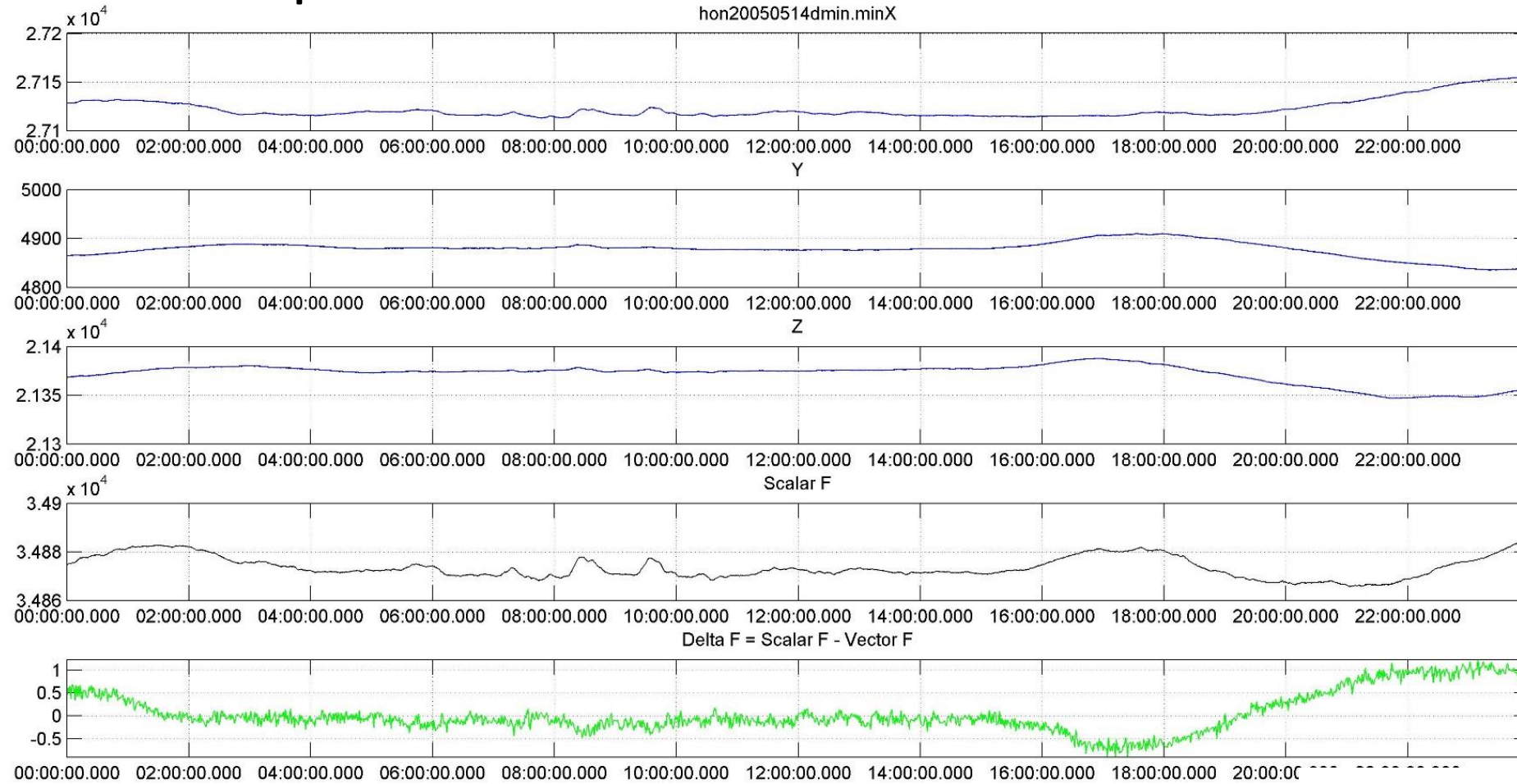


**Основы анализа геомагнитных  
данных: магнитограммы,  
индексы геомагнитной  
активности**

# 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)

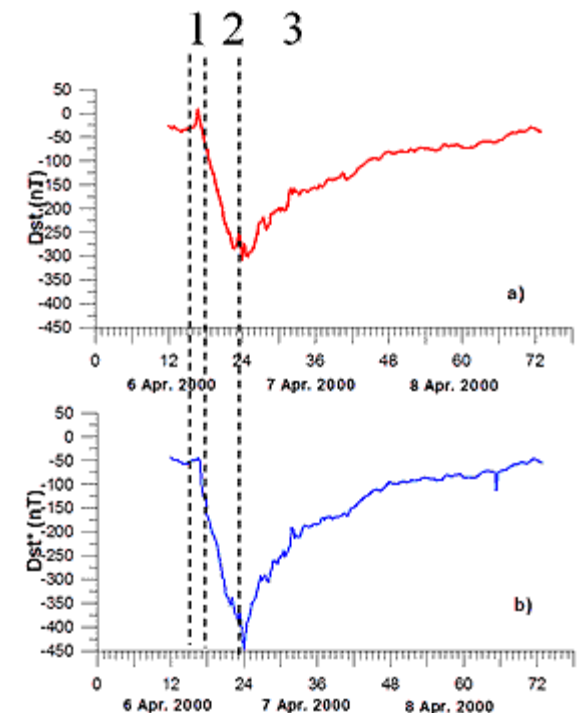


ISGI

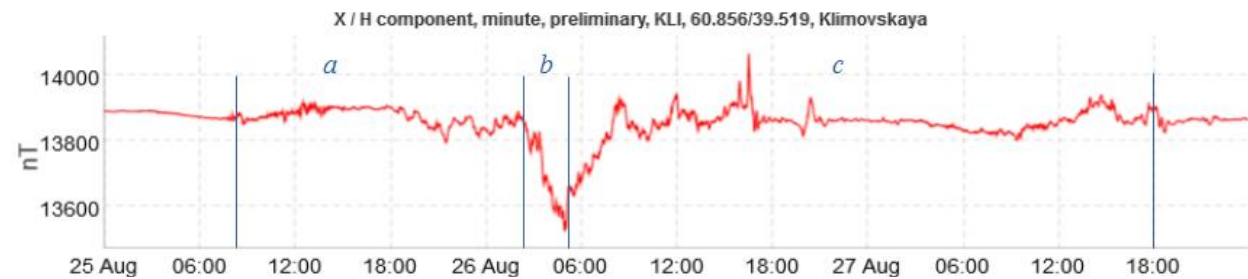
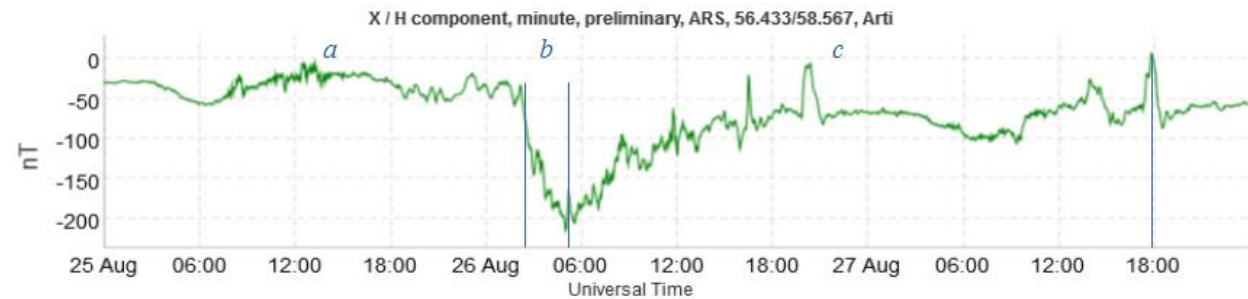
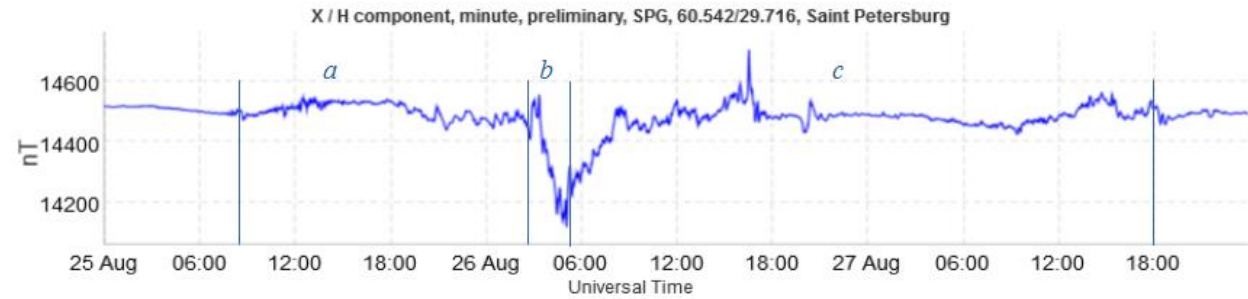
# Магнитная буря

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).

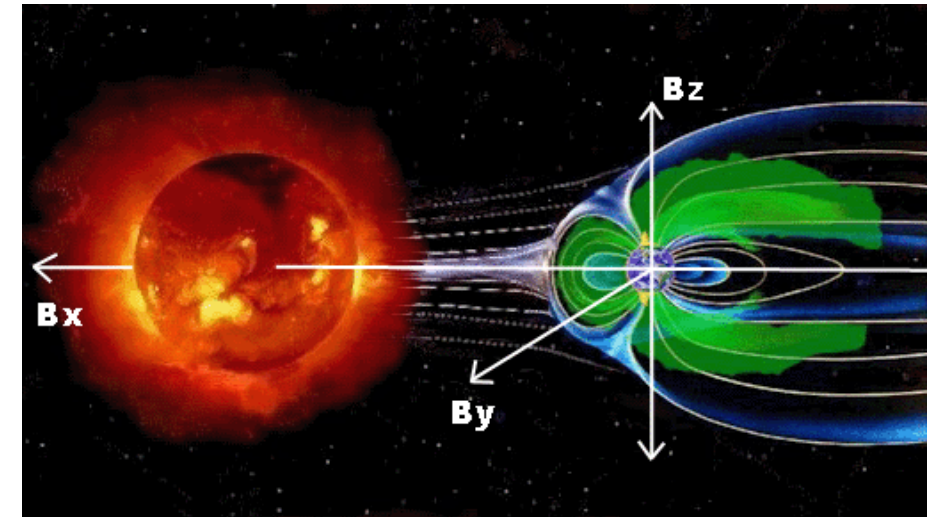


Plot of Dst index from 2018-08-25 to 2018-08-27



# 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  $B_z$ .



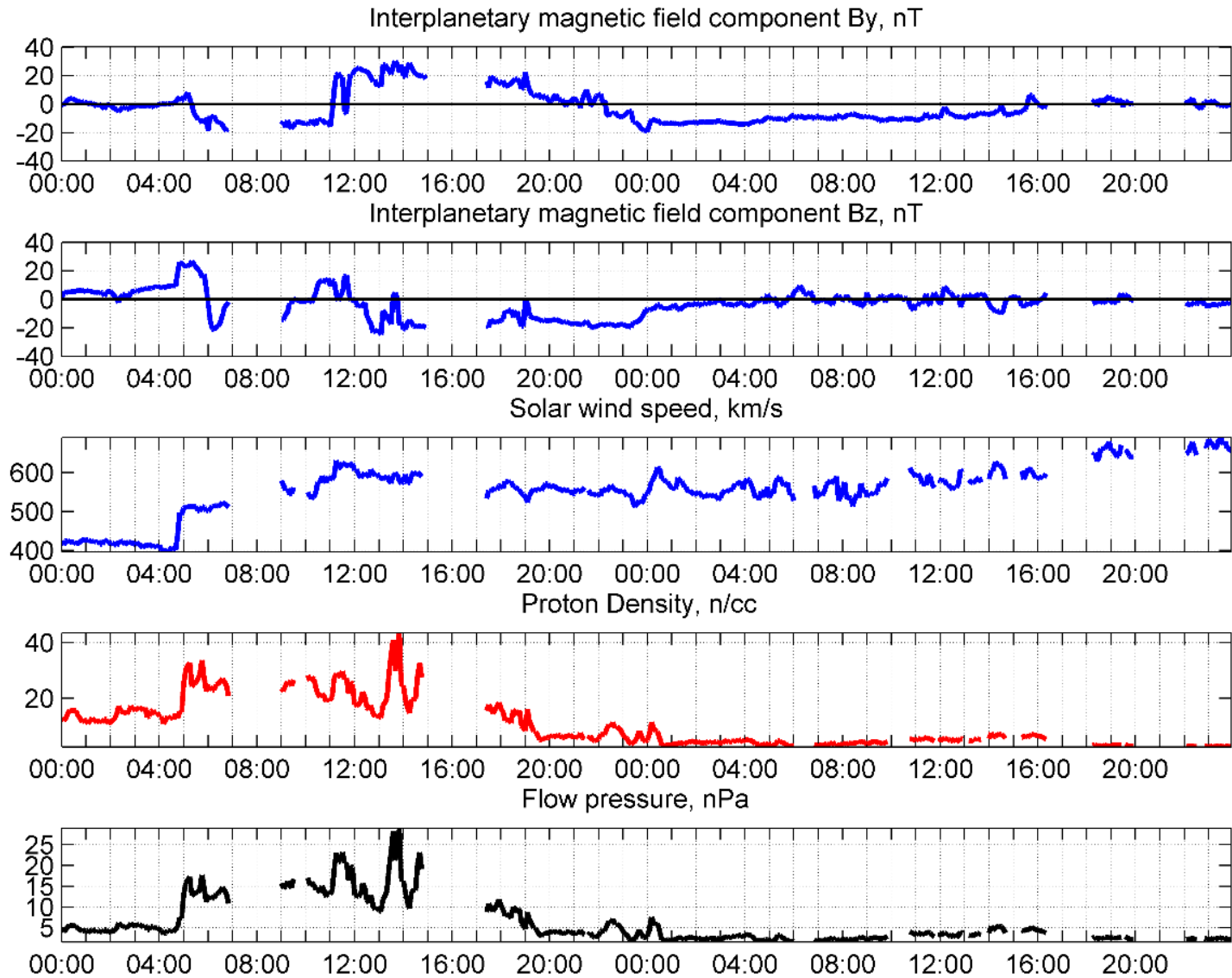
ММП и параметры солнечной плазмы (OMNIWEB):  
[https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni\\_min\\_def.html](https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/omni_min_def.html)



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.

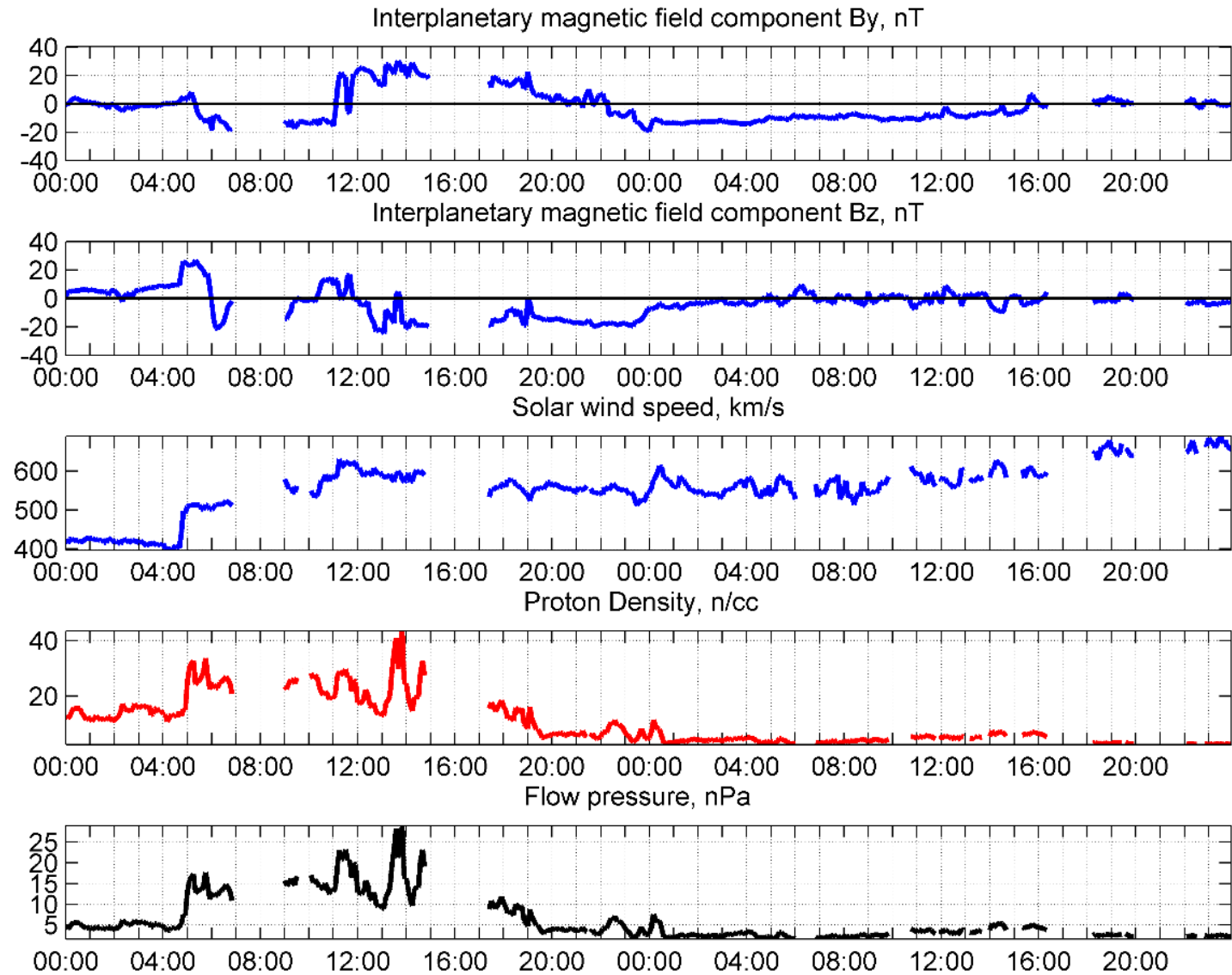




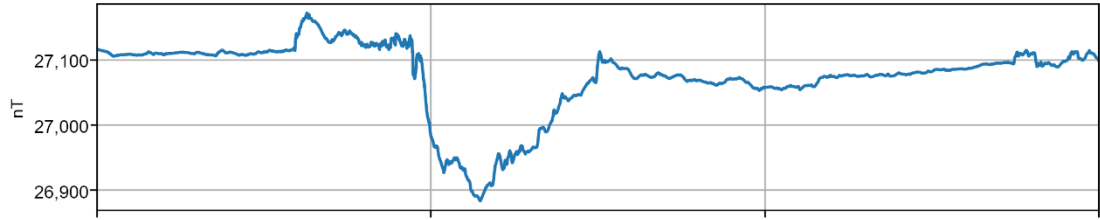
# Пример магнитной бури 17-19 марта 2015 г. (2)

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.

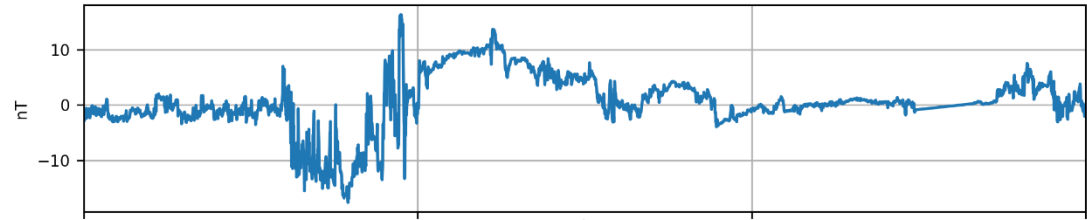
**А также на OmniWEB можно скачать AE-индекс в более высоком разрешении по времени, чем классический**



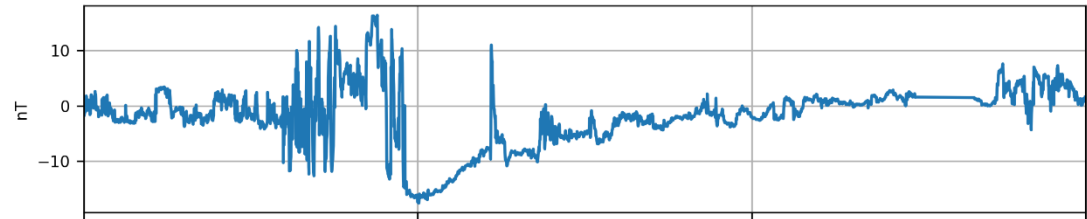
HON, X (14.12.2006-16.12.2006)



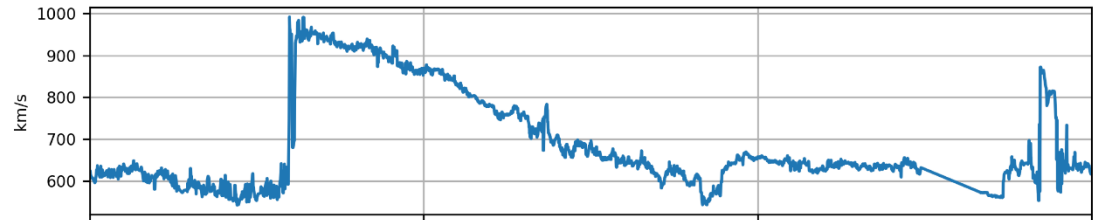
a

IMF,  $B_y$ 

b

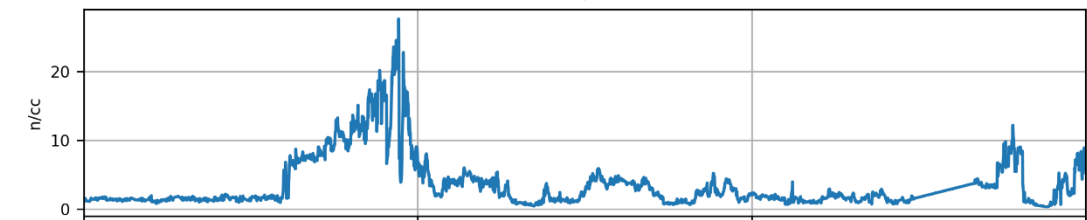
IMF,  $B_z$ 

c

IMF,  $F_s$ 

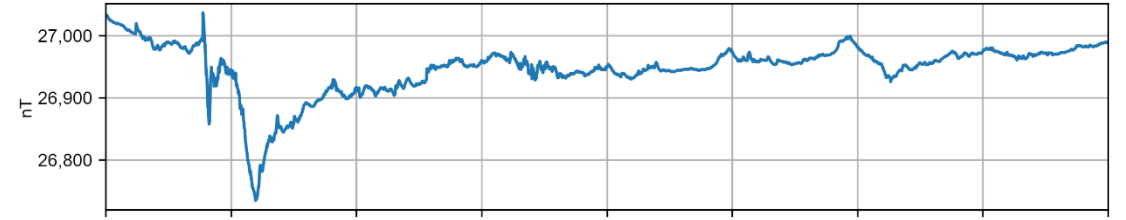
d

IMF, PD

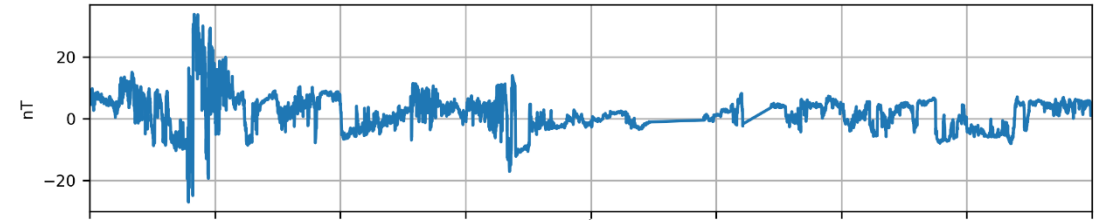


e

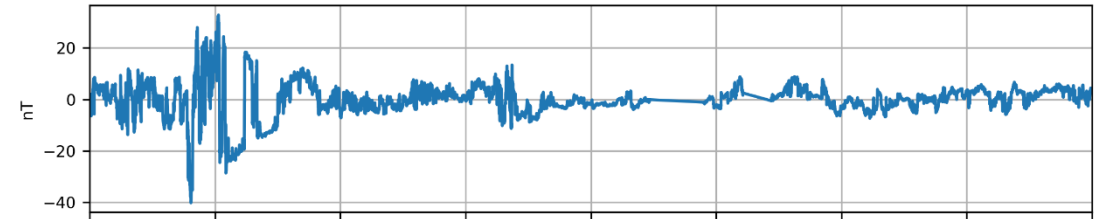
HON, X (22.06.2015-29.06.2015)



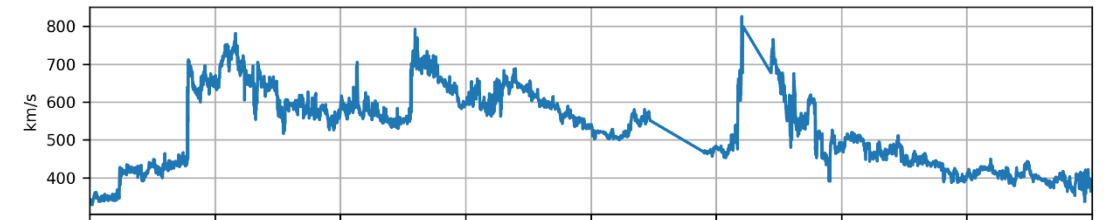
a

IMF,  $B_y$ 

b

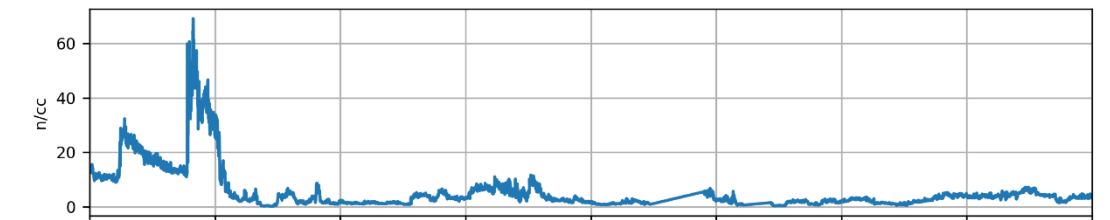
IMF,  $B_z$ 

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>

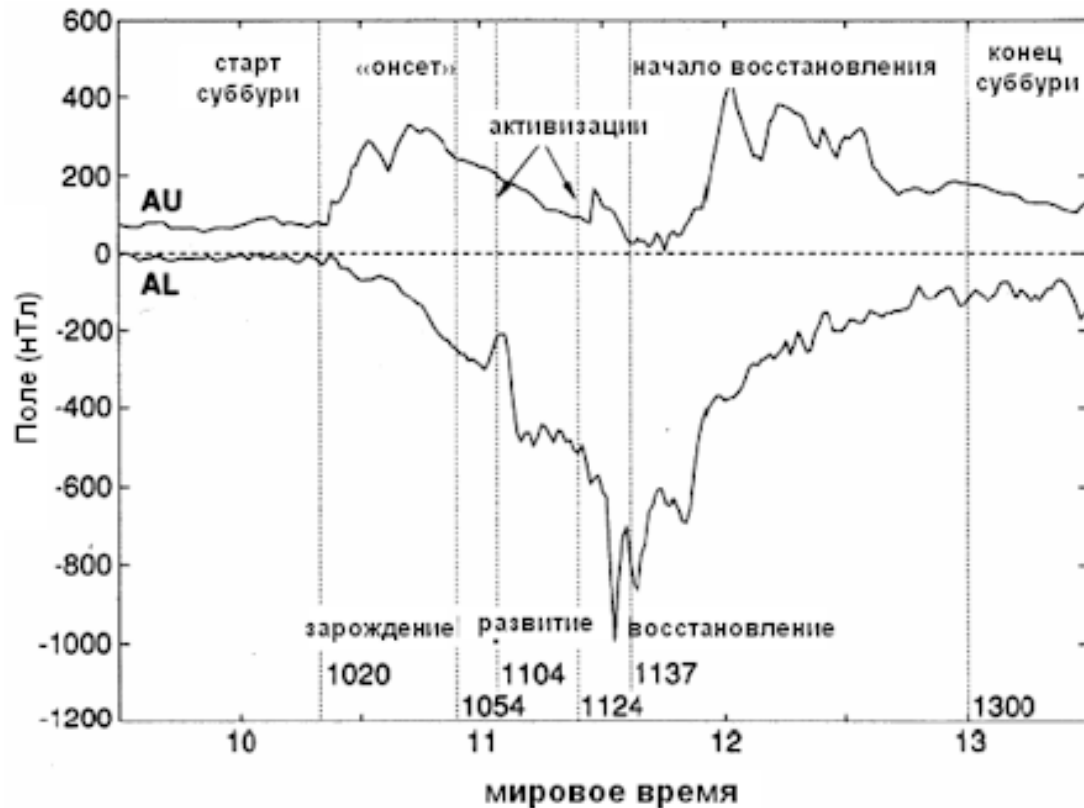


# Локальные индикаторы геомагнитной активности

- 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. Суббурия 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  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $F$ ,  $\Delta F$ .
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](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](mailto:r.sidorov@gcras.ru) [r.sidorov.gravmag@gmail.com](mailto: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](mailto:r.sidorov@gcras.ru)

[r.sidorov.gravmag@gmail.com](mailto:r.sidorov.gravmag@gmail.com)