Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ / МАГНИТНАЯ ДИАГНОСТИКА ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПЦИЙ

Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Черток И.М.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)

Симпозиум «Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий» («ПРОГНОЗ-2023»)
29-31 мая 2023 г., Москва, Троицк, ИЗМИРАН

По материалам статей:

Chertok I.M., Grechnev V.V., Belov A.V., Abunin A.A. **Magnetic Flux of EUV Arcade and Dimming Regions as a Relevant Parameter for Early Diagnostics of Solar Eruptions – Sources of Non-Recurrent Geomagnetic Storms and Forbush Decreases** // Solar Physics, V. 282, No. 1, P. 175-199, 2013.

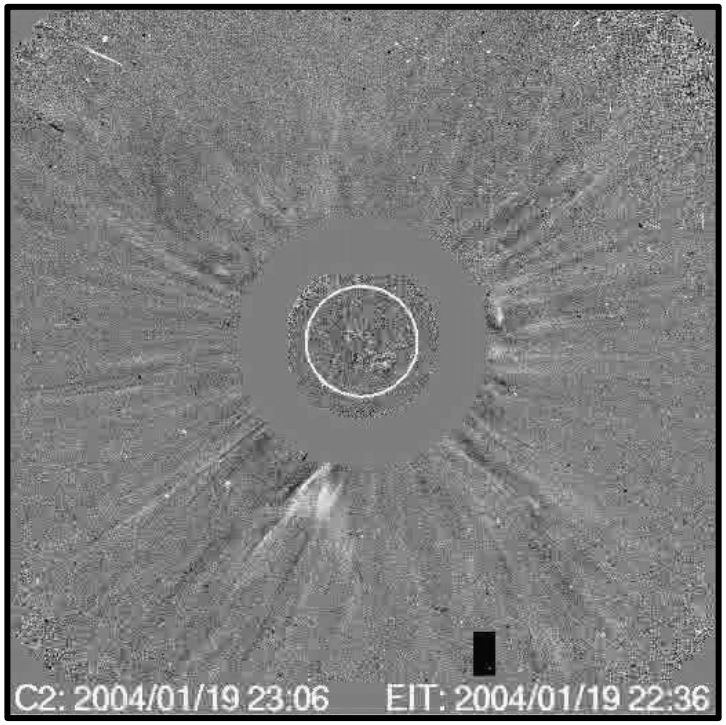
Chertok I.M., Abunina M.A., Abunin A.A., Belov A.V., Grechnev V.V. **Relationship Between the Magnetic Flux of Solar Eruptions and the Ap Index of Geomagnetic Storms** // Solar Physics, V. 290. No. 2, P. 627-633, 2015.

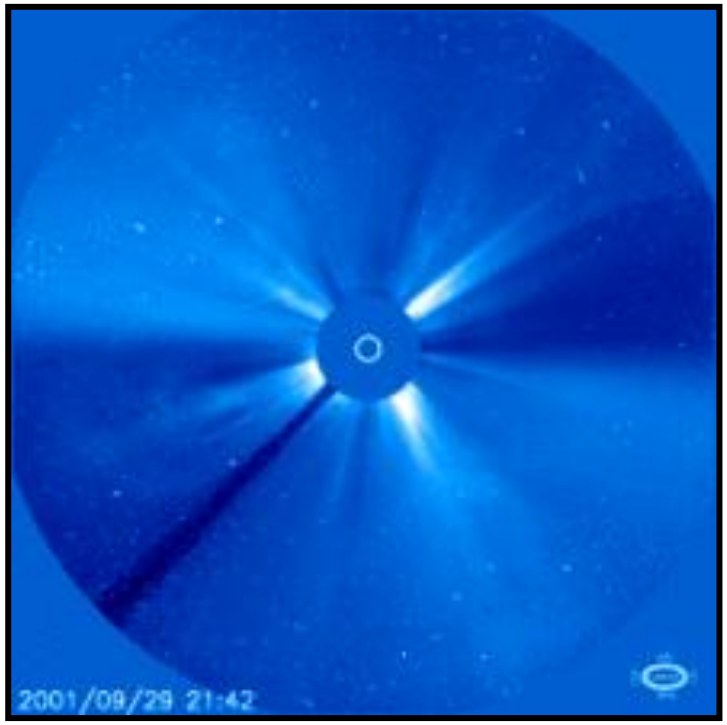
Chertok I.M., Grechnev V.V., Abunin A.A. **An Early Diagnostics of the Geoeffectiveness of Solar Eruptions from Photospheric Magnetic Flux Observations: The Transition from SOHO to SDO** // Solar Physics, V. 292, No. 4, A62, 2017.

ОСНОВНАЯ ЗАДАЧА

Диагностика геоэффективности солнечных эрупций по их проявлениям в крайнем УФ диапазоне (т.е. определение интенсивности и времени наступления нерекуррентных возмущений космической погоды):

- **Форбуш-понижений**
- **Геомагнитных бурь**

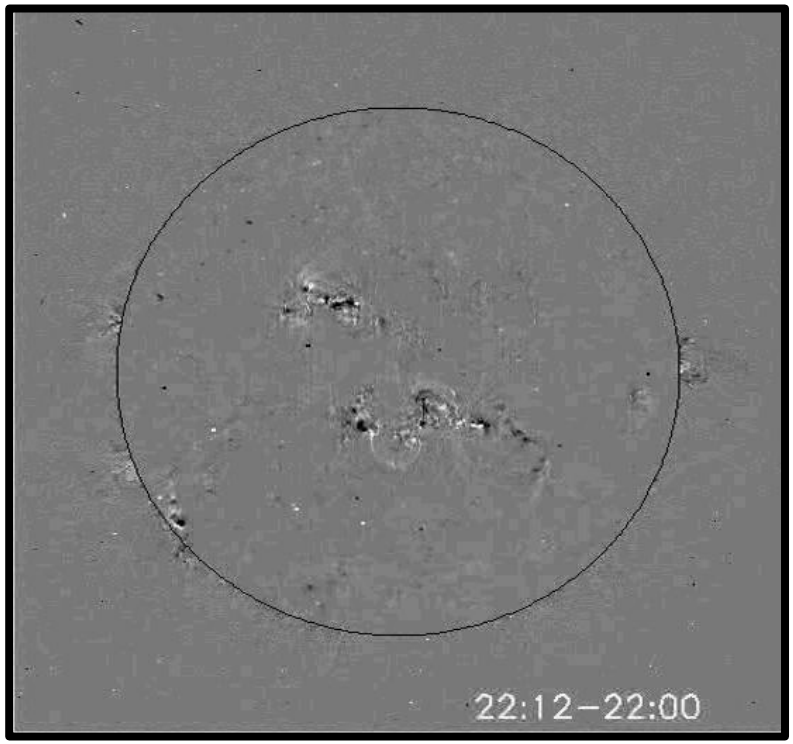




Один из ранних подходов: по скорости CMEs в картинной плоскости (см., напр., [Bothmer & Zhukov, 2007; Gopalswamy, 2009])

Крупномасштабные проявления CMEs на диске в крайнем УФ диапазоне

Димминги (транзиентные или временные корональные дыры) – области пониженной яркости в основании эруптировавших магнитных структур.

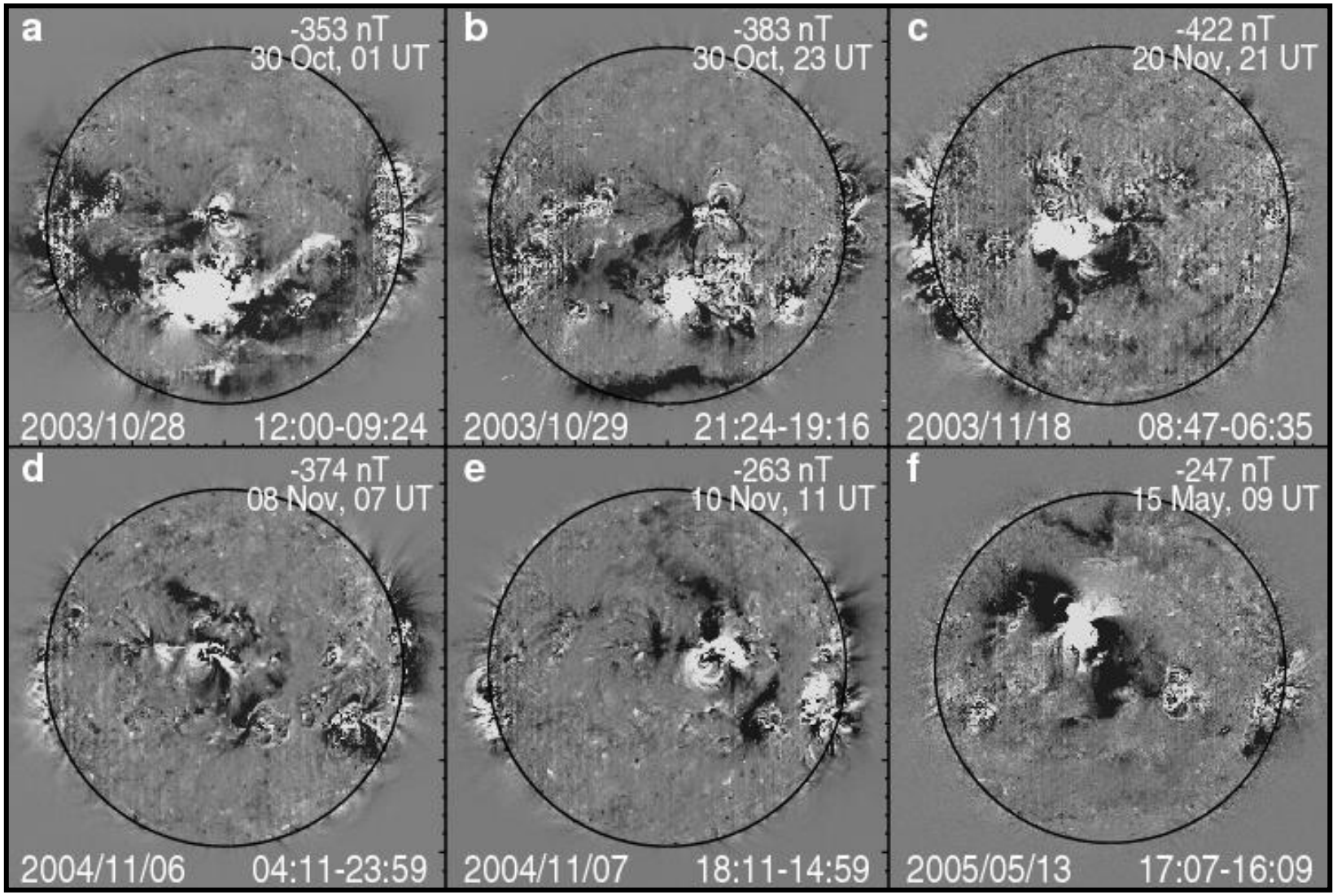


SOHO/EIT/195 Å: 19-20.01.2004
(разностные изображения)

Яркая **постэруптивная аркада** над центром эрупции – релаксация магнитного поля, сильно возмущенного эрупцией CME, к новому квазиравновесному состоянию.

Димминги и постэруптивные аркады визуализируют крупномасштабные магнитные структуры, вовлеченные в эрупцию CMEs

Димминги и ПЭ аркады в источниках крупнейших геомагнитных бурь 23-го цикла



ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

- **Изображения Солнца в канале 195 Å с телескопа КУФ диапазона *SOHO/EIT* [*Delaboudinière et al., 1995*]**
- **Магнитограммы *SOHO/MDI* [*Scherrer et al., 1995*]**
- **Крупные события 23-го цикла (1997–2008 гг.), в которых, по данным каталога *Coordinated Data-Analysis Workshop* (*CDAW*, *см*. [*Zhang et al., 2007*]) имели место ГМБ с *Dst* < –100 нТл Эрупции из центральной зоны видимой полусферы Солнца в пределах ±45° от центрального меридиана)**
- **База данных Форбуш-эффектов и межпланетных возмущений [*Belov, 2009*]**
- **Каталоги ICMEs [*Cane&Richardson, 2003*; *Richardson&Cane, 2010*]**
- **SOHO/LASCO CME Catalogs [*Gopalswamy et al., 2007*]**

МЕТОДИКА

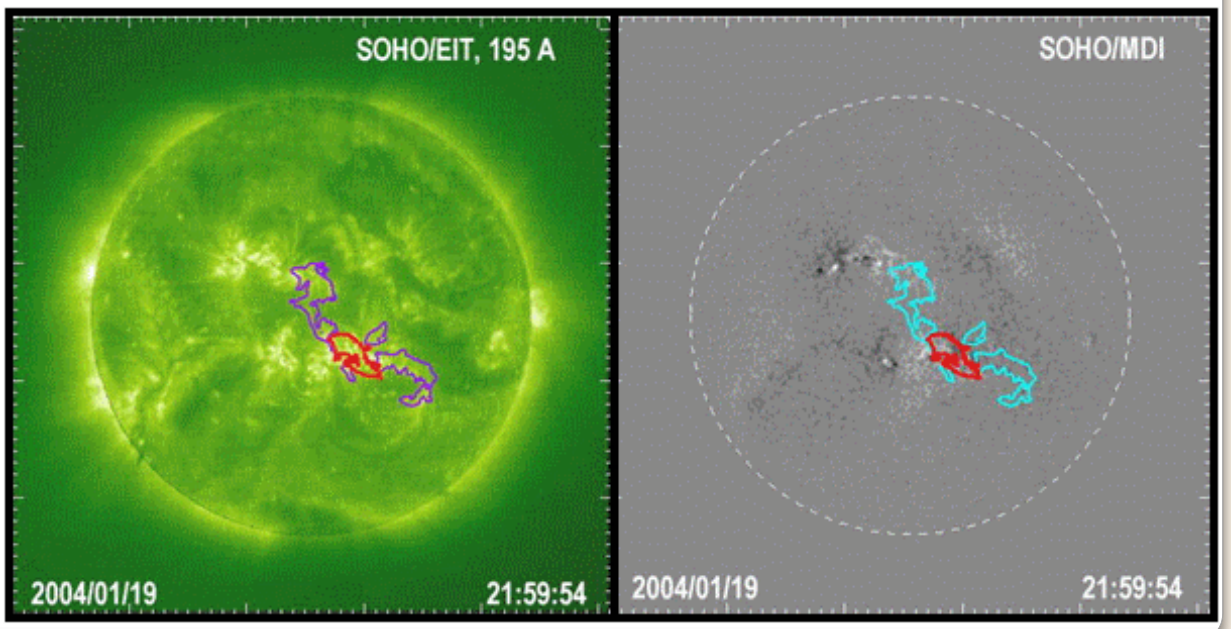
Вычисление магнитных потоков диммингов и ПЭ аркад по IDL программам, разработанным В.В. Гречневым:

- калибровка исходных FITS-файлов
- компенсация солнечного вращения
- выделение диммингов и ПЭ аркад
- измерение площадей
- вычисление магнитного потока

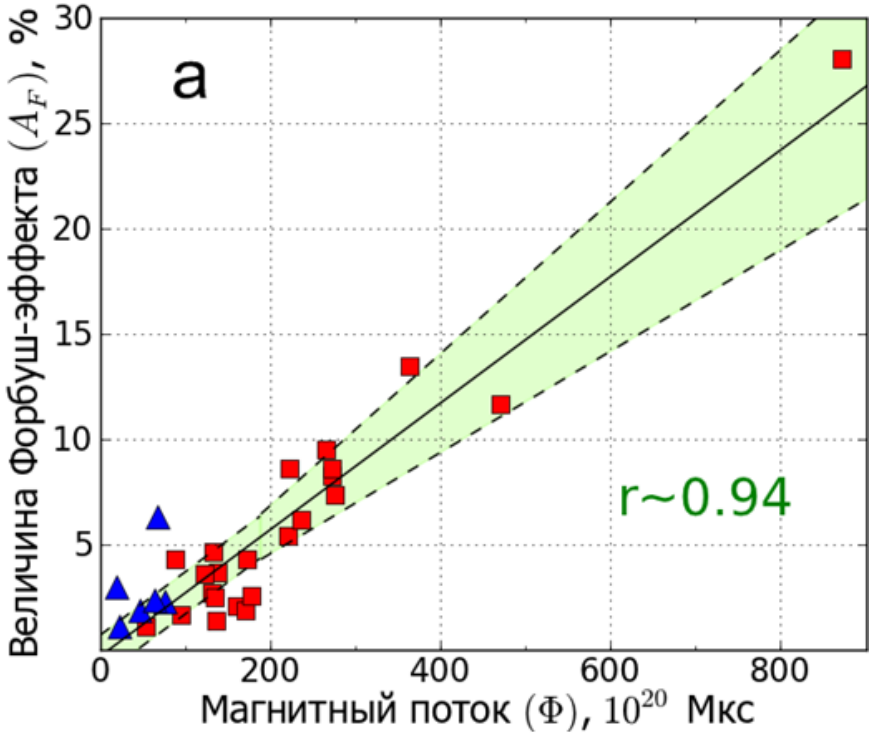
Параметры:

магнитные потоки диммингов (Φ_{dim}) и аркад (Φ_{arc}), суммарный поток

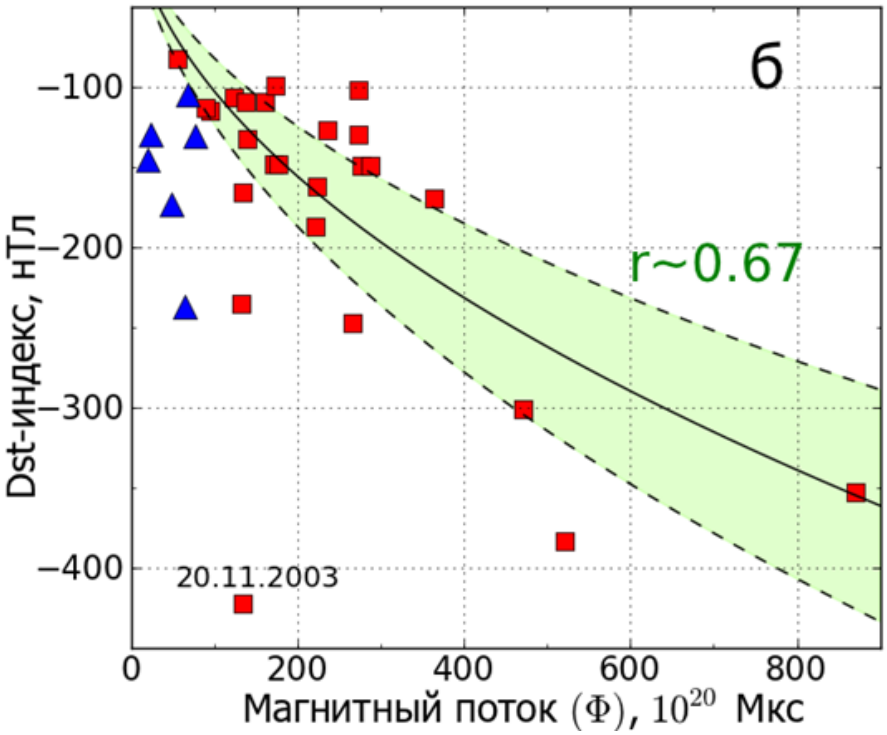
$$\Phi = \Phi_{dim} + \Phi_{arc}$$



Форбуш-понижения и Dst-индекс



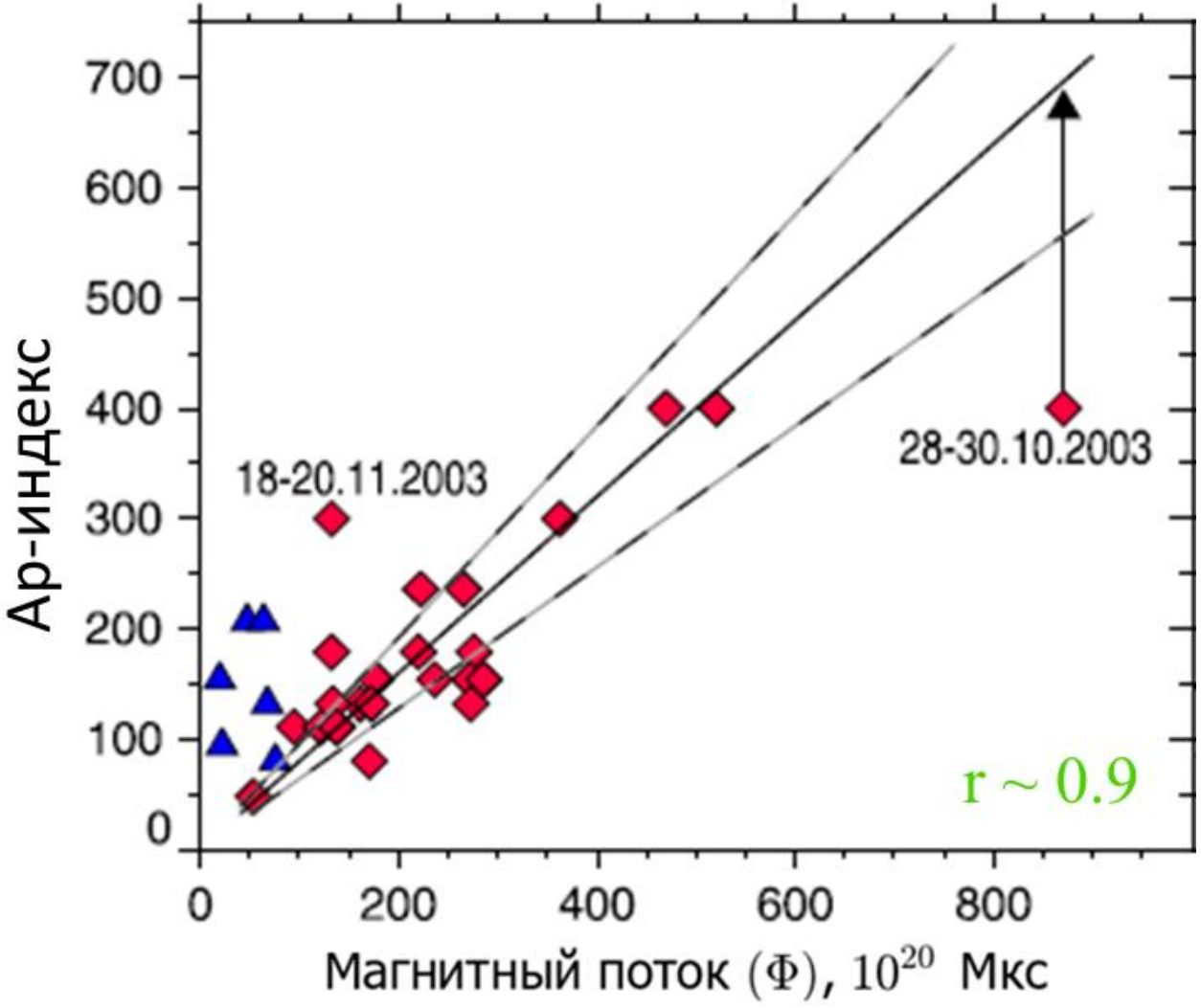
$$A_F(\%) = -0.3 + 0.03\Phi$$



$$Dst(nT) = 30 - 13\sqrt{\Phi + 5.3}$$

▲ — эрупции вне АО ■ — эрупции в АО

Ар-индекс



***Ар* = 0.8Φ**

▲ — эрупции вне АО

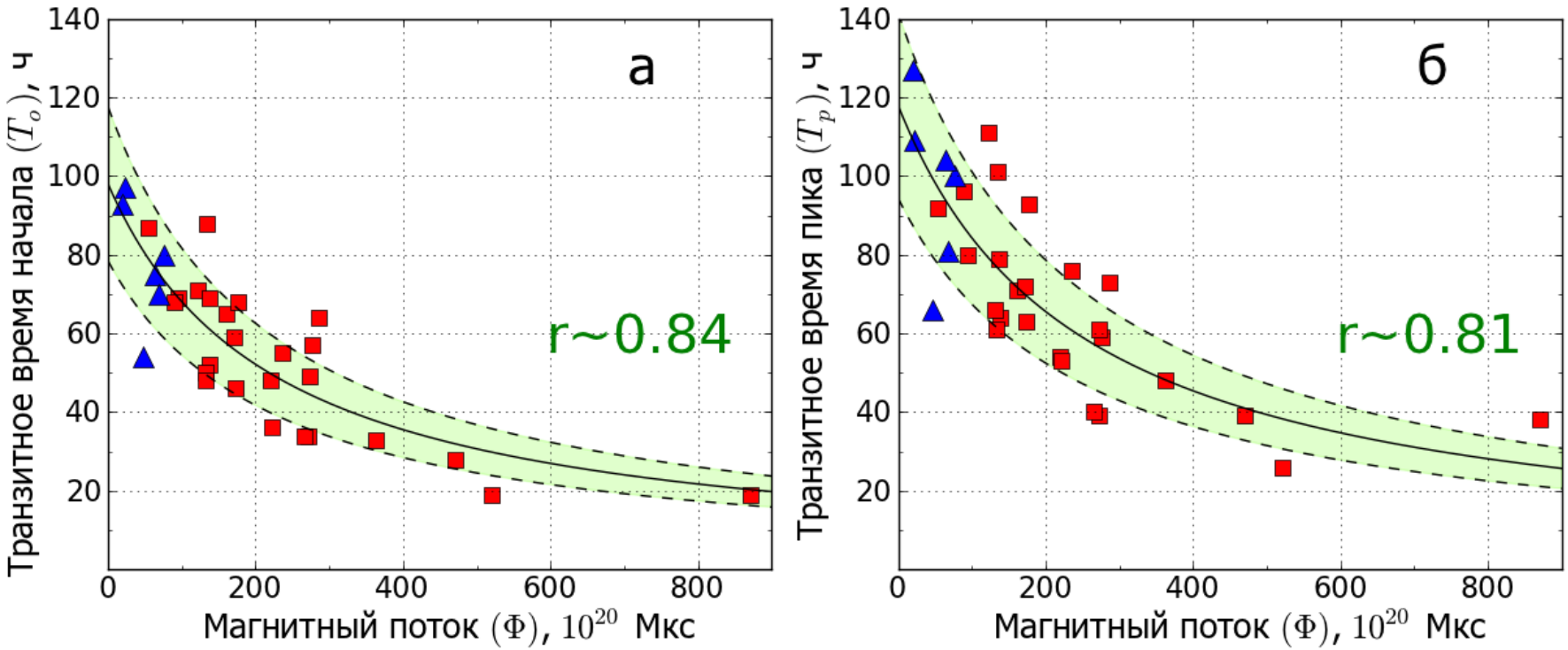
■ — эрупции в АО

Транзитные времена начала (ΔT_o) и пика (ΔT_p) возмущения

Интервал между пиком мягкого рентгена в источнике эрупции и:

ΔT_o — приходом к Земле ударной волны (SSC)

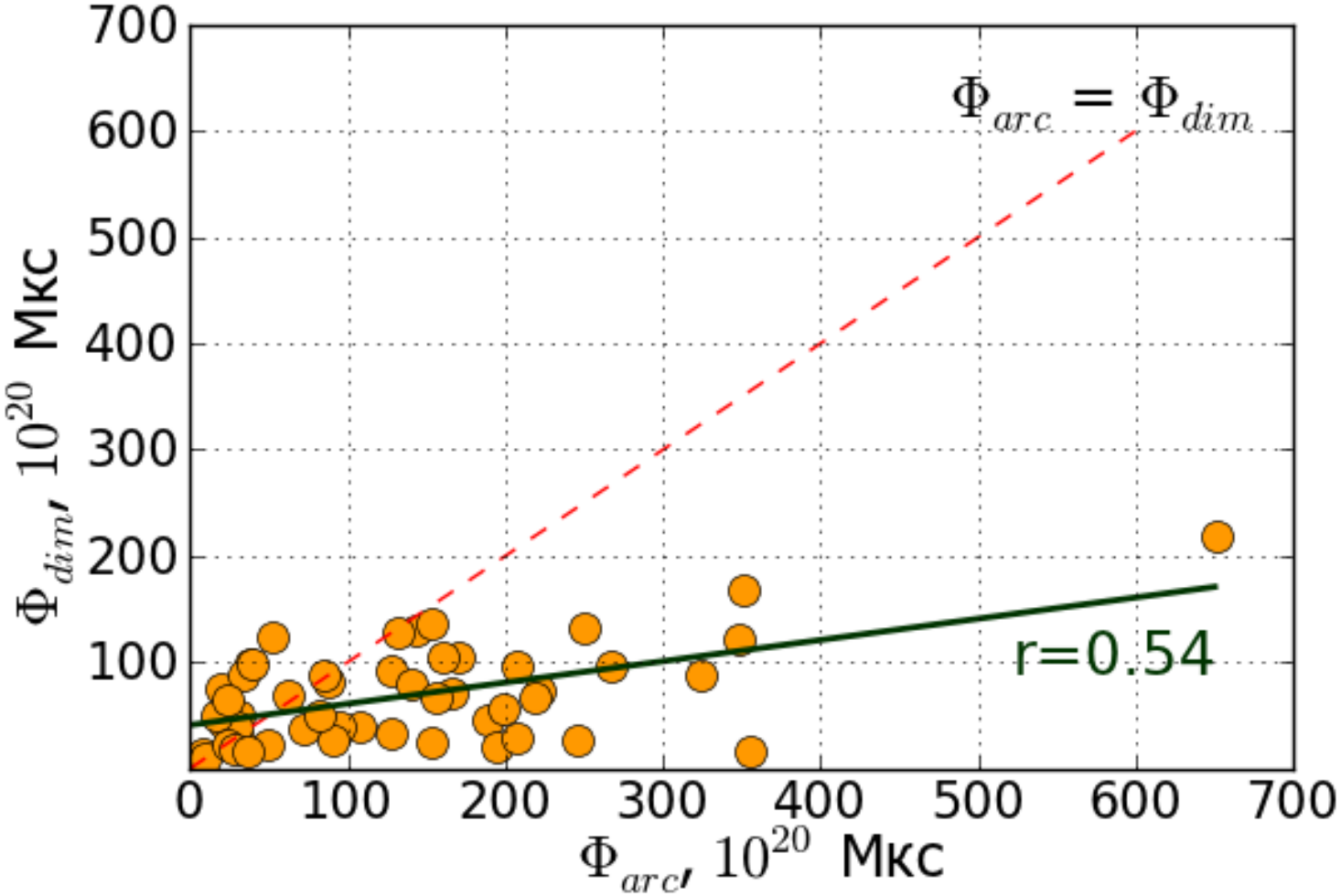
ΔT_p — пиком интенсивности ГМБ



$\Delta T_o = 98/(1+0.0044 \times \Phi)$

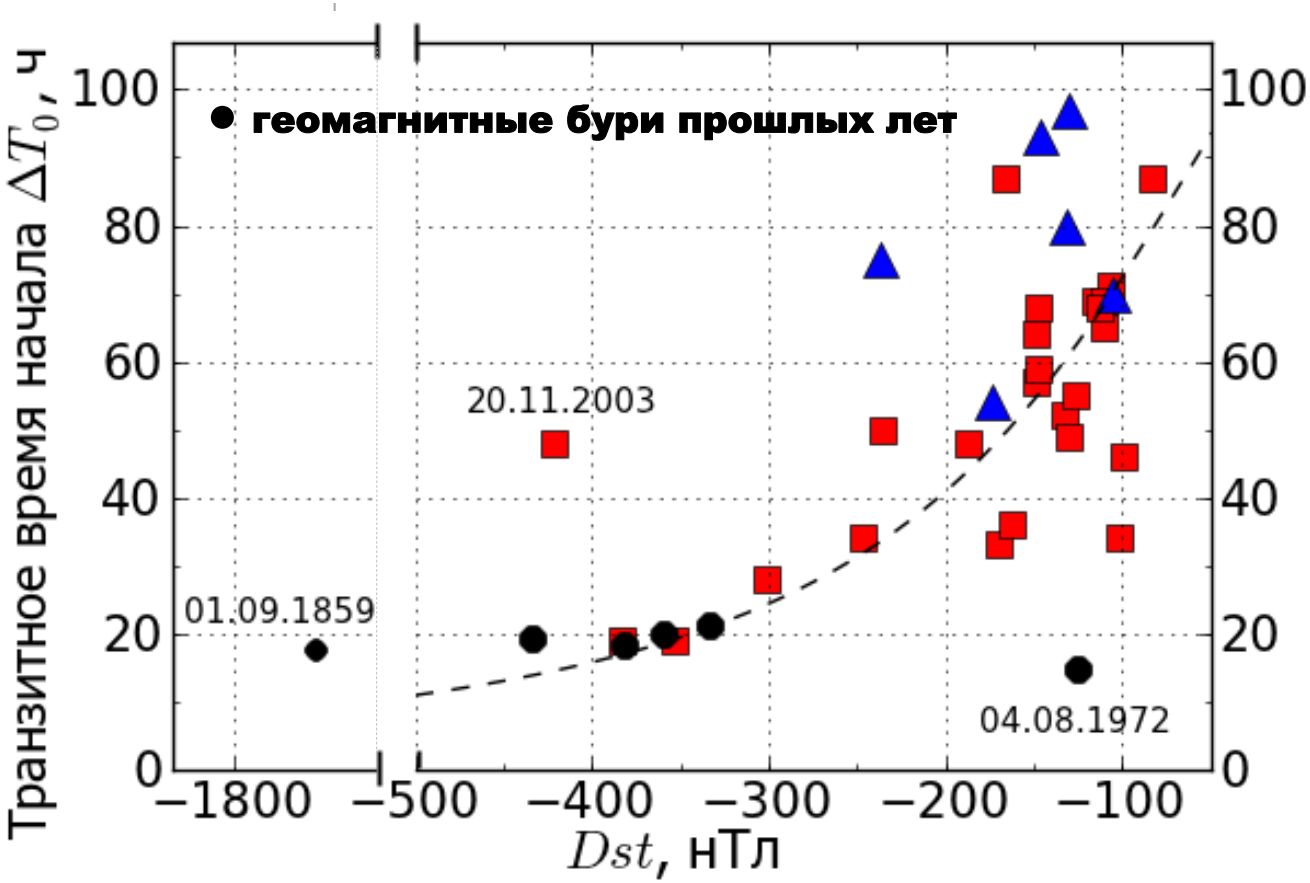
$\Delta T_p = 118/(1+0.004 \times \Phi)$

Относительный вклад диммингов и ПЭ аркад



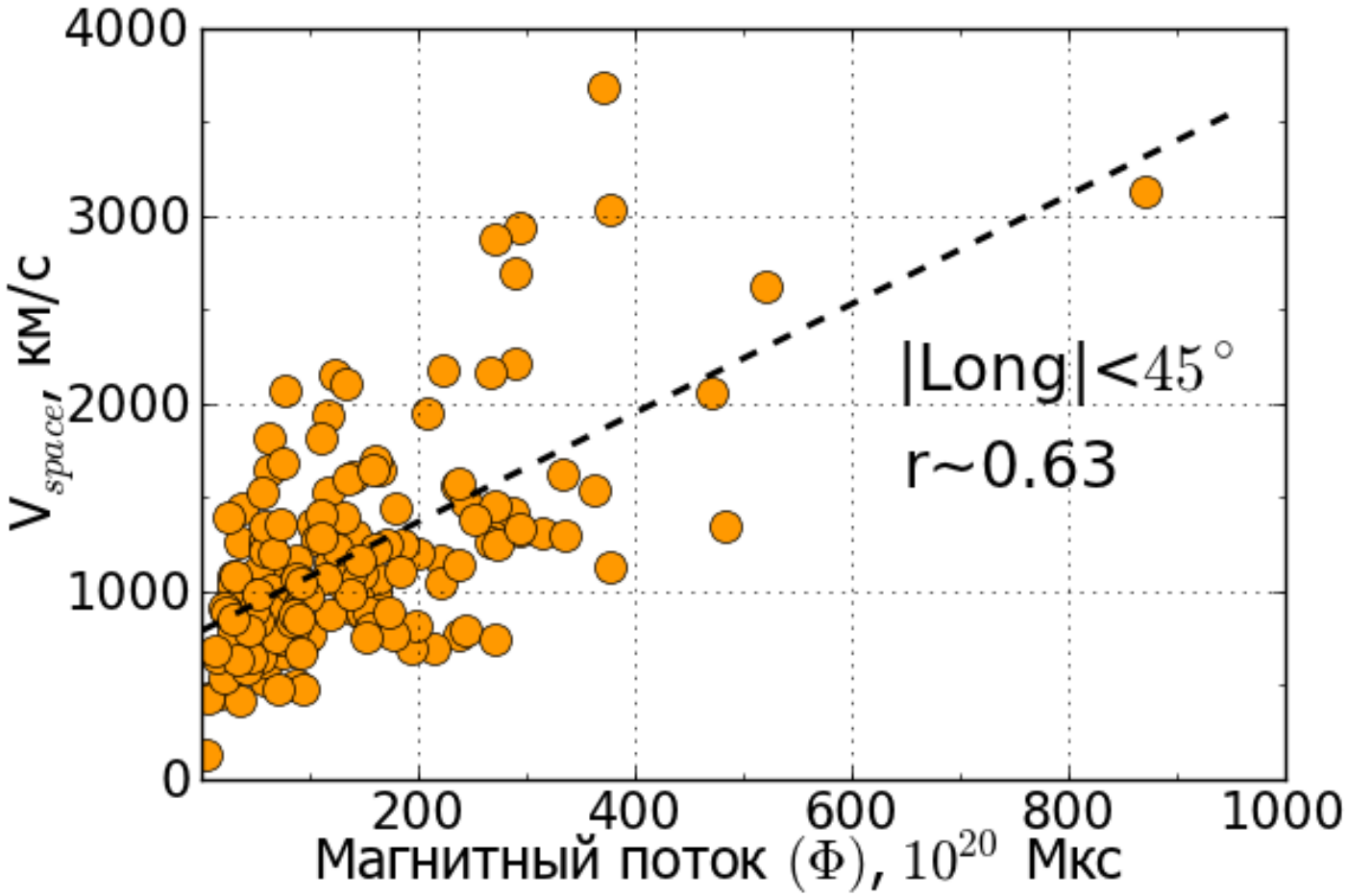
$\Phi_{dim} < \Phi_{arc}$

Интенсивность геомагнитных бурь и транзитное время



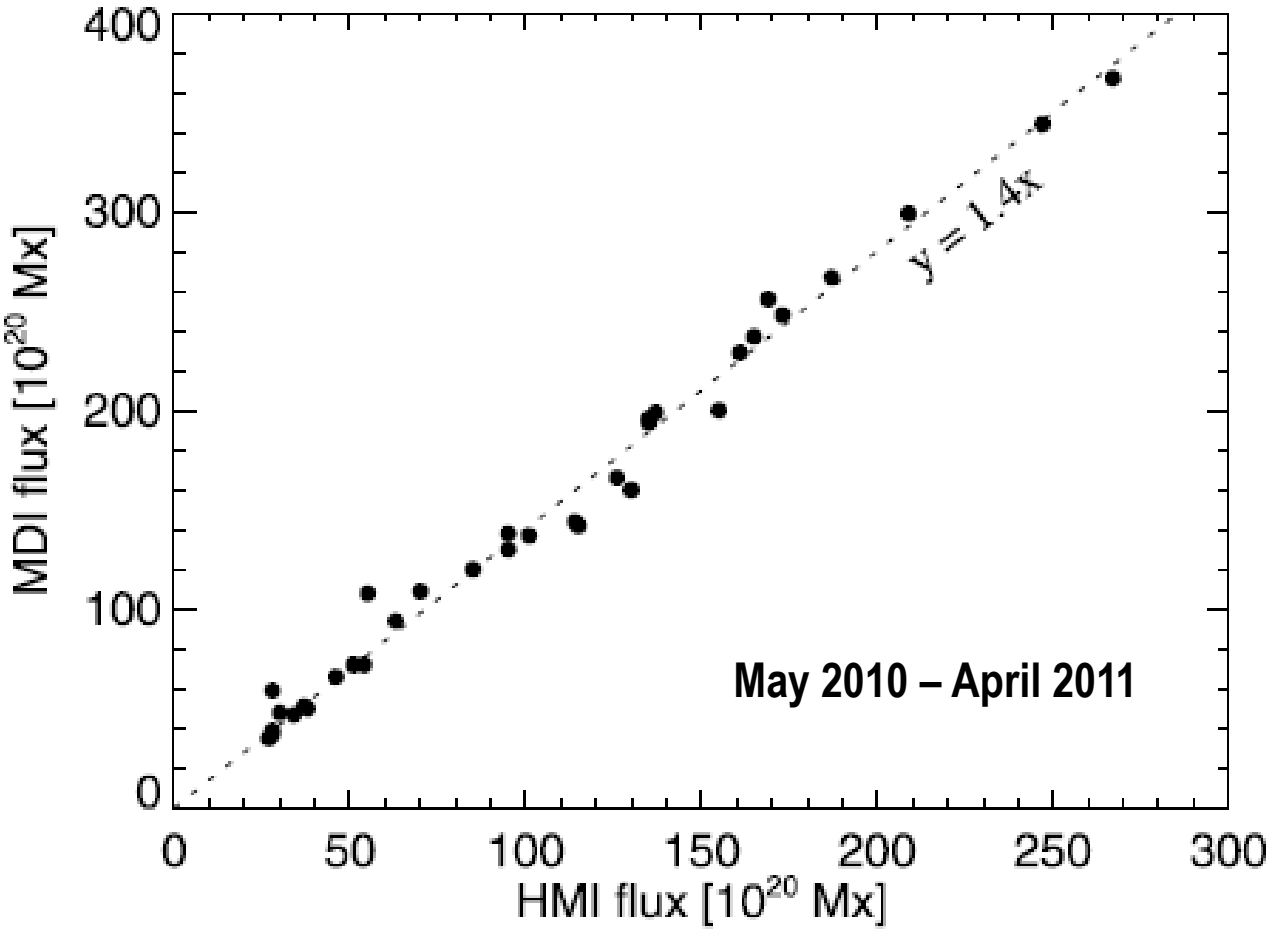
Чем сильнее геомагнитная буря,
тем меньше транзитное время начала

Магнитный поток и пространственная скорость CMEs



Скорость CMEs в короне Солнца определяется мощностью соответствующих эрупций

Переход от данных SOHO (до 2010) к данным SDO (с 2010)



$$\Phi_{MDI} = 1.4 \cdot \Phi_{HMI}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупность приведенных эмпирических соотношений и закономерностей формирует методику ультрафиолетевой/магнитной диагностики солнечных эрупций, вызывающих нерекуррентные геомагнитные бури и Форбуш-понижения, с заблаговременностью от 1 до 5 суток

Остается вопрос учета знака Bz компоненты

Тот же подход с диагностикой по магнитному потоку может быть применим для:

— эрупций волокон вне активных областей

— рекуррентных возмущений от корональных дыр

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!