



Проблемы космофизики

Дубна, 10-13 июля 2023 г.

Влияние изменения магнитного поля на потоки высыпающихся и захваченных энергичных заряженных частиц на низкоорбитальных спутниках во время суббурь

Т.А. Яхнина, Т.А. Попова, А.Г. Демехов, А.А. Любич
Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

tyahnina@gmail.com

Работа поддержана грантом РФФ № 22-62-00048.

Введение

- В данной работе мы рассматриваем суббуревые и послесуббуревые периоды, во время которых чаще всего регистрируются высыпания релятивистских (>800 кэВ) электронов (ВРЭ) и потоки захваченных энергичных (~ 100 кэВ) протонов. В эти периоды в авроральной и субавроральной областях наблюдаются возмущения магнитного поля. Типичными проявлениями этих возмущений на поверхности Земли являются геомагнитные пульсации - квазипериодические колебания геомагнитного поля в диапазоне частот Pc1 (1-5 Гц). Целью данной работы является изучение влияния уменьшения магнитного поля в районе Южно-Атлантической (Бразильской) магнитной аномалии на потоки энергичных протонов и релятивистских электронов.
- В результате развития ионно-циклотронной неустойчивости во внутренней магнитосфере происходит генерация электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн (геомагнитных пульсаций Pc1 на поверхности Земли) и питч-угловая диффузия протонов, что приводит к заполнению конуса потерь и, следовательно, к высыпанию энергичных протонов. Наряду с сильной диффузией, когда потоки нередко становятся изотропными, протонные всплески могут наблюдаться только в потоках захваченных частиц [1]. Возможно, это связано со слабой диффузией, когда потоки частиц вне конуса потерь становятся более изотропными, но конус потерь не заполняется. Такие случаи часто соответствуют слабоинтенсивным пульсациям на частотах выше 2 Гц, которые генерируются в водородной полосе [2].

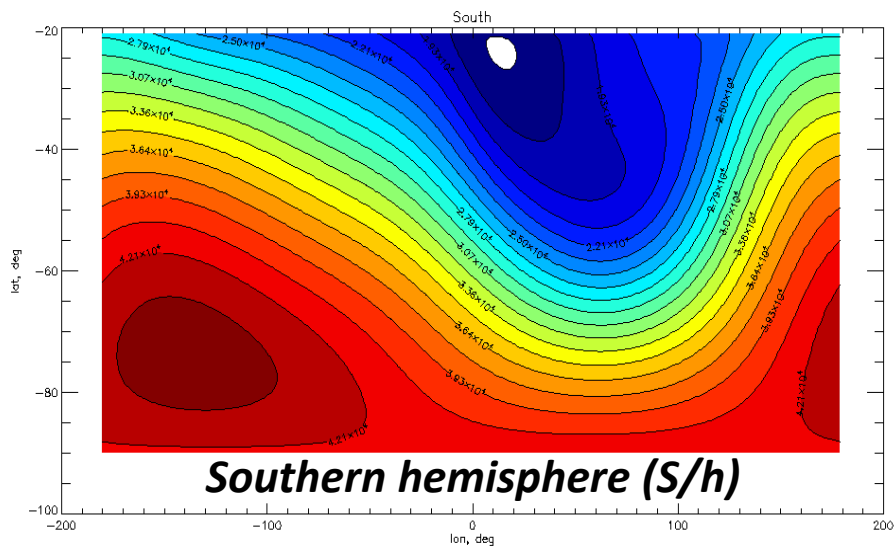
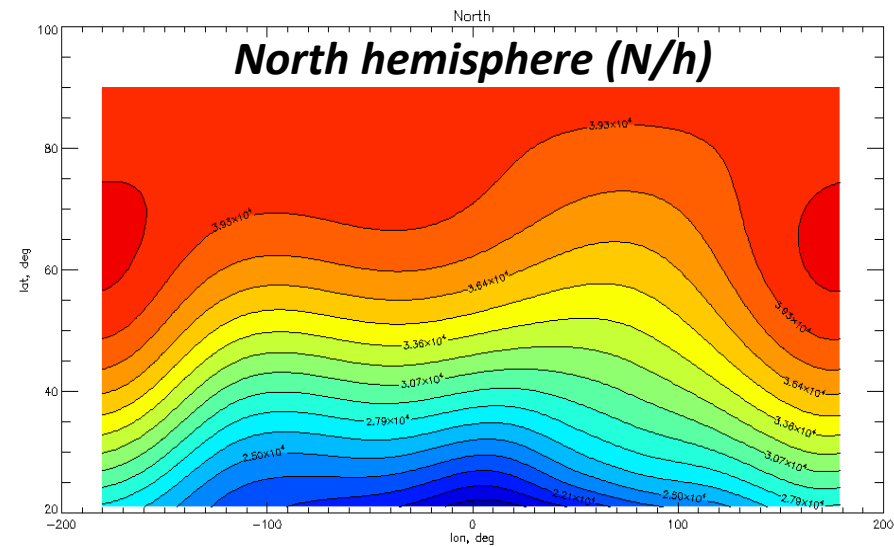
1. Yahnina T.A., A.G. Yahnin, J. Kangas, J. Manninen, Localized enhancements of energetic proton fluxes at low altitudes in the subauroral region and their relation to the Pc1 pulsations // *Cosmic Research*, V.40, No. 3, 213-223, 2002.

2. Yahnina T.A., Demekhov A.G., Lubchich A.A., Fedorenko Y.V., Ermakova E.N. Localization of magnetospheric sources of the Pc1 range geomagnetic pulsations from observations of energetic charged particle precipitation for the June 20, 2013 event // *Physics of Auroral Phenomena, Proc. XLV Annual Seminar*. 2022. P. 66-69.

Межполушарная асимметрия магнитного поля

Представлено магнитное поле, рассчитанное для высоты 850 км в двух полушариях на всех долготах и на широтах 20-90 град AACGMlat (Altitude-Adjusted Corrected Geo Magnetic Coordinates). Расчеты проводились с использованием модели внутреннего поля Земли IGRF (International Geo Magnetic Reference Field) в программном комплексе GEOPACK-2008 (Цыганенко Н.А.).

Наиболее слабое поле ($<2,5 \times 10^4$ нТл) наблюдается вблизи экватора на долготах от -120 до 120 град AACGMlon. В С п/ш - на широтах 20-40 град AACGMlat, в Ю п/ш - от -20 до -65 град AACGMlat. Это район Южно-Атлантической (Бразильской) магнитной аномалии, где магнитное поле составляет $(1,9-2,3) \times 10^4$ нТл. Для сравнения: магнитное поле в субавроральных (60-70 град AACGMlat) широтах на высоте 850 км достигает $4,5 \times 10^4$ нТл.



Событие 31 марта 2015

V_{sw} , km/s

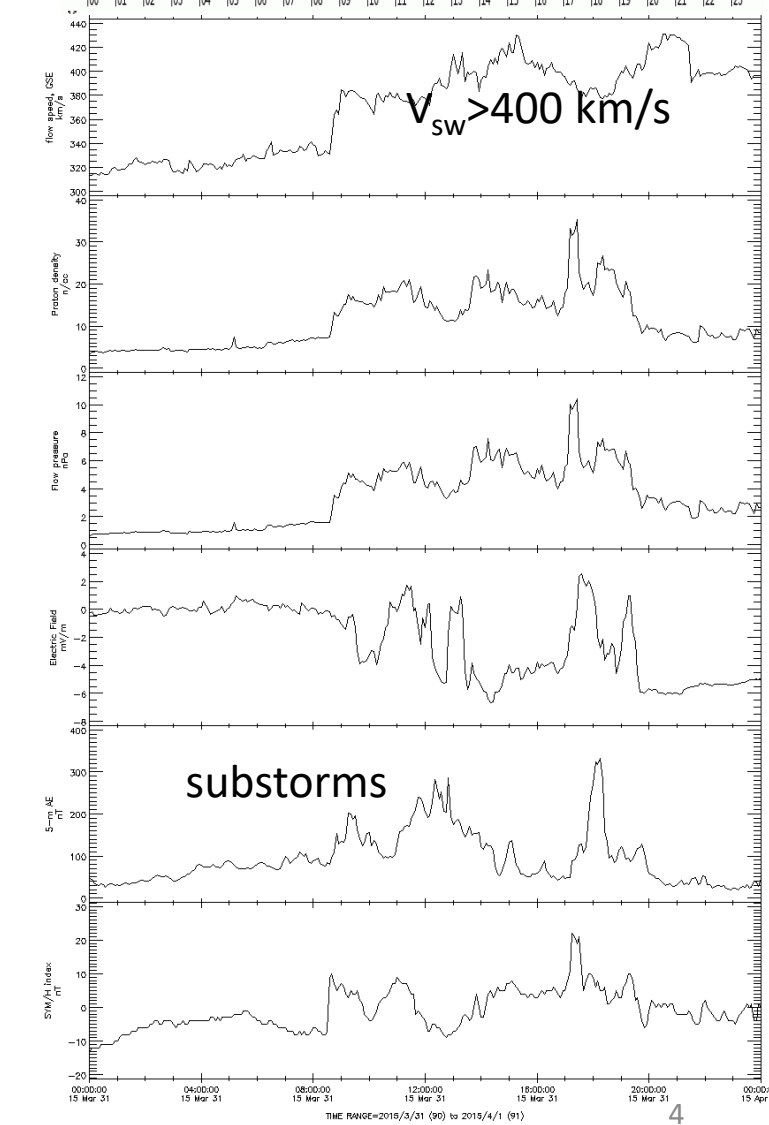
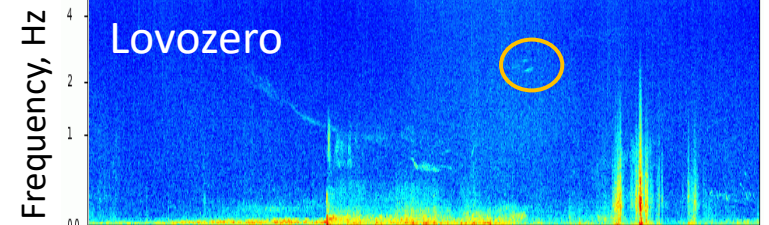
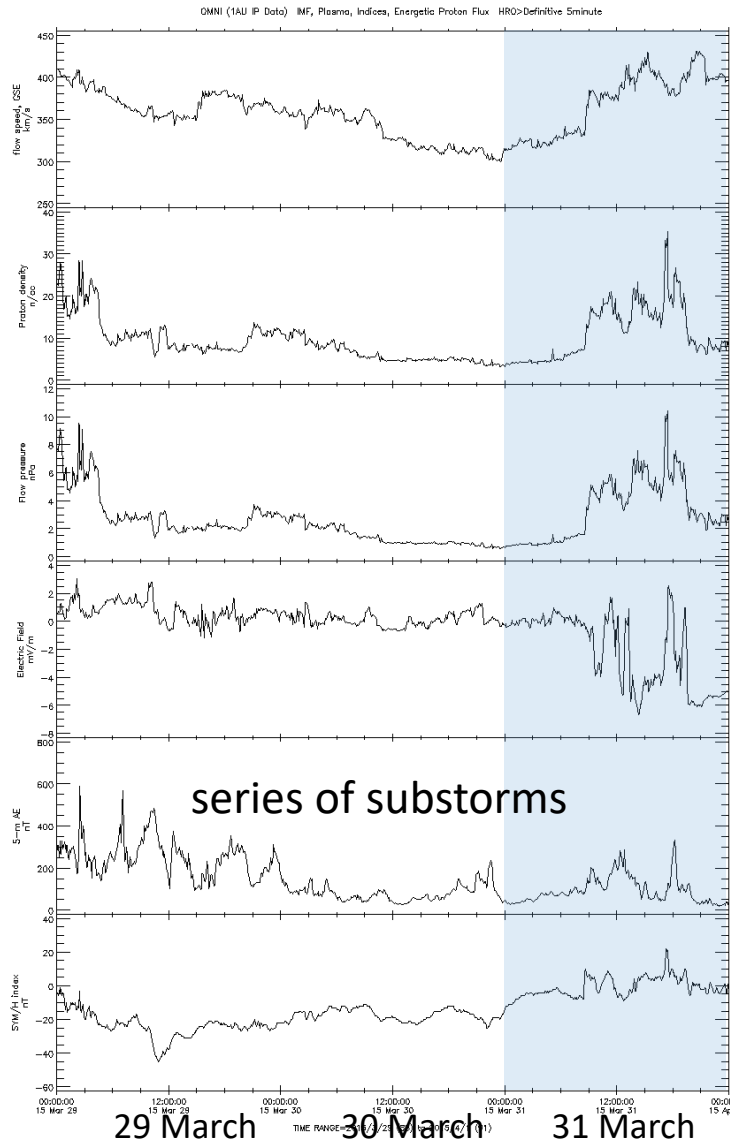
N , cm^{-3}

P , nPa

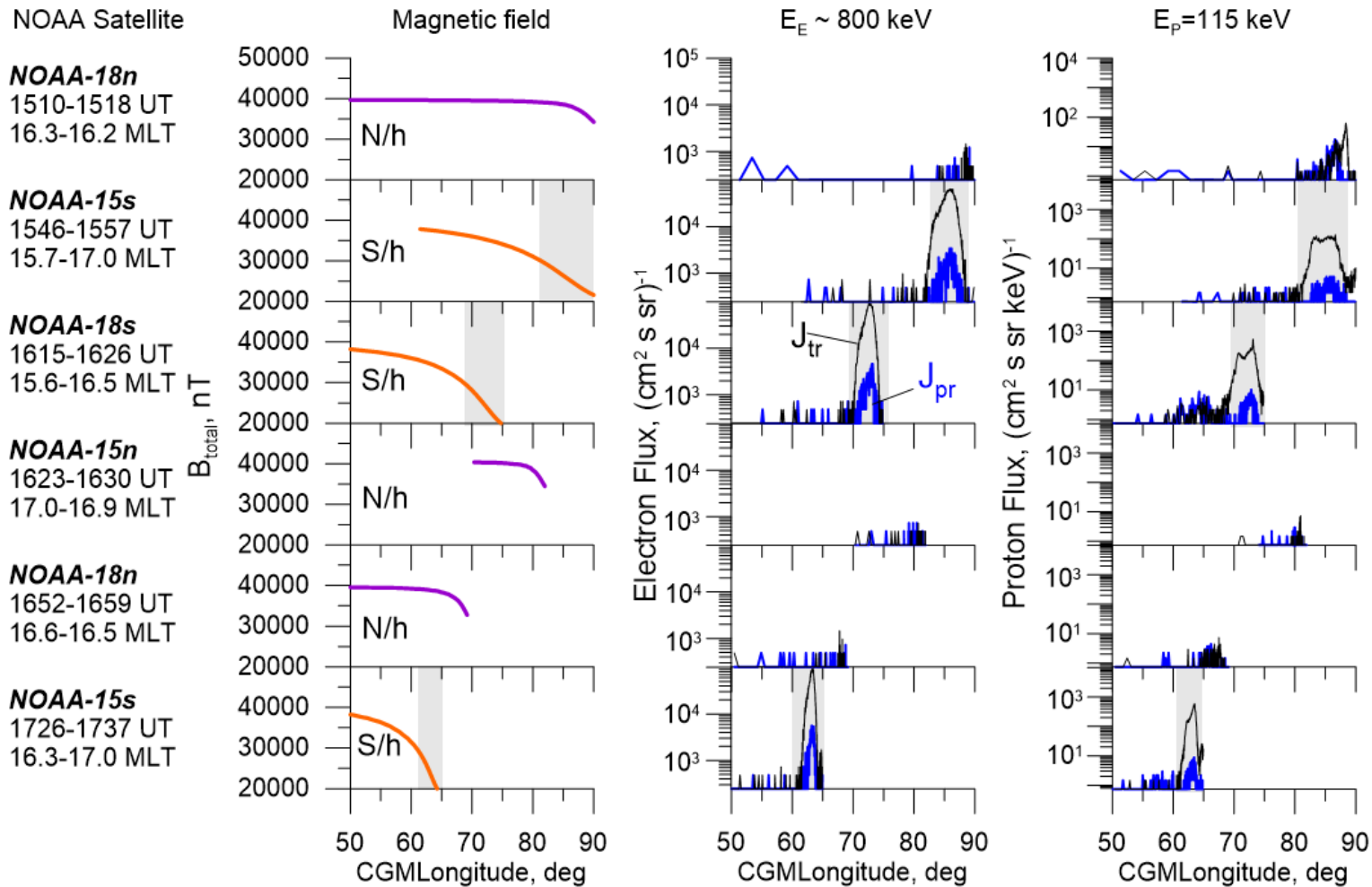
E , mV/m

AE, nT

SYM-H, nT

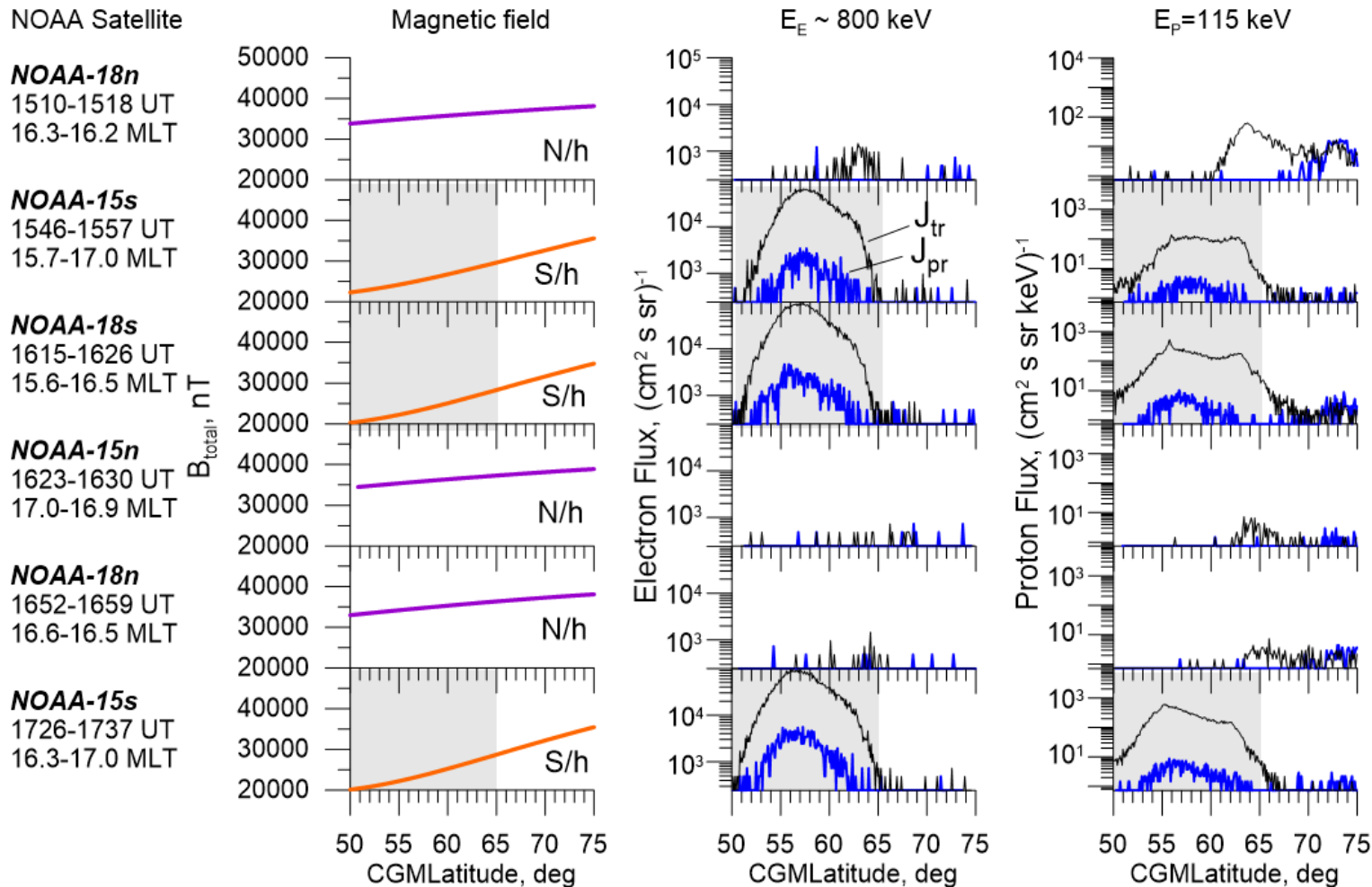


Влияние напряженности магнитного поля на потоки релятивистских электронов и энергичных протонов, наблюдаемых 31 марта 2015



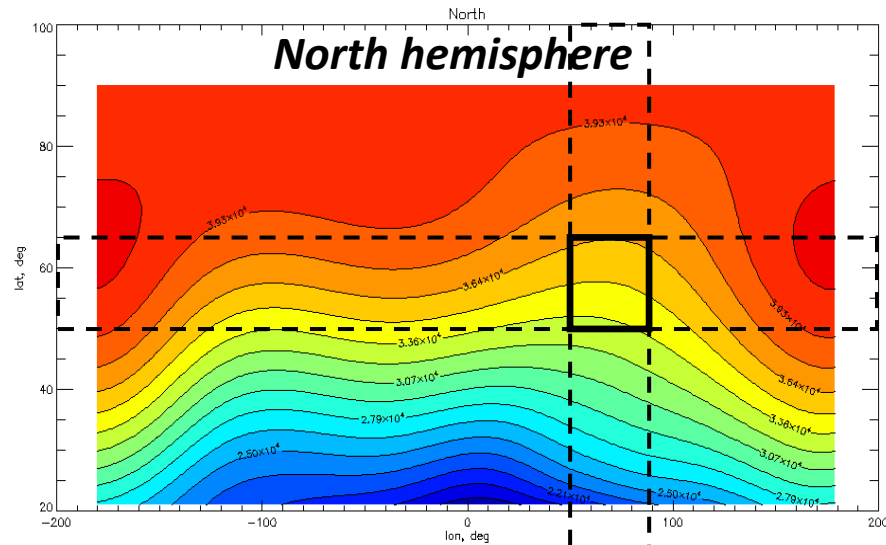
Во время пролетов в Ю п/ш на долготах 60-90 град CGMLon, когда магнитное поле становится меньше 3×10^4 нТл (выделено серым цветом), наблюдаются высыпания релятивистских электронов и энергичных протонов (выделено серым цветом).

Влияние напряженности магнитного поля на потоки релятивистских электронов и энергичных протонов, наблюдаемых 31 марта 2015 г.

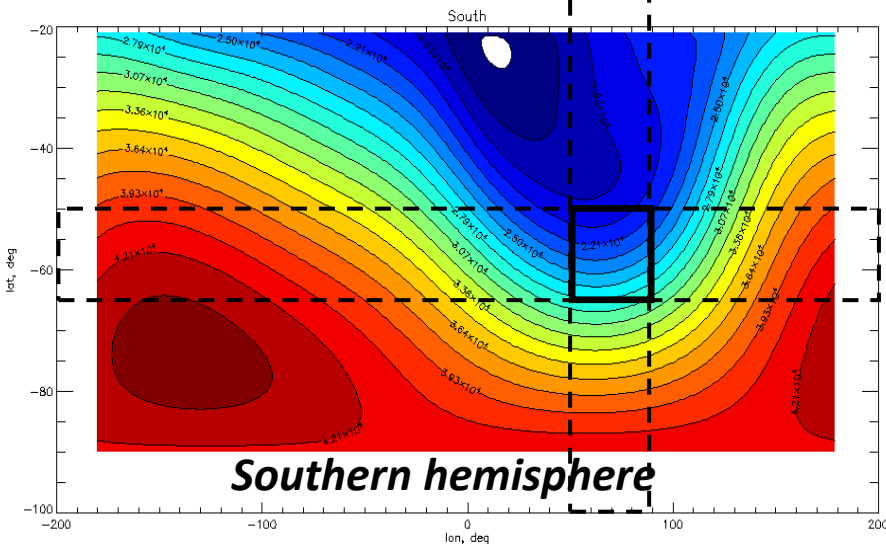


Во время пролетов в Ю п/ш на широтах 50-65 град CGMLat, когда магнитное поле становится меньше 3×10^4 нТл (выделено серым цветом), наблюдаются высыпания релятивистских электронов и энергичных протонов (выделено серым цветом).

Межполушарная асимметрия магнитного поля



50-65 deg
CGMLatitude



-(50-65) deg
CGMLatitude

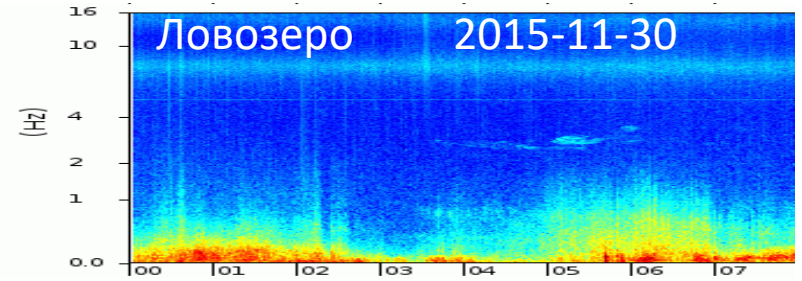
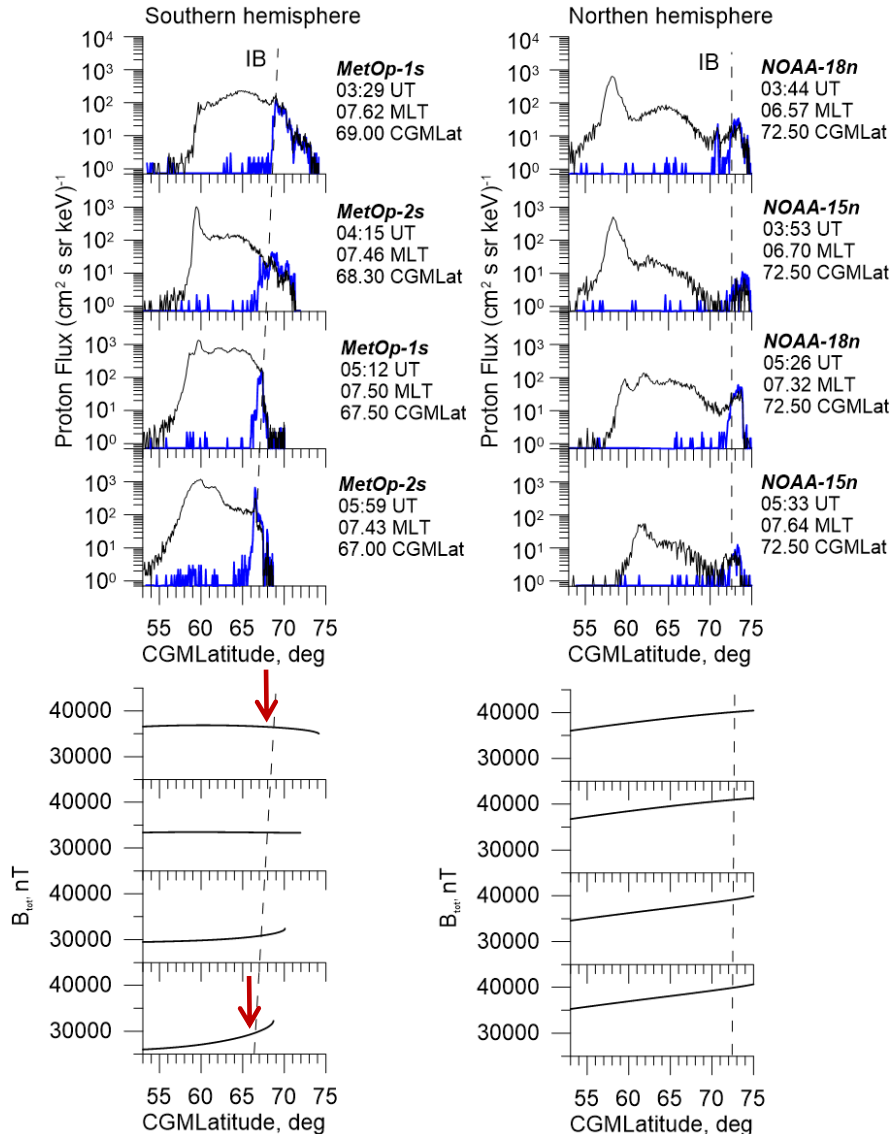
50-90 deg CGMLongitude

Для события 31 марта 2015:

Находясь на одних и тех же широтах и долготах в разных полушариях, низкоорбитальные спутники попадают в области с разными магнитными полями.

В Ю п/ш поле оказалось близким к своим минимальным значениям, что привело к высыпанию энергичных частиц за счет эффекта дрейфовых потерь в слабом магнитном поле.

Влияние уменьшения магнитного поля на смещение границы изотропии на меньшие широты для события 30 ноября 2015 г.

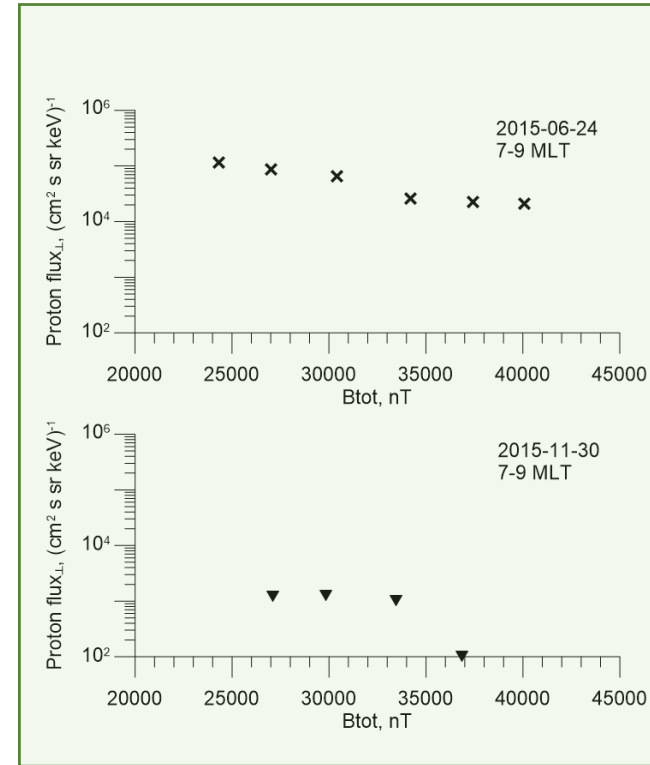
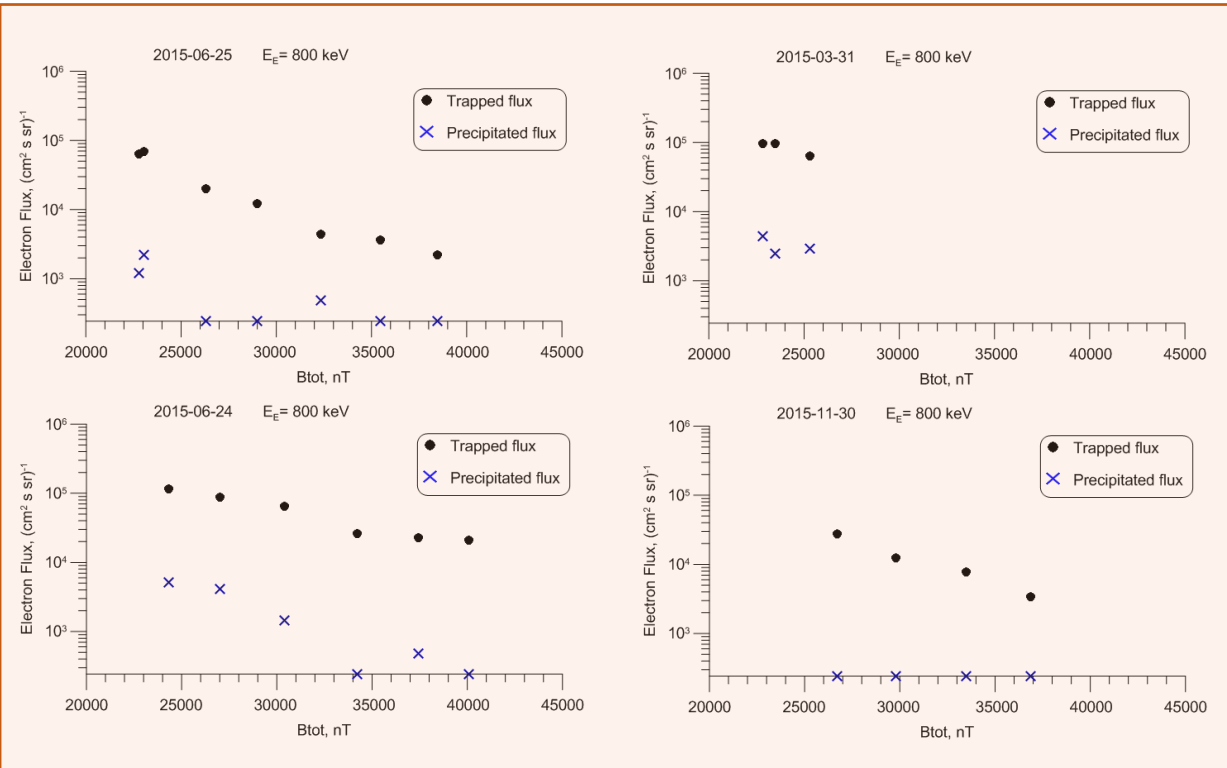


Время наблюдения

Пример смещения границы изотропии (IB) в потоках энергичных (115 кэВ) протонов (вверху слева) при уменьшении магнитного поля в Ю п/ш (внизу слева).

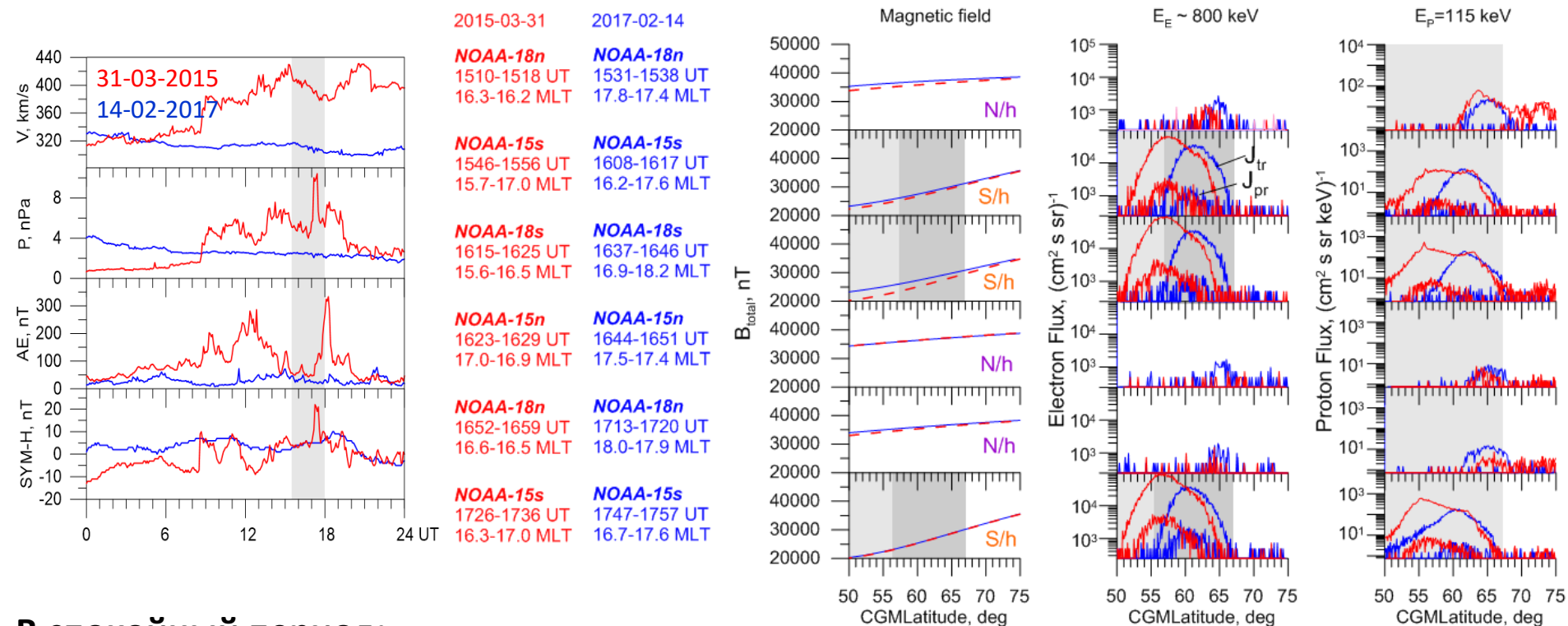
В С п/ш граница изотропии при довольно высокой напряженности магнитного поля (внизу справа) не смещается на меньшие широты (вверху справа). Широта границы изотропии в Ю п/ш меньше, чем в С п/ш на 5-7 градусов.

Влияние напряженности магнитного поля на потоки релятивистских электронов и на потоки захваченных энергичных протонов наблюдаемых в южном полушарии во время суббурь



Потоки релятивистских электронов и потоки захваченных энергичных (115 keV) протонов уменьшаются с увеличением напряженности магнитного поля в окрестности низкоорбитального спутника.

Сравнение влияния напряженности магнитного поля на высыпания релятивистских электронов и энергичных протонов, наблюдаемых в суббуревой (31 марта 2015 г.) и в спокойный период (14 февраля 2017 г.)



В спокойный период:

- Как и в послесуббуревой период усиление электронных и протонных потоков происходило в южном полушарии.
- Широтный размер ВРЭ уменьшился на ~ 5 градусов.
- Уменьшение области высыпаний происходило, в основном, за счет более экваториальных широт. Потоки сместились к полюсу лишь на 2 градуса.
- Полярная граница области высыпаний (как ВРЭ, так и энергичных протонов) соответствовала величине магнитного поля $\sim 3 \times 10^4$ нТл.

Выводы

- Показано влияние межполушарной асимметрии магнитного поля Земли на потоки релятивистских электронов и энергичных протонов. Поток тех и других увеличивается с уменьшением магнитного поля вблизи низкоорбитального спутника. Наибольшее увеличение происходит при напряженности магнитного поля менее 3×10^4 нТл. Увеличение потоков релятивистских электронов происходит за счет дрейфовых потерь в слабом магнитном поле.
- По мере уменьшения магнитного поля в южном полушарии на 7×10^4 нТл граница изотропии сместилась к экватору на 2 градуса. В северном полушарии граница изотропии все время находилась широте 73 градуса. Широта границы изотропии в южном полушарии меньше, чем в северном полушарии на 5-7 градусов.
- Сравнение потоков частиц в послесуббуревой и спокойный периоды показало, что широтный размер высыпаний релятивистских электронов в спокойный период уменьшился на ~ 5 градусов. Уменьшение области высыпаний происходило, в основном, за счет более экваториальных широт. Потоки сместились к полюсу лишь на 2 градуса.