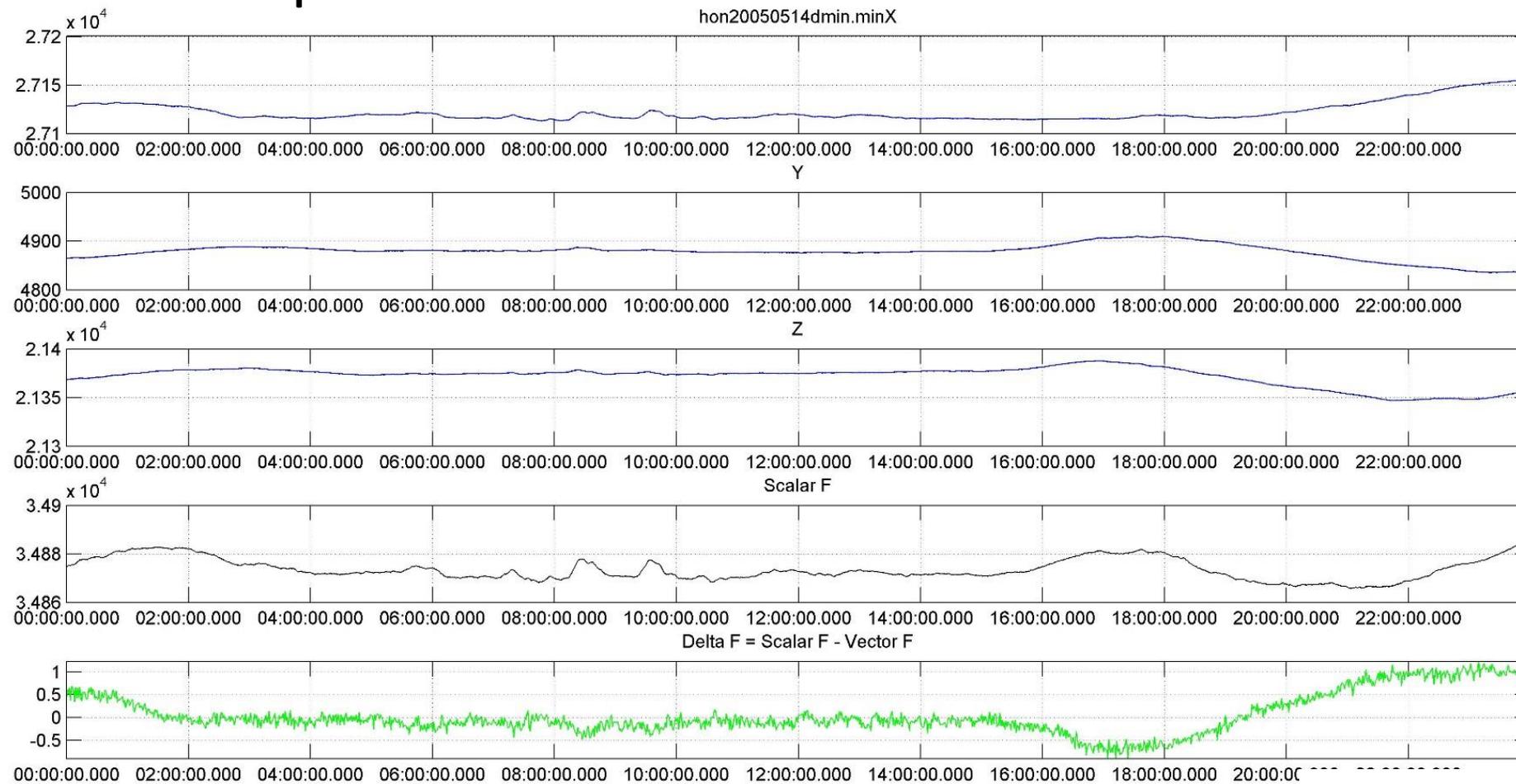


**Основы анализа геомагнитных
данных: магнитограммы,
индексы геомагнитной
активности**

План

- 1. Магнитограммы
- 2. Геомагнитная активность. Магнитная буря. Солнечный ветер
- 3. Индексы геомагнитной активности (Kp, Dst/SYMN, AE (суббури), PC)
- 4. Домашнее задание!
- 5. Литература для самостоятельного изучения

Магнитограммы



INTERMAGNET



GEOMAG.GCRAS

Индексы геомагнитной активности

(демонстрация на сайте)



СПРАВКА ПО ИНДЕКСАМ (МЦД)

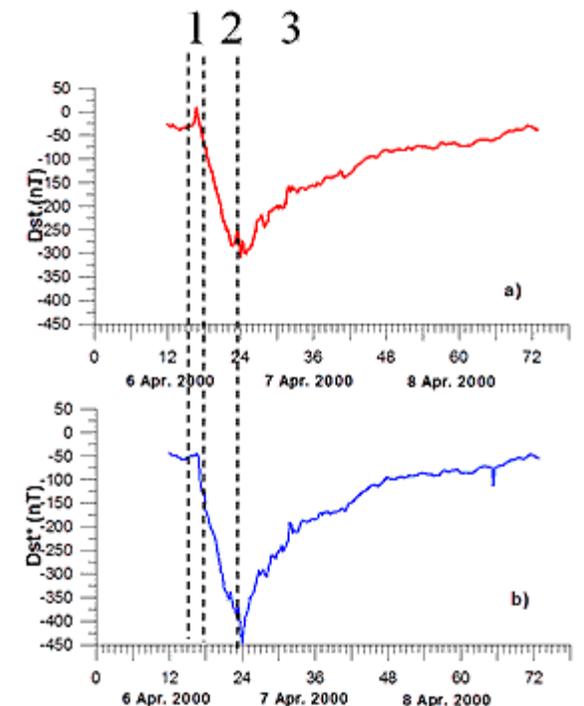


ISGI

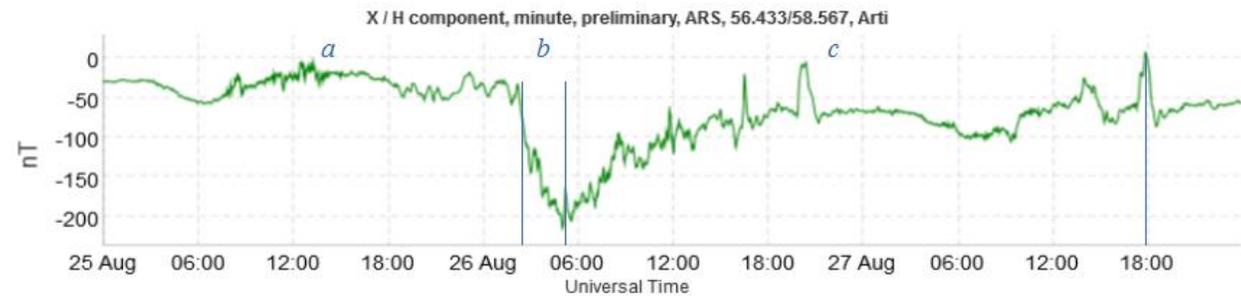
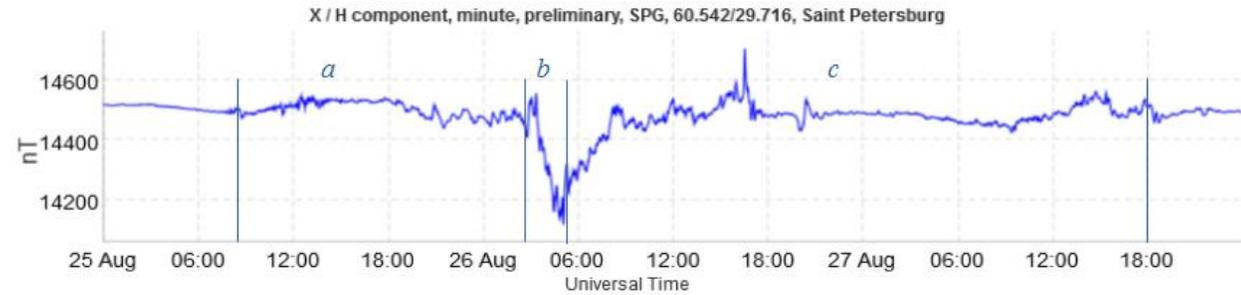
Магнитная буря

Магнитные бури представляют собой сильные возмущения, резко нарушающие плавный суточный ход элементов земного магнетизма. Бури вызываются солнечными вспышками и приходом к Земле фронта межпланетного магнитного облака с резким изменением параметров солнечного ветра, а также коронарными дырами и сопровождающими их высокоскоростными потоками плазмы. Наблюдаются одновременно на всей Земле

- Бури имеют три фазы: начальную, главную и восстановительную, которые легко выделить по Dst-индексу или SYM/H-индексу. Начальная характеризуется увеличением Dst на 20–50 нТл за десятки минут. Однако не все геомагнитные бури имеют начальную фазу, и не все внезапные увеличения Dst сопровождаются геомагнитной бурей. **ВНЕЗАПНОЕ НАЧАЛО (СКАЧОК)** из-за магнитогидродинамической ударной волны
- Основная фаза геомагнитной бури определяется по Dst, уменьшающемуся до менее чем -50 нТл. Во время магнитной бури происходит быстрое усиление, а затем медленное (в течение суток и более) затухание магнитосферного кольцевого тока, который находится в области радиационных поясов Земли ($\sim 6 R_E$) и формируется из заряженных частиц, поступающих из магнитосферы. На Земле магнитный эффект начального сжатия магнитосферы при столкновении с облаком плазмы и усиления тока на магнитопаузе выражается в появлении скачка горизонтальной H-компоненты поля. Геомагнитный эффект кольцевого тока выражается в уменьшении H-компоненты на экваторе на величину от десятков до сотен нТл.
- Во время фазы восстановления, которая может длиться до нескольких суток, значения Dst увеличиваются до первоначального (спокойного) уровня.



- Разбивка магнитной бури 25-27 августа 2018 г. на три фазы: начальную (*a*), главную (*b*) и конечную (*c*) по данным обсерваторий «Санкт-Петербург» (IAGA-код SPG, верхний график), «Арти» (ARS, средний график) и «Климовская» (KLI, нижний график).

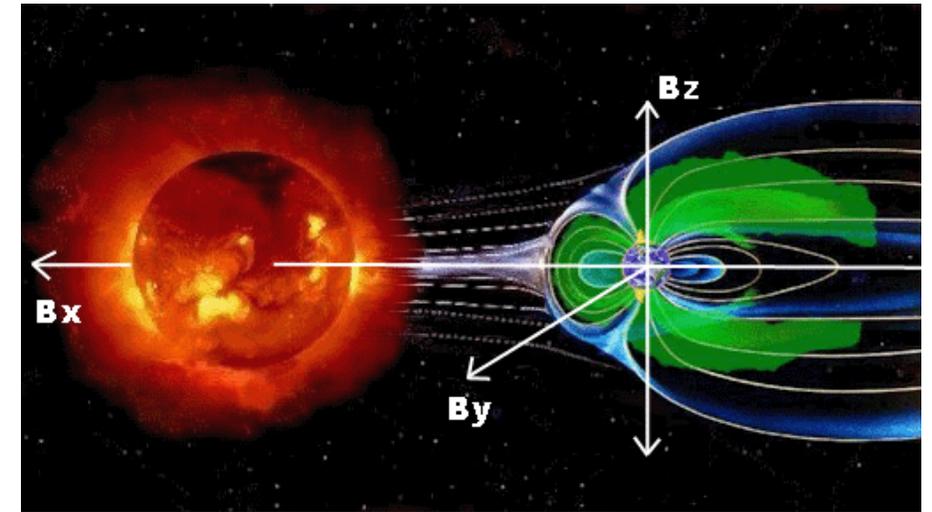


Plot of Dst index from 2018-08-25 to 2018-08-27



Межпланетное магнитное поле и солнечный ветер

- **Взаимодействие с магнитосферой Земли**
- Направление север-юг межпланетного магнитного поля (B_z) является наиболее важным компонентом авроральной активности. Когда направление север-юг (B_z) межпланетного магнитного поля ориентировано на юг, оно будет соединяться с магнитосферой Земли, которая всегда указывает на север. С южным B_z частицы солнечного ветра намного легче входят в магнитосферу. Оттуда они попадают в ионосферу, где сталкиваясь с атомами кислорода и азота входящих в состав атмосферы, что в свою очередь, заставляет их светиться.
- Для развития геомагнитной бури важно, чтобы направление межпланетного магнитного поля (B_z) указывало на юг. Значения $B_z = -10\text{nT}$ и ниже хорошие предпосылки для развития геомагнитной бури и авроральной активности. Только во время экстремальных явлений с высокими скоростями солнечного ветра возможно появление геомагнитной бури (Kp5 или выше) с северным B_z .



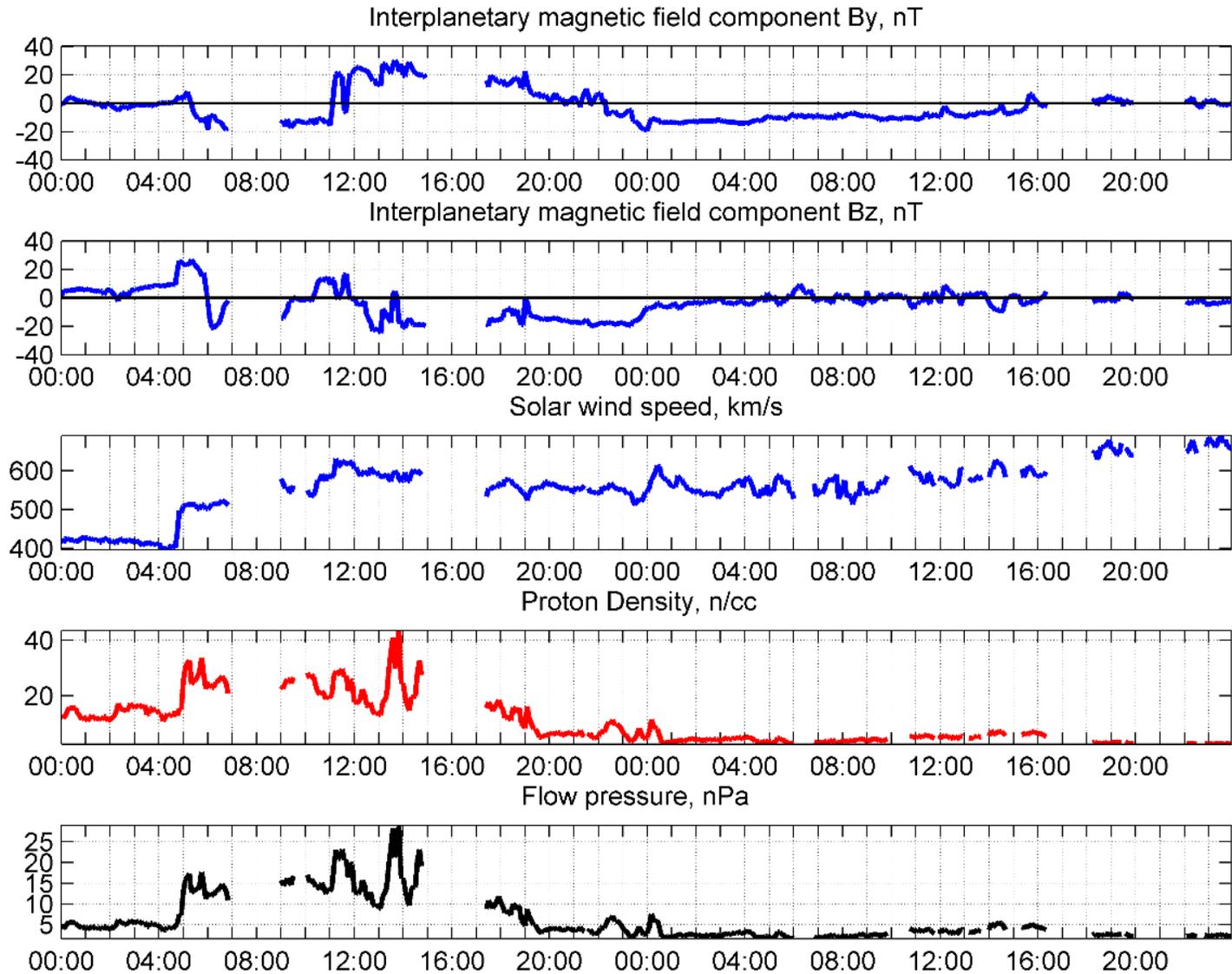
ММП и параметры солнечной плазмы (OMNIWEB):

https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min_def.html

OMNIWEB

Пример магнитной бури 17-19 марта 2015 г.

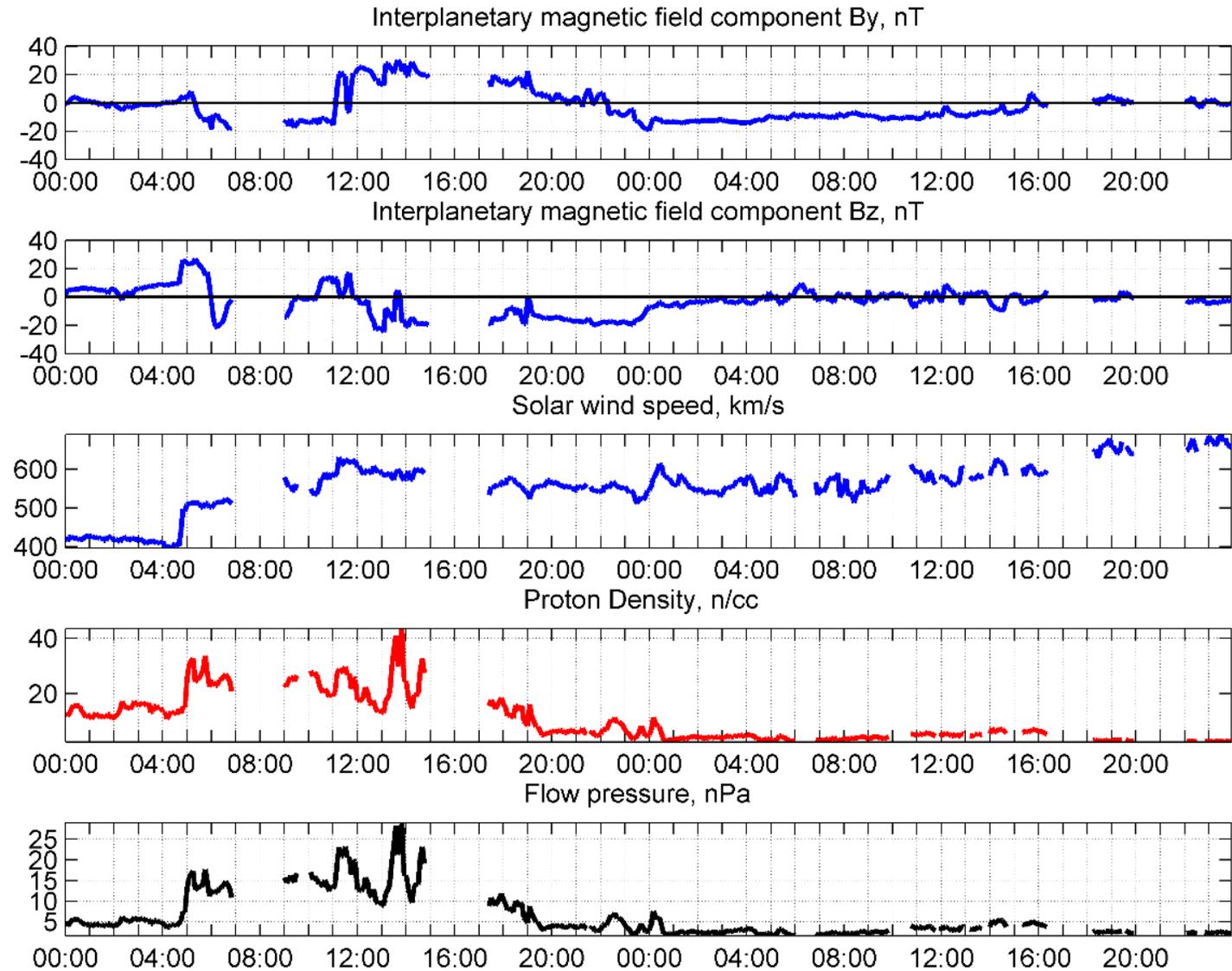
Приход КВМ к магнитосфере Земли вызвал внезапное начало бури (SSC) в 04:45 UT. В то же время скорость солнечного ветра, измеренная космическим аппаратом ACE, увеличилась до более 500 км/с, а компонента ММП B_z изначально и указывала на север ($B_z = +25$ нТл в 05:00 UT, 17 марта), повернулась к югу (в отрицательную сторону), что указывает на резко возросшую геомагнитную активность. Резкое увеличение скорости солнечного ветра, плотности протонов, давления потока плазмы. Давление повышалось до конца 17 марта с максимумом 30 нПа в 13:30 UT. Скорость солнечного ветра постепенно возрастала до 600 км/с 17 марта, а затем до 700 км/с. Начало бури - 06:00 UT сразу после поворота ММП на юг. В 06:15 UT B_z достигла локального минимума -20 нТл. Позже, вскоре после того, как ММП повернуло на север, буря немного ослабилась. Затем второе усиление шторма.



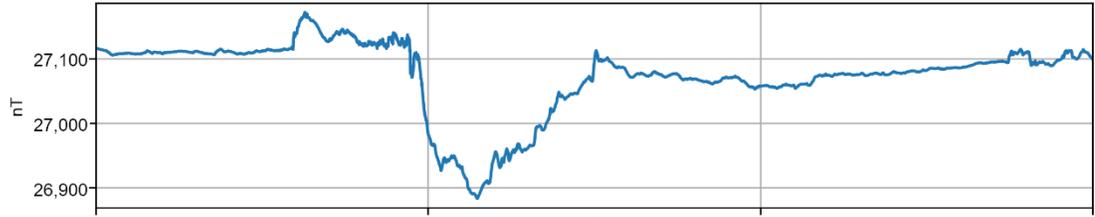
Пример магнитной бури 17-19 марта 2015 г. (2)

Таким образом, это событие было двухэтапным. Первая ступень была связана с южным ММП, внедренным в область фронта МО, тогда как вторая, более продолжительная ступень, была связана с южным ММП внутри МО. МВФ B_z был постоянно отрицательным (около -20 – -20 нТл) до конца 17 марта и близким к нулю 18 марта. По y компонента была сильно отрицательной (ниже -20 – -20 нТл). В 11:00 UT он резко развернулся в противоположную сторону и достиг $+20$ – $+20$ нТл. В конце 17 марта МВФ B_y снова стал отрицательным и после этого оставался постоянно отрицательным в течение многих часов.

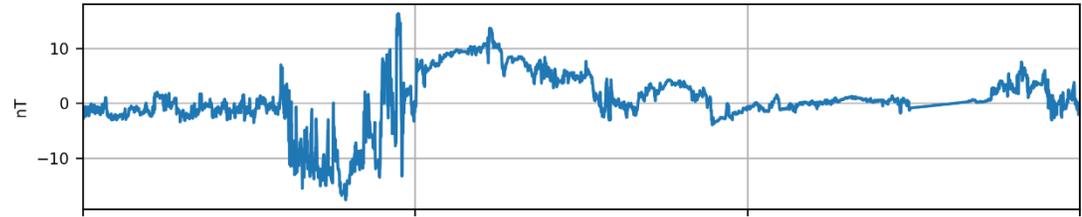
А также на OmniWEB можно скачать AE-индекс в более высоком разрешении по времени, чем классический



HON, X (14.12.2006-16.12.2006)

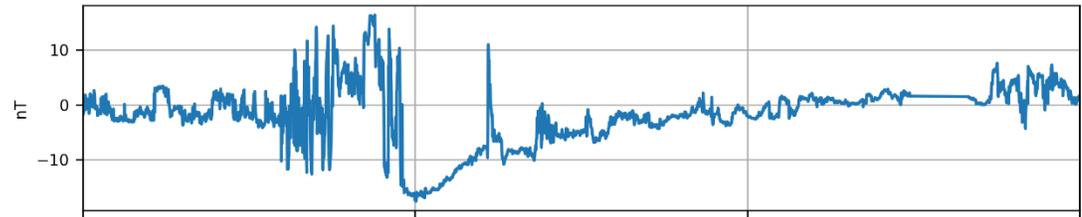


a
IMF, B_y



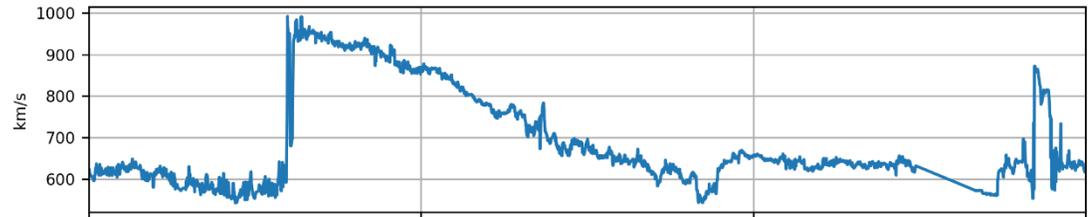
b

IMF, B_z



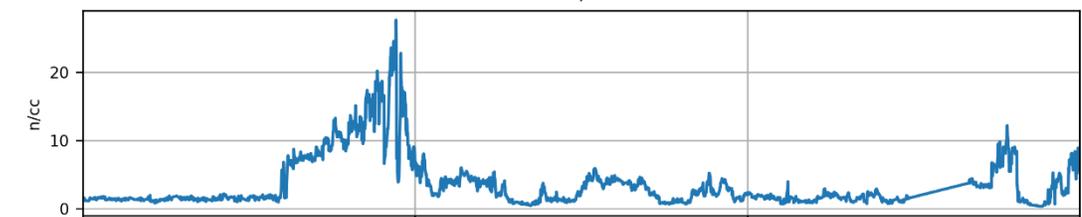
c

IMF, F_s



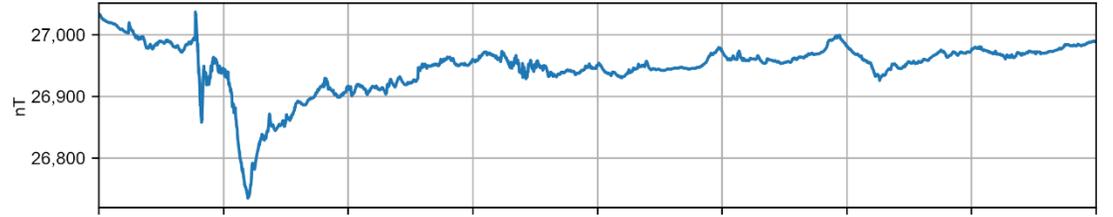
d

IMF, PD



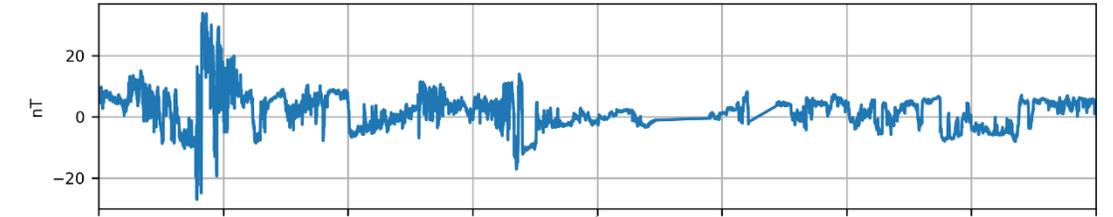
e

HON, X (22.06.2015-29.06.2015)



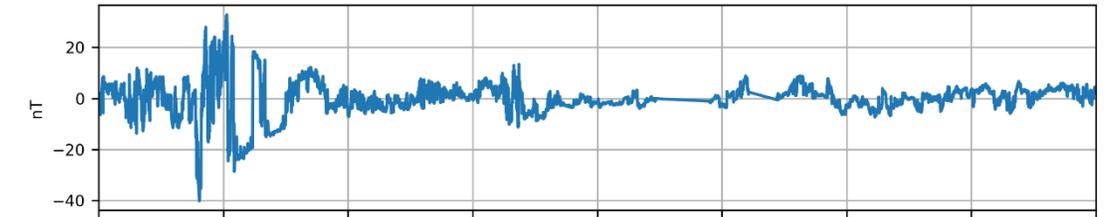
a

IMF, B_y



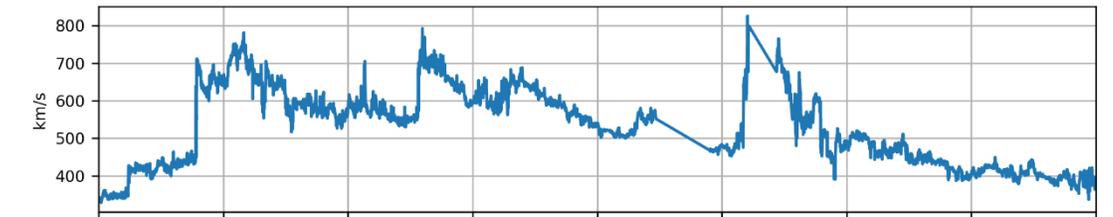
b

IMF, B_z



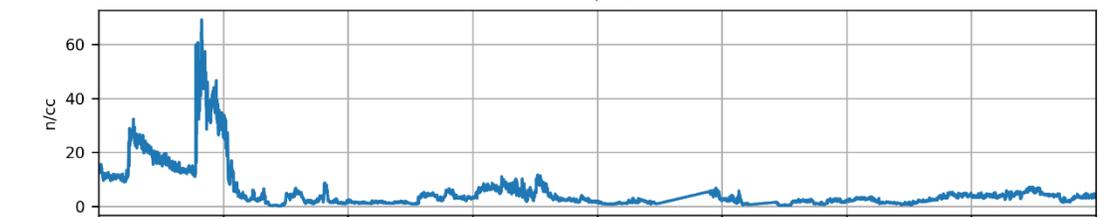
c

IMF, F_s



d

IMF, PD



e

Каталоги магнитных бурь

- Многими мировыми центрами данных по геомагнетизму в том или ином виде ведётся кодирование и/или каталогизация аномальных геомагнитных событий. В частности, каталоги бурь, суббурь, внезапных начал ведутся USGS, российским МЦД по СЗФ, ИЗМИРАН. Также экстремальные явления в МПЗ кодируются Аналитическим центром геомагнитных данных в ГЦ РАН на автоматизированной основе. Каталогизация геомагнитных возмущений – магнитных бурь и суббурь – позволяет получение выборки событий для последующего анализа. использование каталогов существенно упрощает работу с данными геомагнитных вариаций и индексов магнитной активности.
- Каталог бурь (по Kp и Ap-индексам)
<https://www.spaceweatherlive.com/ru/avroralnaya-aktivnost/tor-50-reyting-geomagnitnyh-shtormov.html>



Каталог бурь (ИЗМИРАН): <https://izmiran.ru/services/iweather/storm/dststorm.txt>



Каталоги магнитных бурь

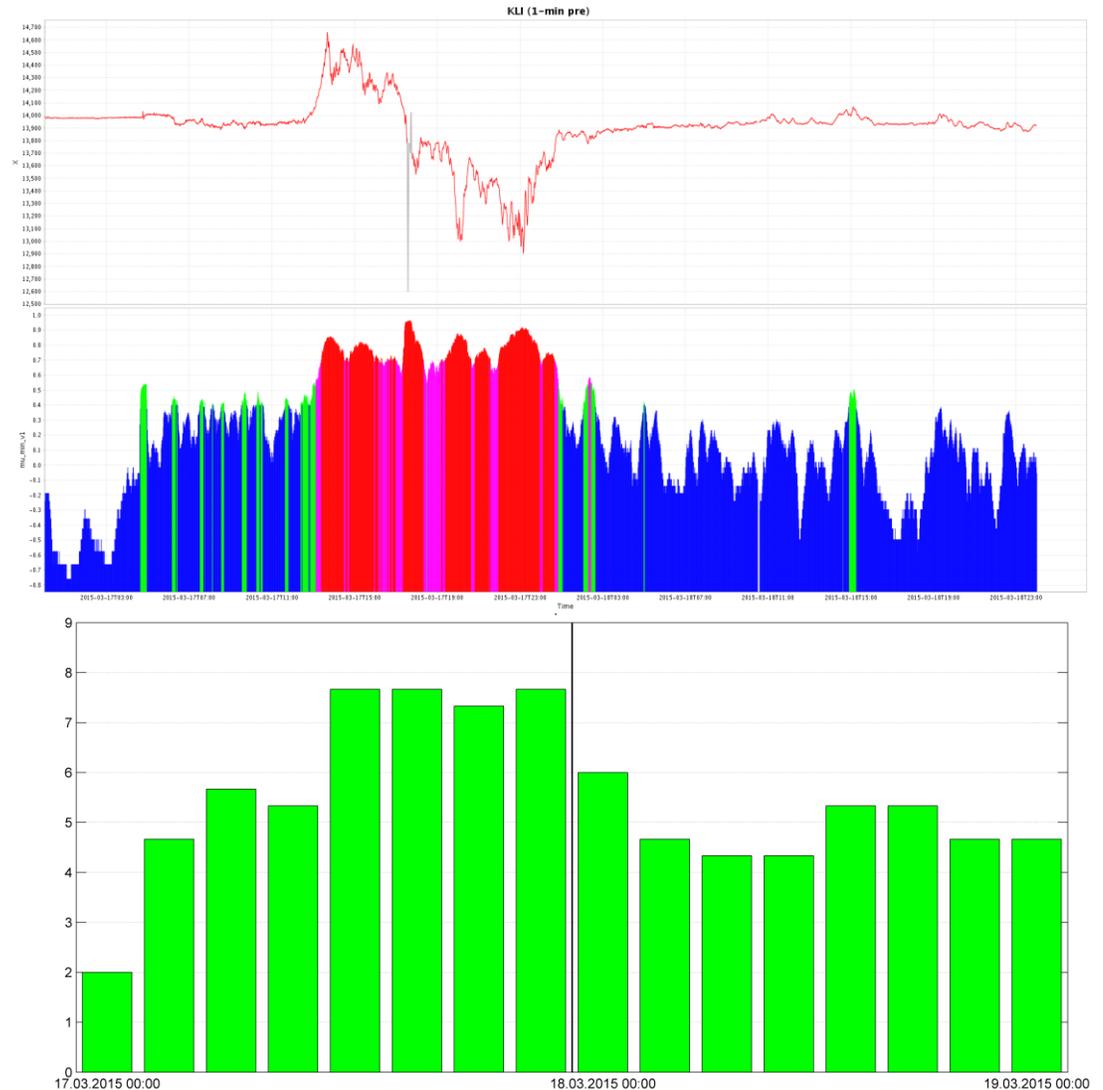
- Каталог внезапных начал геомагнитных бурь

<https://www.obsebre.es/en/rapid>

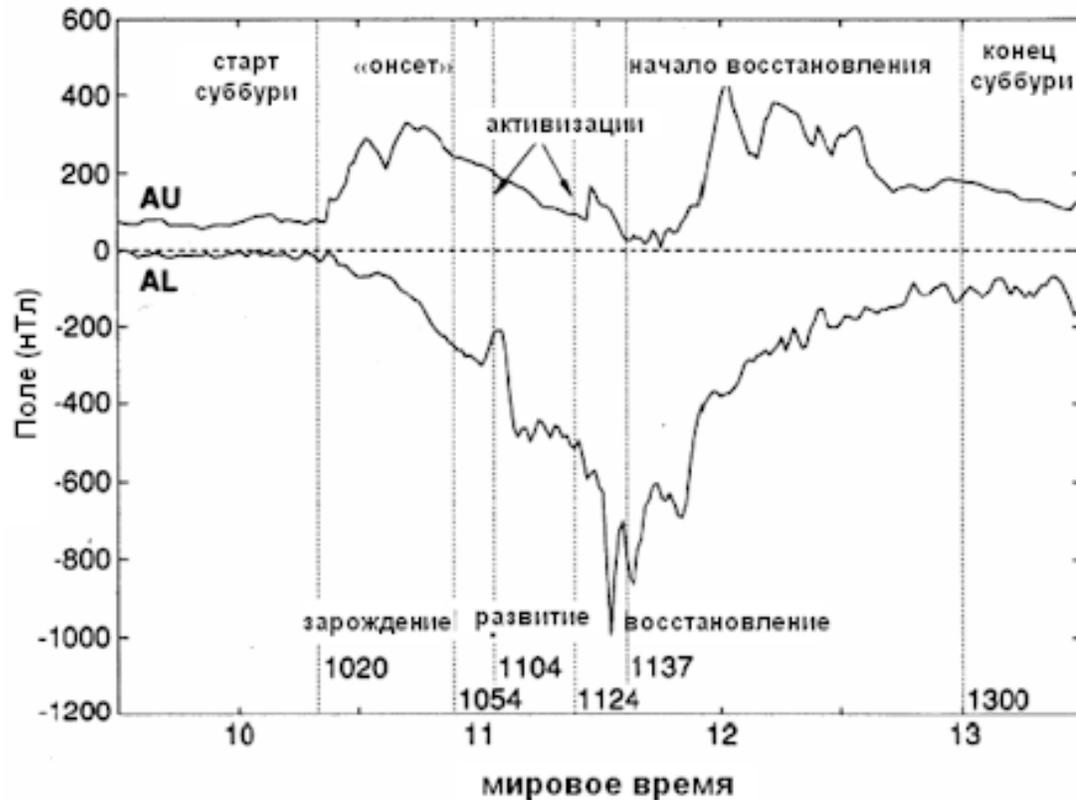


Локальные индикаторы геомагнитной активности

- Пример оценки геомагнитной активности МА и распознавания внезапного начала магнитной бури 17–18 марта 2015 г.: компонента X вектора магнитного поля по данным магнитной обсерватории «Климовская» (сверху), значения МА (посередине) и данные планетарного K-индекса (снизу).



Геомагнитная суббуря



- Наиболее сильные, до нескольких тысяч нТл, магнитные возмущения на поверхности Земли происходят в авроральной зоне во время магнитосферных суббурь. Суббуря связана с разрывом тока в хвосте магнитосферы и его замыканием на ночную ионосферу через продольные токи с образованием ионосферного западного электроджета. Поскольку ионосферный суббуревой электроджет сосредоточен в полуночном секторе местного времени и в достаточно узком широтном интервале, наибольшие магнитные возмущения обычно наблюдаются ночью на широтах аврорального овала (65-70°). Типичная продолжительность изолированной суббури составляет 1-2 часа, а изменчивость авроральных электроджетов и соответственно вызванные ими геомагнитные вариации происходят на минутных и даже секундных временных масштабах.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

1. Рассмотреть магнитограммы.
Взять данные (IAGA2002), построить компоненты X , Y , Z , F , ΔF .
2. Рассмотреть геомагнитную бурю (или из примеров, или найти другую в каталогах ИЗМИРАН или SpaceWeatherLive)
 - 2.1. Разделить бурю на фазы, используя индексы Dst, SYM/H
Найти и отметить внезапное начало, если оно есть. Проверить себя (по каталогу ISRMV или по описаниям бури в статьях и на информационных ресурсах).
 - 2.2. По данным ММП и параметрам солнечного ветра провести интерпретацию условий формирования бури
 - 2.3. Построить для этой бури локальные индикаторы по данным компоненты H для одной из обсерваторий на сайте Аналитического центра геомагнитных данных (<http://geomag.gcras.ru/>) и дать краткую интерпретацию.

* * *

И после этого, если есть желание, то

3. Рассмотреть геомагнитную суббурю 13.06.2009 г. и разделить на фазы.

ИТАК, ПОЛЕЗНЫЕ ССЫЛКИ:

Магнитограммы: <https://intermagnet.org/data-donnee/download-eng.php>

Магнитограммы (GCRAS): <http://mag.gcras.ru/dataprod-down.html>

- <http://mag.gcras.ru/dataprod-plot.html>

Индексы геомагнитной активности (ISGI):

- <http://isgi.unistra.fr/> (и построить, и скачать)

Межпланетное магнитное поле + индексы SYM + высокоразрешающий вариант индекса AE:

- https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min.html

- Локальные индикаторы:

<http://mag.gcras.ru/dataserv-extplot.html>

Обратная связь:

СИДОРОВ Роман, в.н.с. ГЦ РАН

E-mail: r.sidorov@gcras.ru r.sidorov.gravmag@gmail.com

Сидоров Роман Викторович

Кандидат физико-математических наук

Старший научный сотрудник лаборатории геоинформатики и геомагнитных исследований Геофизического центра РАН

r.sidorov@gcras.ru

r.sidorov.gravmag@gmail.com