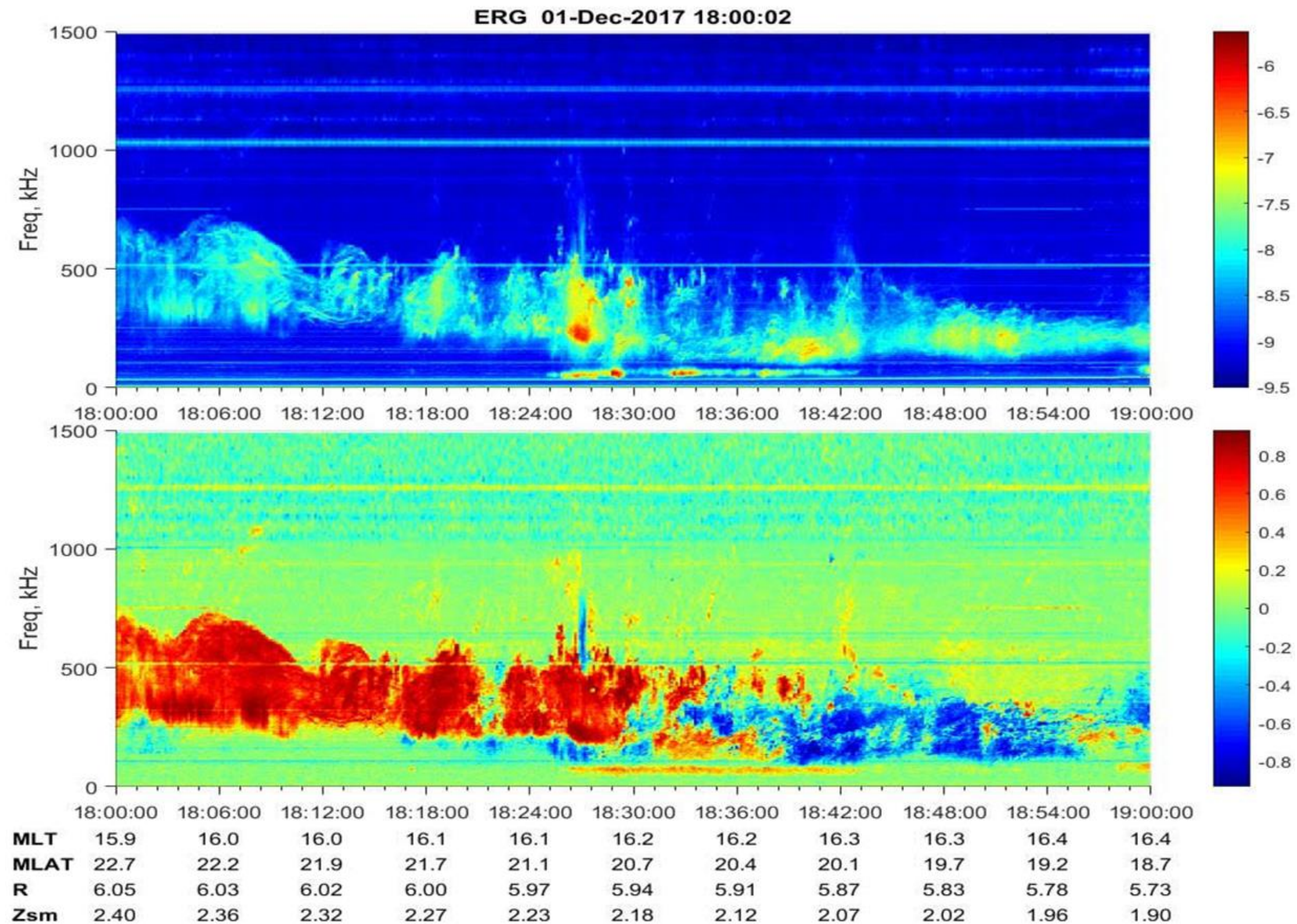


Рис. 13 Спектрограммы амплитуды (вверху) и поляризации (внизу) АКР.



ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ АКР ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

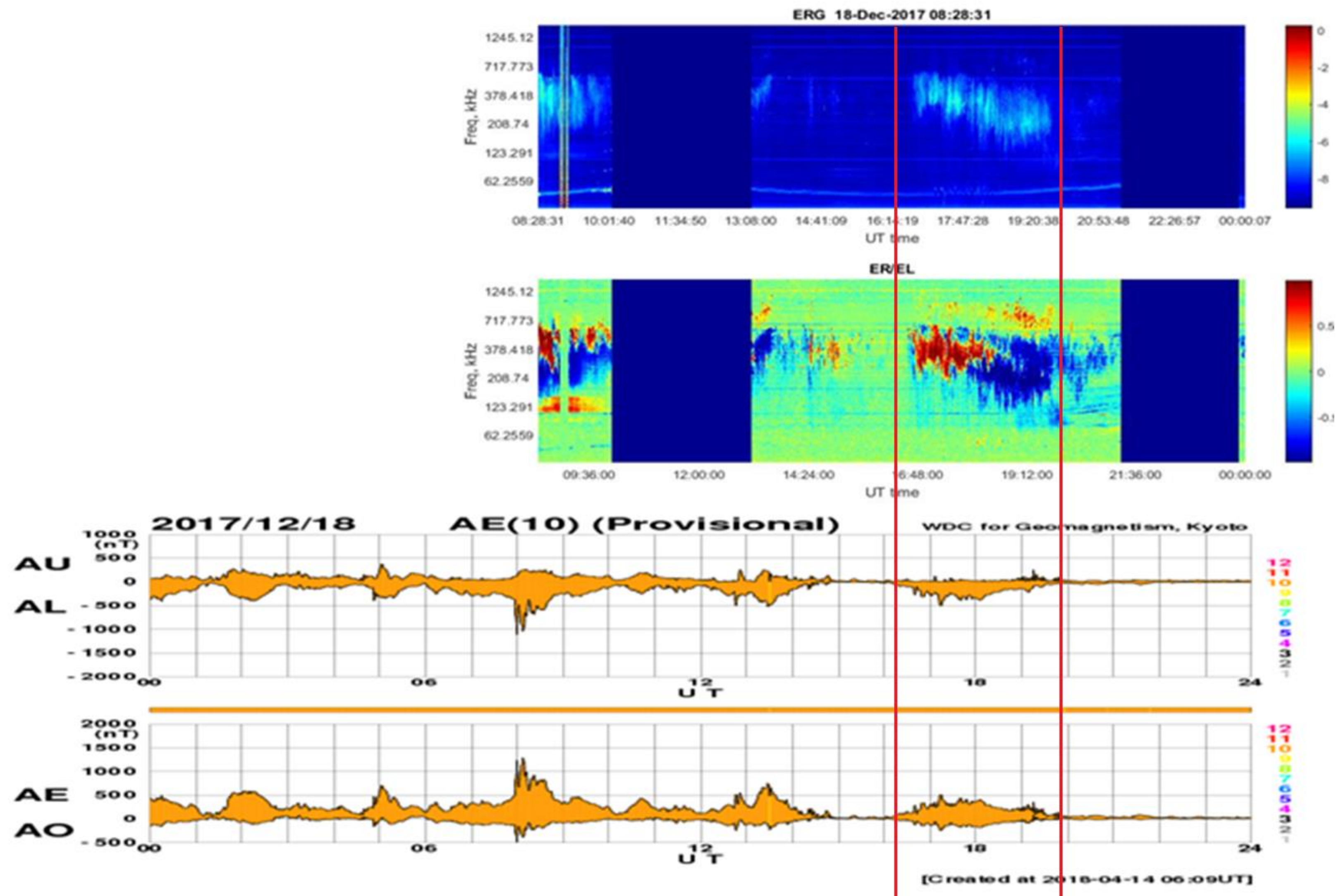


Рис. 14 Сравнение пиков активности АКР с геомагнитной активностью.



ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ АКР ОТ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

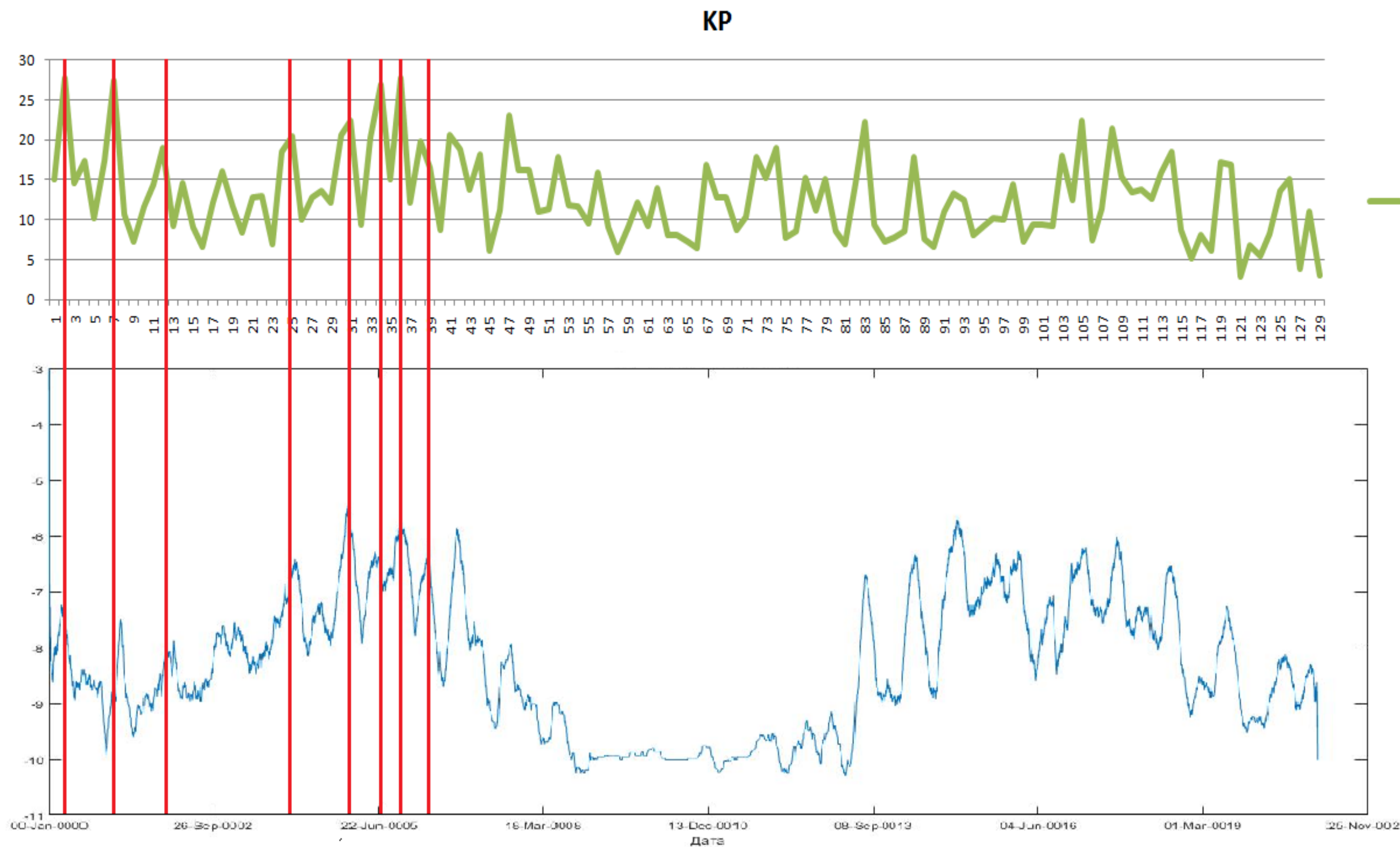


Рис. 15 Сравнение пиков активности АКР и Kp.

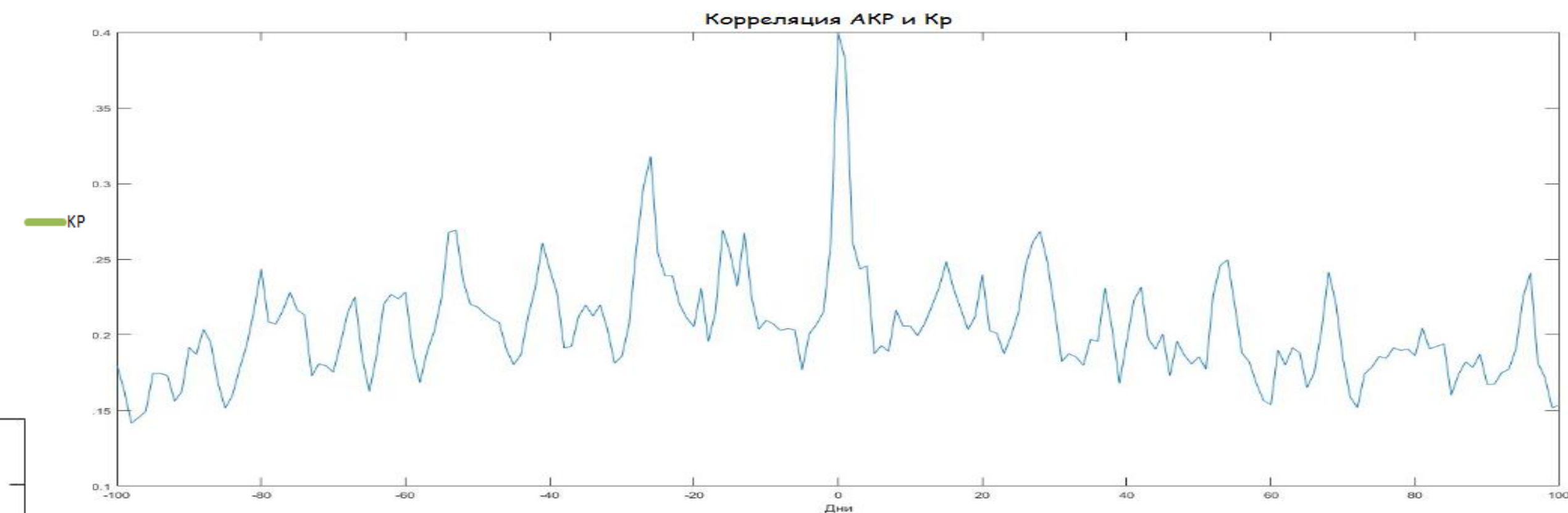


Рис. 16 Корреляция АКР и Kp.

$$\hat{R}_{xy}(m) = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-m-1} x_{n+m} y_n^*, & m \geq 0, \\ \hat{R}_{yx}^*(-m), & m < 0. \end{cases}$$

Рис. 17 Формула корреляции, используемая в пакете Matlab.



ВЫВОДЫ

Впервые на одном спутнике были одновременно зарегистрированы сигналы АКР от источников в авроральных областях северного и южного полушарий.

Статистическая обработка большого массива измерений АКР (более 20 месяцев непрерывных измерений) позволила сделать оценку величины конуса диаграммы направленности излучения АКР: в вечернем секторе раствор конуса излучения составляет ± 45 градусов, а в утреннем секторе магнитосферы ± 30 градусов.

Используя поляризационные измерения, были выделены две группы источников АКР: одна из них расположена ближе к полюсу, а другая – ближе к экватору. Предложены схемы, которые позволяют объяснить различные изменения интенсивности и доминирования северных и южных источников.

Сравнение интенсивности АКР с геомагнитной активностью подтвердило сильную зависимость излучения от геомагнитных условий. Статистический анализ всплесков АКР показывает, что крупномасштабное повышение (понижение) АКР активности с характерными временами $\sim 1-2$ часа и более часто происходит одновременно на севере и на юге.



АПРОБАЦИЯ

Конференции

- 1) XVII Конференция молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования» ИКИ РАН, Москва, 30 сентября–2 октября 2020 г.
- 2) Шестнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе» ИКИ РАН, Москва, 8–12 февраля 2021 г.
- 3) 3rd ISEE Symposium PWING-ERG Conference and school on the inner magnetosphere. ISEE, Nagoya University, Япония, 8–12 марта 2021 г.
- 4) XVIII Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» ИКИ РАН, Москва, 14–16 апреля 2021 г.

Публикации

- Статистические свойства аврорального километрового радиоизлучения по наблюдениям на спутнике ERG (Arase), Солнечно-земная физика, т. 7, № 1, с. 55–63 (2021)
- Одновременное наблюдение аврорального километрового радиоизлучения от северных и южных источников, «Известия Российской академии наук. Серия физическая»(2021) – принято в печать.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!