

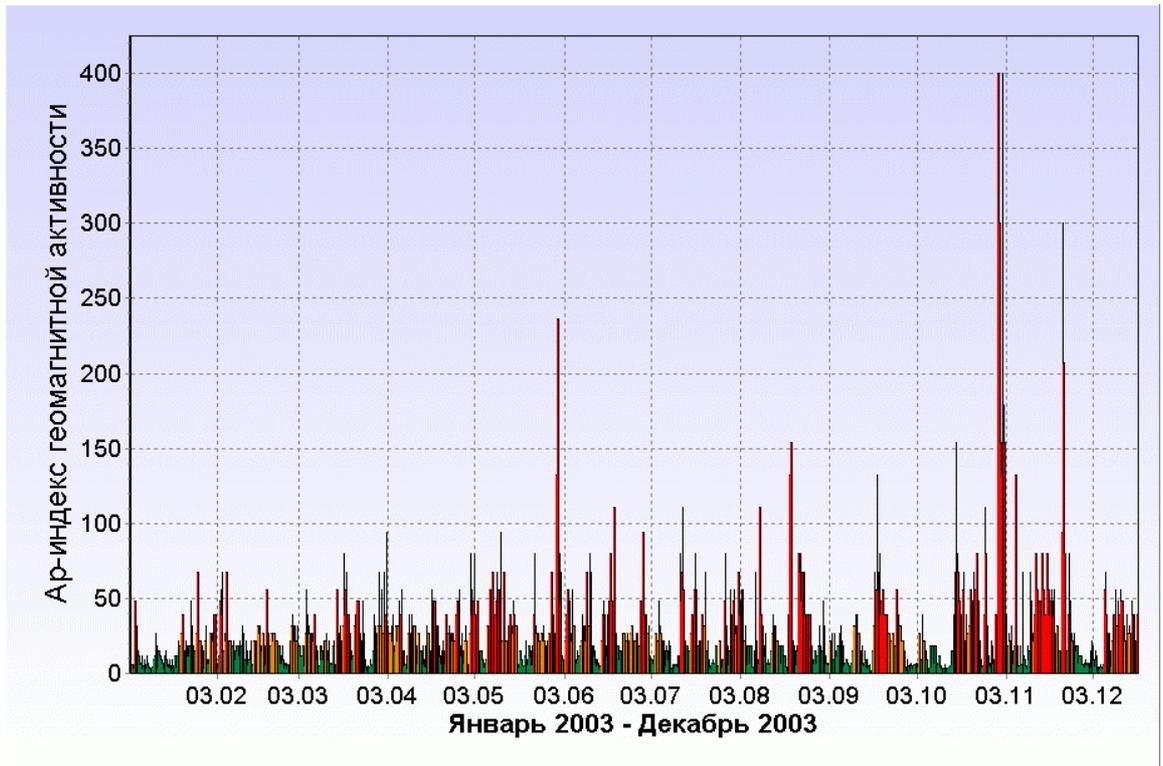
Белов А.В., Гайдаш С.П., Канониди Х.Д.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН  
(ИЗМИРАН)

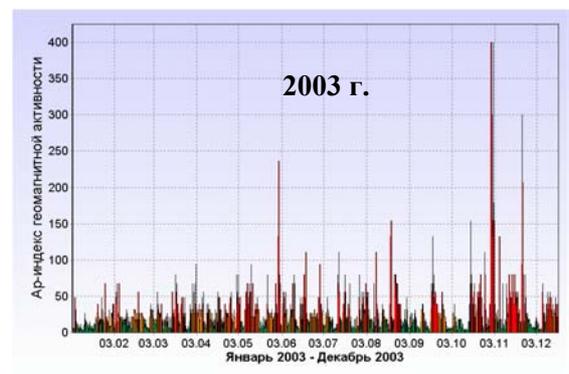
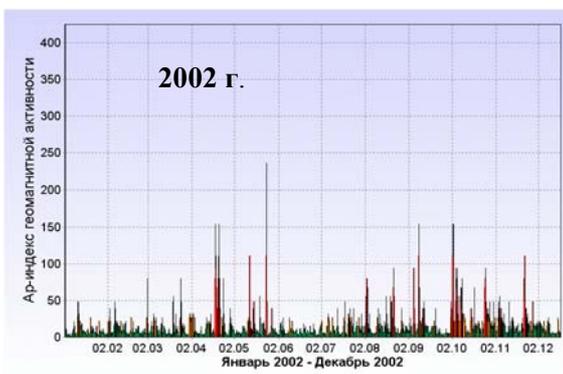
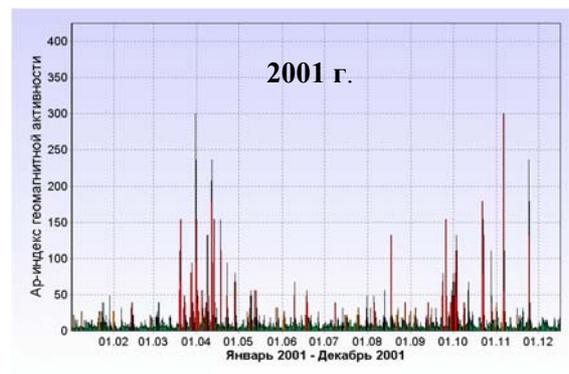
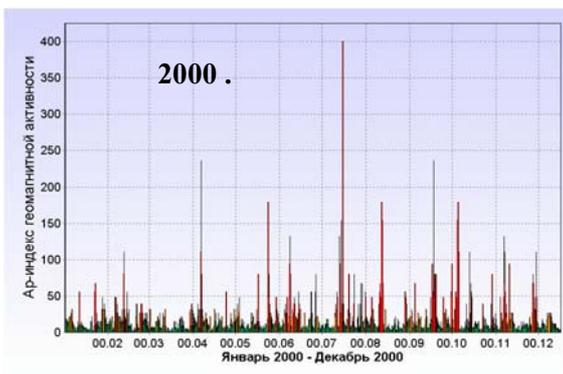
## ГЕОМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ В 2003 ГОДУ

2003 год начинался достаточно спокойно, солнечная активность была относительно низкой и вполне соответствовала развитой фазе спада, которую сейчас проходит текущий солнечный цикл. В первые два месяца года и в июле, августе и в сентябре число солнечных пятен и поток радиоизлучения иногда опускались до такого низкого уровня, какой до этого не наблюдался 4 года. В эти периоды не было мощных вспышек, и даже вспышки рентгеновского балла М появлялись крайне редко. В марте, апреле и мае-июне мы наблюдали несколько всплесков солнечной активности, но они были кратковременными и не меняли общую тенденцию спадающей активности. Казалось, что к концу года станет еще спокойнее, но события октября-ноября опровергли такие ожидания.

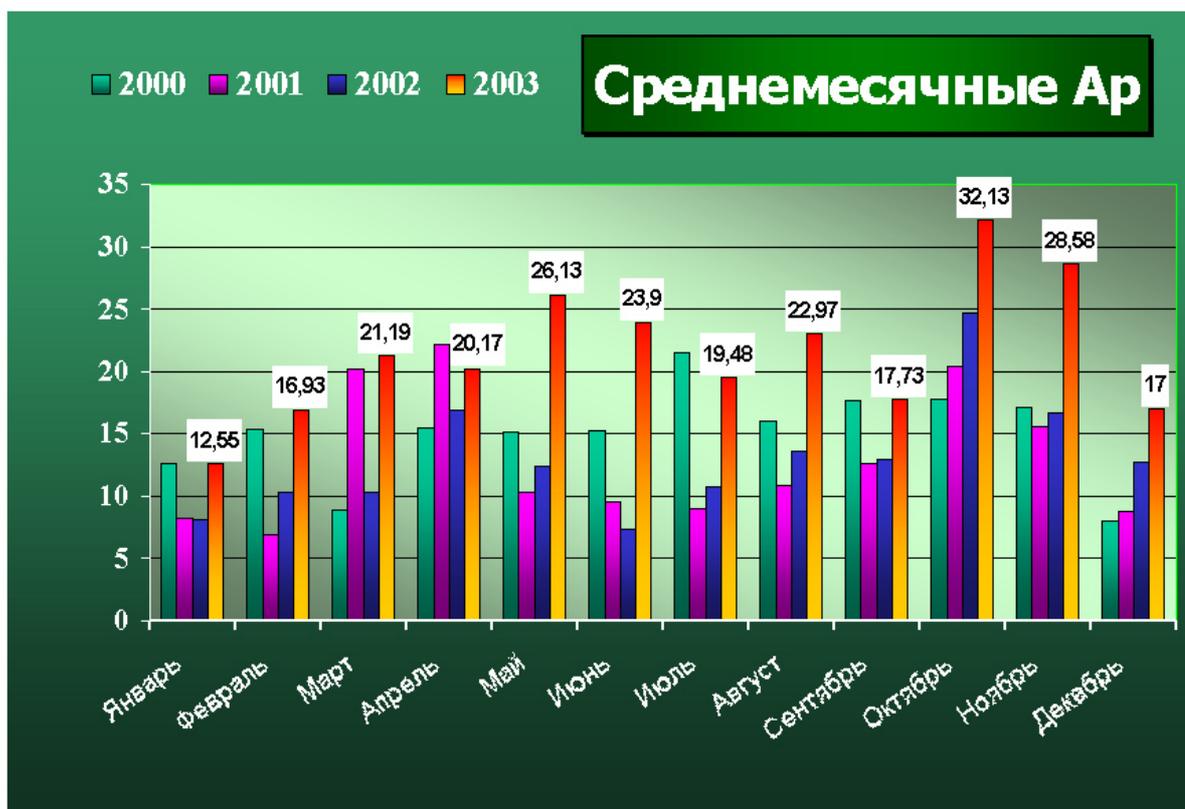
Вместе с тем, по геомагнитной активности 2003 год стал бы самым возмущенным годом 23-го цикла даже без последнего всплеска солнечной активности. Большой частью, межпланетные возмущения и геомагнитная активность в 2003 году были связаны не с эруптивной активностью Солнца, а с протяжёнными долгоживущими низкоширотными корональными дырами. На протяжении всего года Земля переходила из одного высокоскоростного потока солнечного ветра, обусловленного корональной дырой, в другой поток. Причем магнитные бури, вызывавшиеся высокоскоростным потоком солнечного ветра из одной, самой протяженной корональной, продолжались по несколько суток подряд – порой дольше недели. Когда же к влиянию корональных дыр добавились спорадические эффекты, средняя активность магнитного поля Земли стала исключительно высокой. Это хорошо видно на графике поведения Ар-индексов геомагнитной активности в 2003 году. Второй максимум геомагнитной активности, как правило, наблюдается на спаде солнечного цикла, но в текущем цикле он оказался значительно выше первого.



Можно сравнить поведение Ар-индексов геомагнитной активности за последние 4 года



Или сравнить поведение среднемесячных Ар-индексов за эти же годы



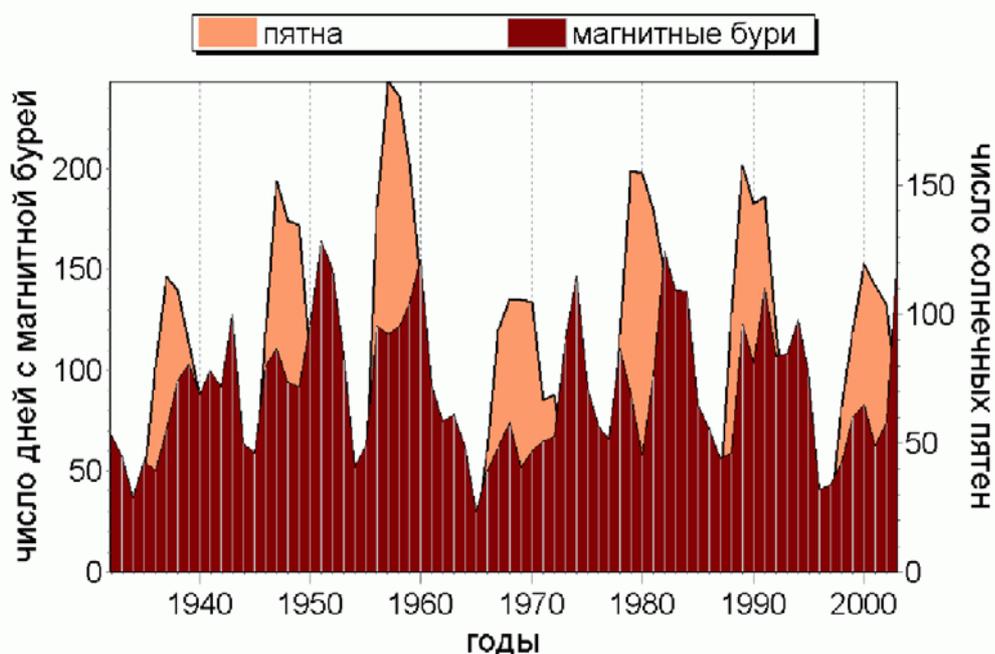
Или сравнить среднегодовые Ар-индексы



Средний за год Ар-индекс геомагнитной активности в 2003 году равен 21.8 нТл. Это очень высокое значение, уступающее только 1951, 1960, 1982 и 1991 годам.

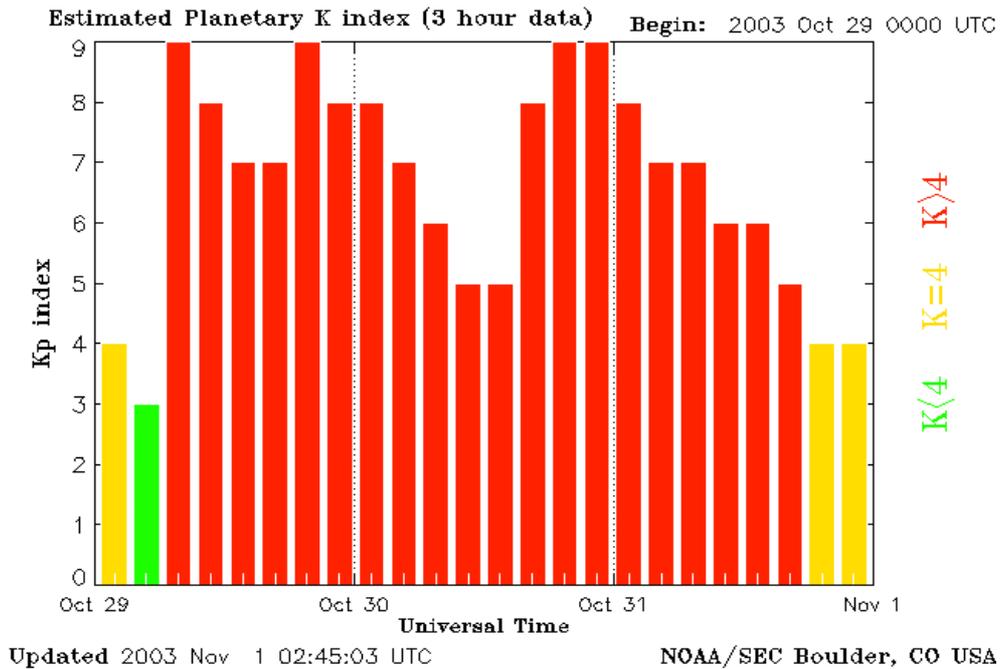
За 2003 год (по предварительным расчетам, учитывающим только  $A_p(K_p)$ -индексы) зарегистрировано 62 магнитные бури. Среди них: 2 исключительно большие (extreme) бури 29 октября и 30-31 октября, 2 очень большие (severe) бури (29-31 мая и 20-21 ноября), 11 больших (strong) бурь (29 апреля - 2 мая, 6-12 мая, 27-29 мая, 18-19 июня, 11-12 июля, 7-8 августа, 17-18 августа, 16-21 сентября, 13-22 октября, 24-25 октября и 4 ноября). Остальные бури были малыми или умеренными. Многие бури года оказались продолжительными (неделя и более). Трижды 29-30 октября регистрировался максимально возможный  $K_p$ -индекс 9, в текущем цикле до этого был только один такой 3-часовой интервал (в июле 2000 г.). 20 ноября Dst-индекс опустился до  $-465$  нТл, за все время, когда этот индекс рассчитывался (с 1957 г.), ниже он был только однажды: 13-14 марта 1989 г.

В 2003 году было 158 дней, в которые регистрировались магнитные бури. Это почти вдвое чаще, чем в среднем за 1932-2002 гг. Только в 1951 и 1982 гг. бури были еще чаще, причем ненамного.

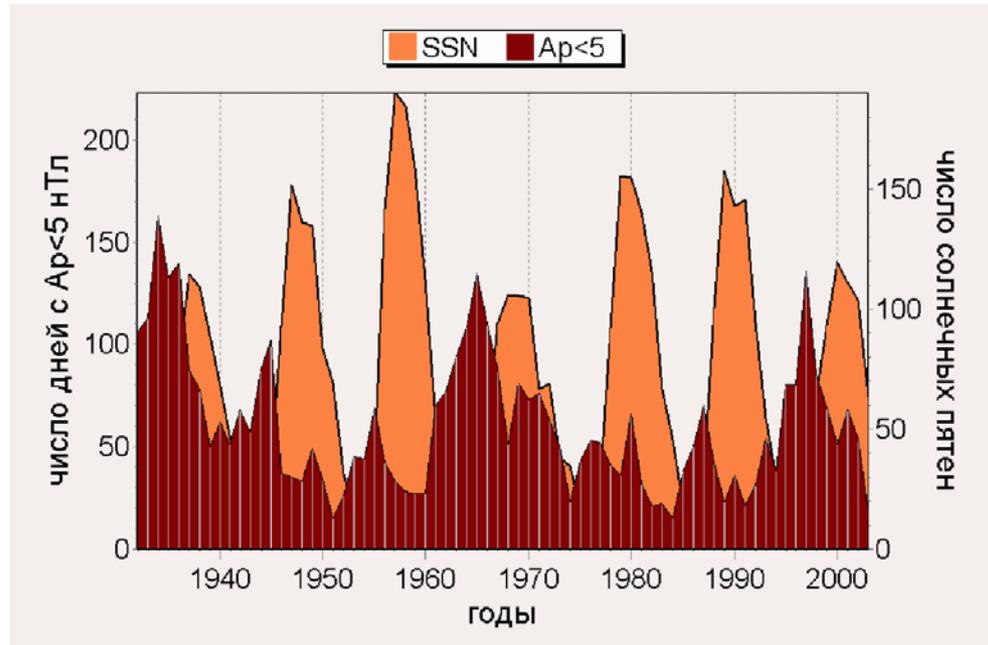


*Среднегодовые числа солнечных пятен и число дней с магнитной бурей  
в 1932-2003 гг.*

Самые активные дни года в магнитном поле Земли пришлись на 29 мая, 18 августа, 29-31 октября и 20 ноября. День 29 октября с среднесуточным  $A_p=204$  нТл, оказался самым возмущенным днем цикла, а три последних дня октября – самым возмущенным трехдневным интервалом за всю историю  $A_p$ -индексов.

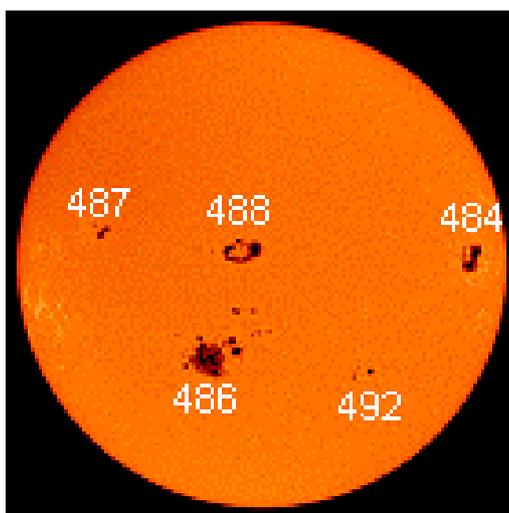


В 2003 г. было чрезвычайно мало спокойных дней. Только 16 раз среднесуточный Ар-индекс опускался ниже 5 нТл. Заметим, что в каждый из предыдущих четырех лет число таких дней было 50–70. Самыми спокойными оказались 9 января, 25 марта, 8 июля, 10-11 октября.



*Среднегодовые числа солнечных пятен и число дней, когда среднесуточный Ар-индекс был ниже 5 нТл, в 1932-2003 гг.*

Особенно выдающимися месяцами 2003 года стали октябрь и ноябрь. Начало октября не предвещало особых событий. В отдельные дни пятна на Солнце исчезали почти полностью. Отсутствовали сложные и/или большие активные области, не было значительных вспышек. Могло показаться, что мы вступаем в минимум солнечной активности. Первые 14 дней октября характеризовались низкой геомагнитной активностью. Затем в очередной раз мы наблюдали продолжительную магнитную бурю, обусловленную большой рекуррентной корональной дырой. Однако вскоре привычная ситуация резко изменилась. Это стало ясно, уже 17 октября на восточном лимбе появилась группа пятен 484. 19 октября эта группа стала по площади больше 1000 миллионов долей видимой солнечной поверхности, приобрела дельта-конфигурацию магнитного поля и начала генерировать большие вспышки. 22-23 октября она уже имела огромную площадь, более 1700 миллионов. В эти же дни на видимый диск Солнца вышла группа 486, которая оказалась еще больше и еще опаснее. 26 октября группа 486 имела 94 пятна, площадь около 2200 миллионов и множественные дельта-структуры. 29 октября эта группа пятен увеличилась до 2610 миллионов и стала самой большой активной областью текущего солнечного цикла и создала серию очень больших вспышек. Затем появилось еще несколько быстро развивающихся групп пятен. Одна из них (488) быстро приобрела дельта-конфигурацию и площадь более 1400 миллионов. За две недели число солнечных пятен выросло в тринадцать раз, а поток солнечного радиоизлучения (10.7 см) - втрое. 29-го октября создалась редчайшая ситуация, когда три огромные группы пятен одновременно находились на видимой части Солнца и соперничали в активности (рис).



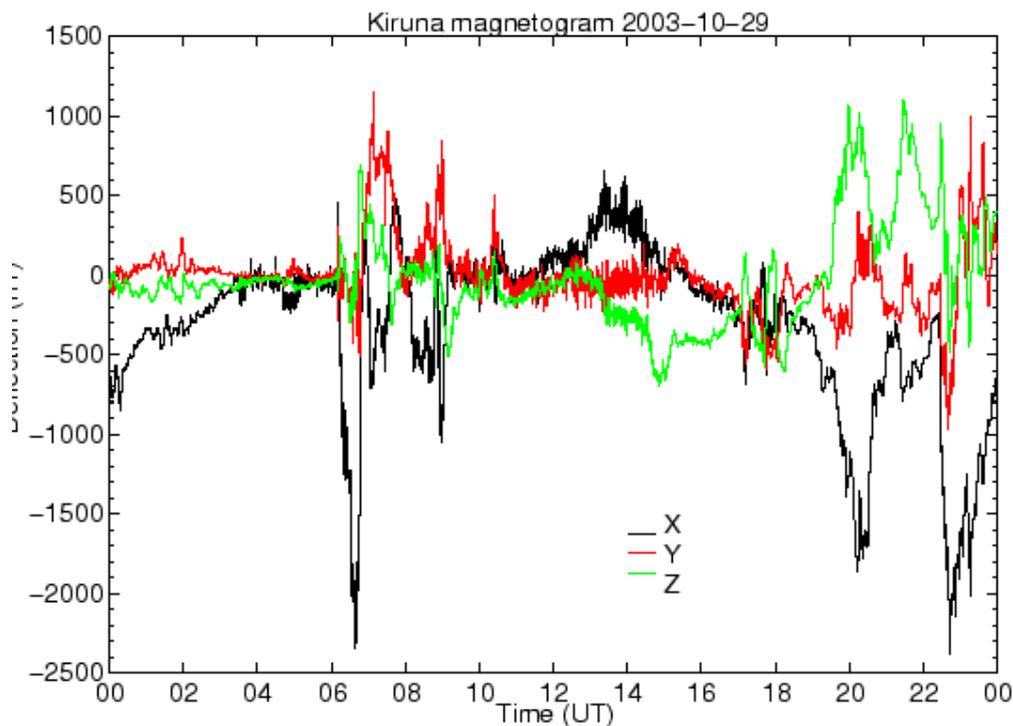
После четырех месяцев полного отсутствия больших вспышек и почти полного отсутствия - средних, в последние дни октября и в первые дни ноября мы наблюдали самую впечатляющую серию вспышек текущего цикла. Самые значительные из вспышек группы 484: X1.1/1N 19-го октября, X1.2/1N и M7.6/2N 26-го. Список группы 486

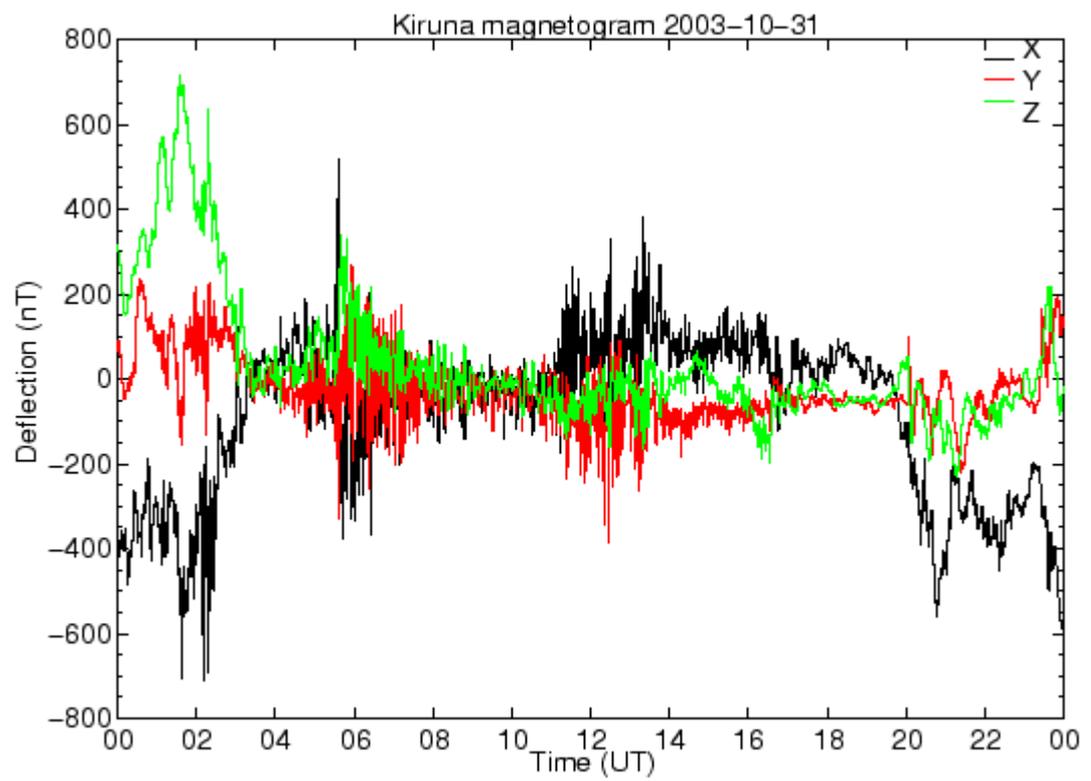
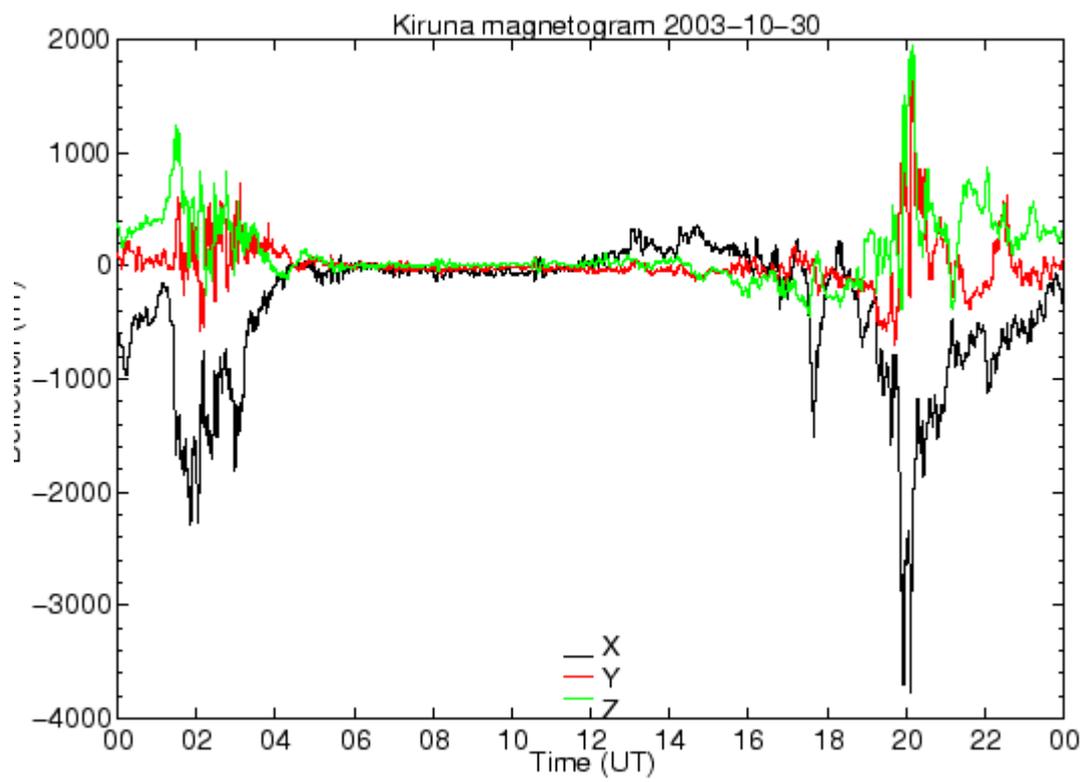
внушительнее: M9.9/SF 22-го, X5.4/1B и X1.1/1N 23-го, M7.6/1N 24-го, X1.2/1N 26-го, M5.0/SF, M6.7/SF 27-го. Вспышка X5.4 23-го октября стала самой большой рентгеновской вспышкой за 2 года, но вскоре она была существенно превзойдена.

Но даже на этом фоне резко выделяется вспышка X17.2/4B 28 октября, начавшаяся в 9:51 и достигшая максимума в 11:10 мирового времени (координаты S16E08). Это вторая по мощности рентгеновская вспышка в текущем солнечном цикле, немного уступившая только событию 2 апреля 2001 года. Она сопровождалась мощными радиовсплесками всех типов и ускорением заряженных частиц до энергии  $>7$  GeV. Поток протонов с энергией  $>10$  MeV, измеренный на спутниках GOES значительно превысил 10000 rfu, что соответствует радиационной буре 4-ой категории и позднее достиг максимума 29500 rfu.

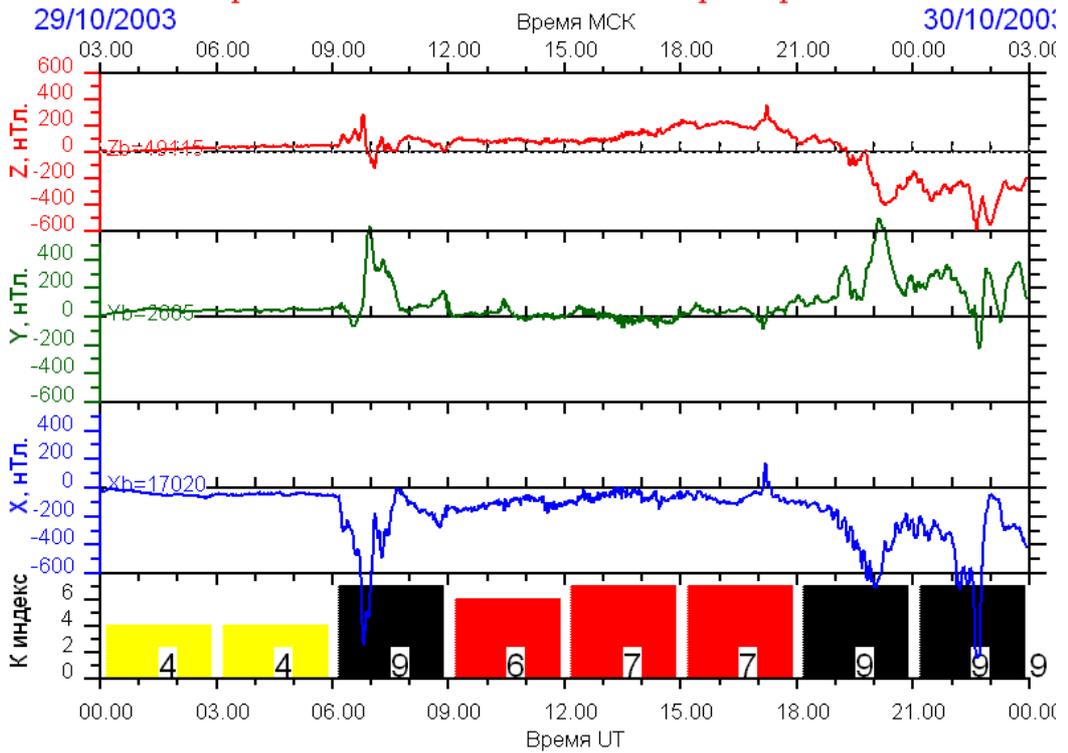
Во время вспышки наблюдалось очень большой, плотный и быстрый выброс солнечного вещества, со скоростью  $>2100$  km/s. Межпланетная ударная волна достигла Земли 29 октября в 6:13 UT, всего через 19 часов после вспышки. Это самый быстрый приход межпланетного возмущения с 1972 г.. После прихода ударной волны началась исключительно большая магнитная буря. e. Уже в первые часы Кр-индекс геомагнитной активности достиг предельно высокой величины 9<sub>0</sub>. За последние 15 лет такое случалось только в третий раз.

Ниже приведены графики вариаций трех компонент геомагнитного поля, зарегистрированные в обсерваториях Кируна (Швеция) и Москва (ИЗМИРАН) 29,30 и 31 октября 2003 года

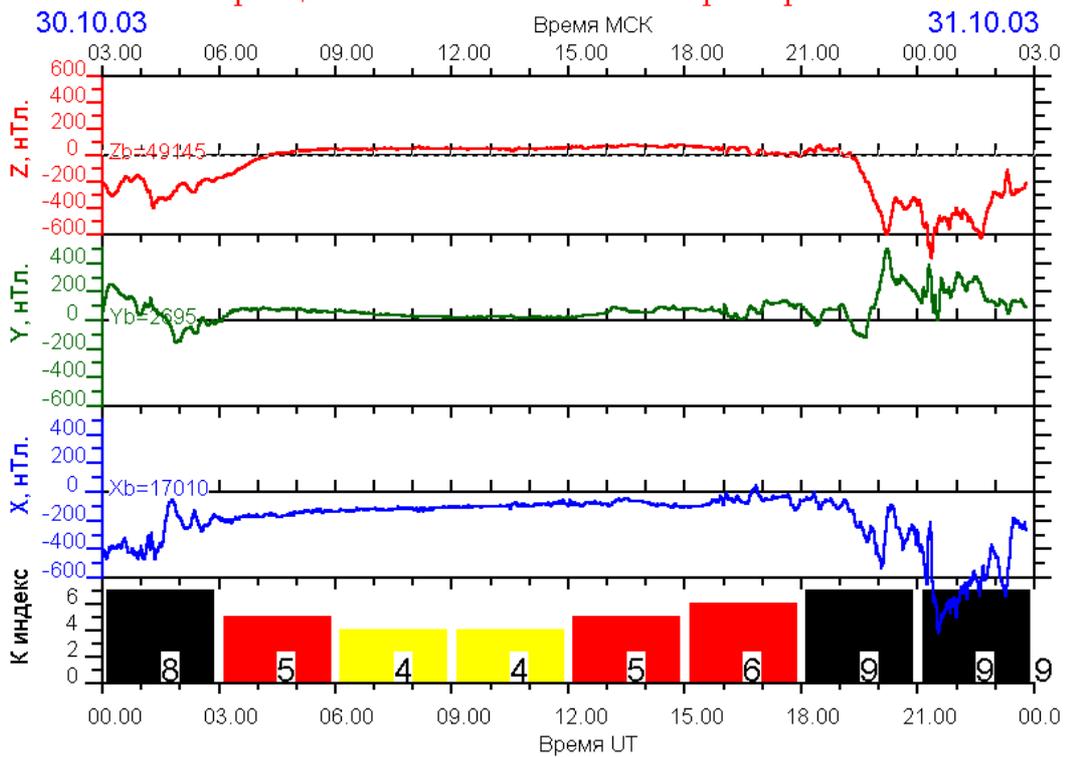


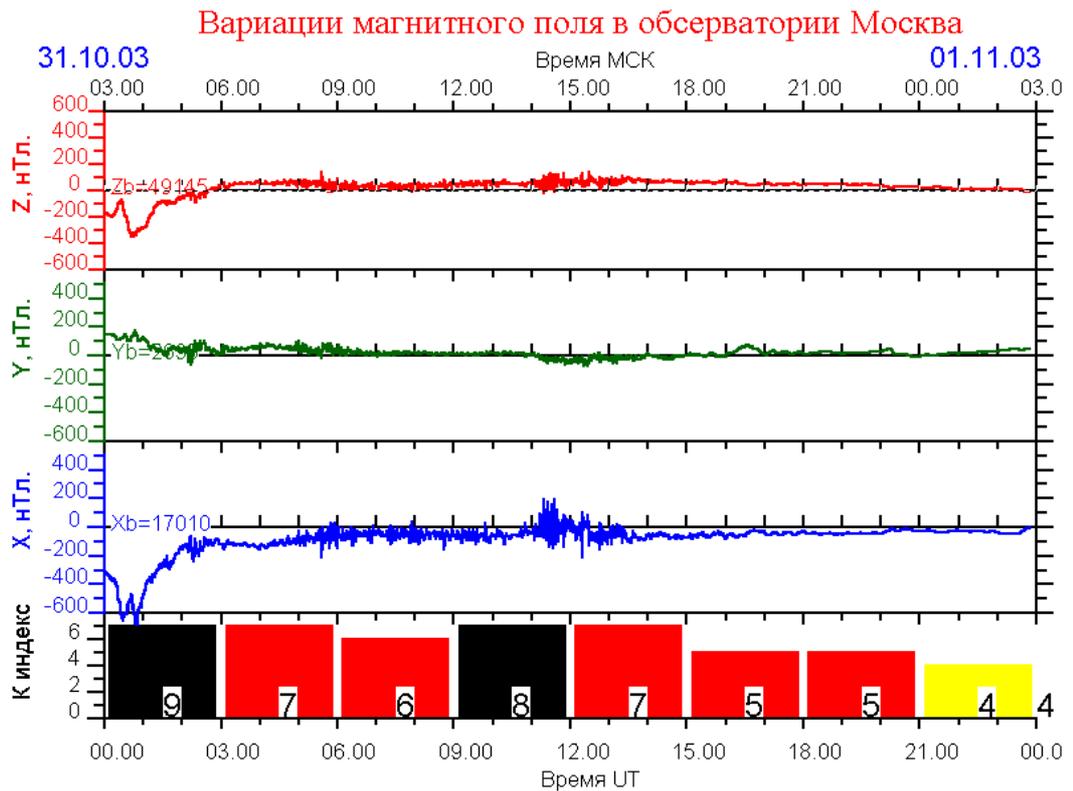


### Вариации магнитного поля в обсерватории Москва

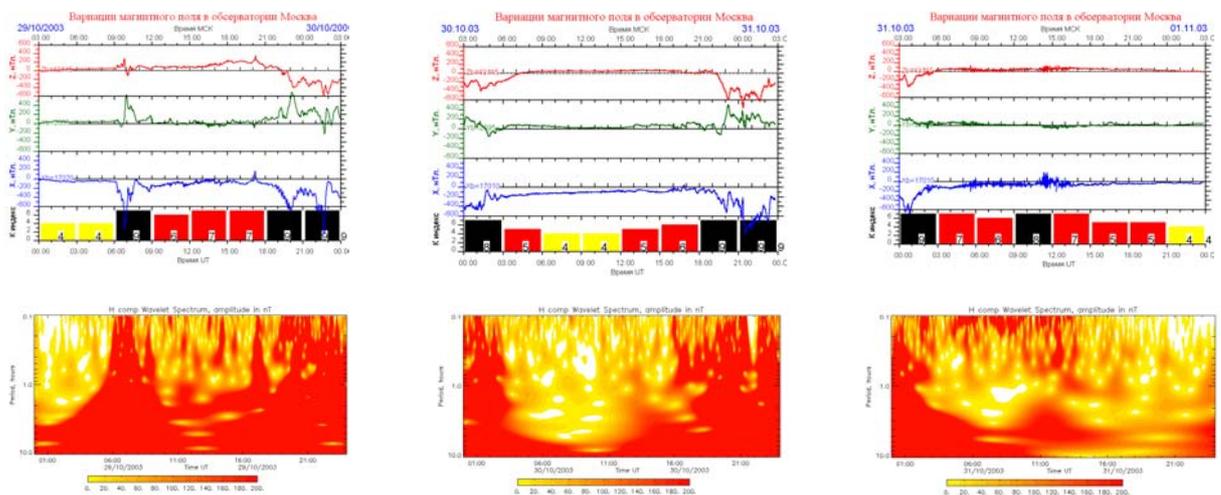


### Вариации магнитного поля в обсерватории Москва





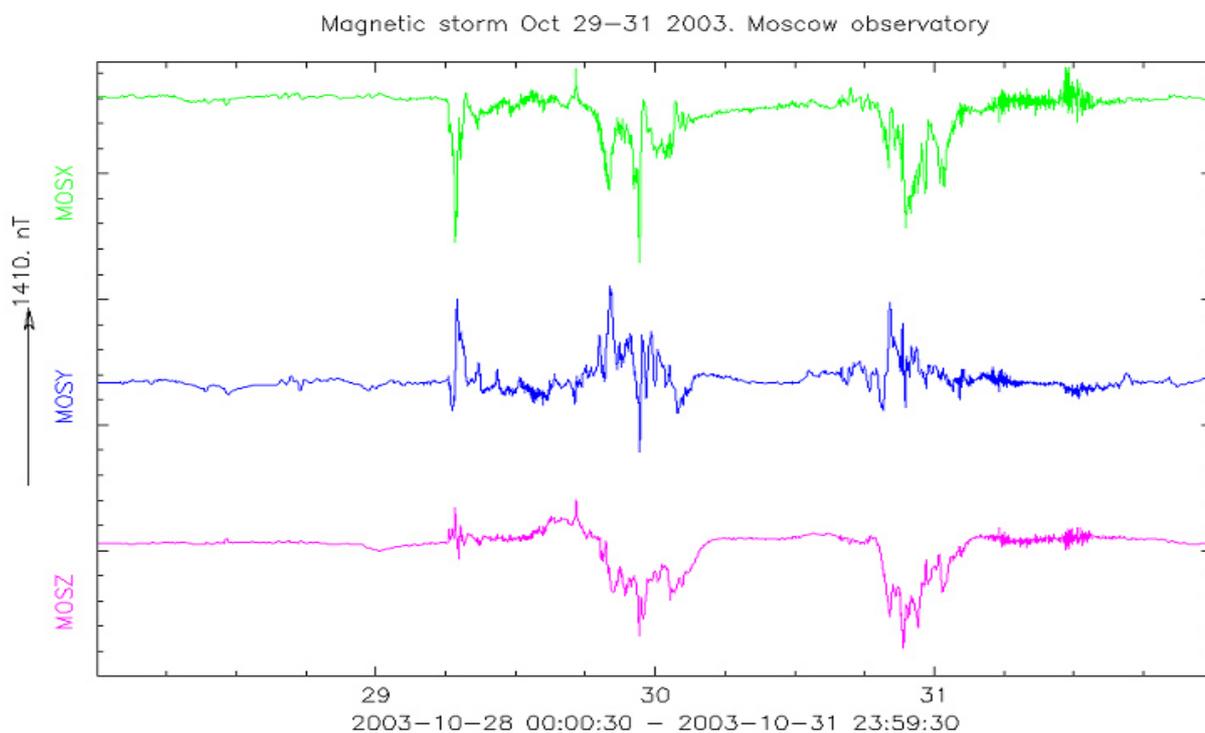
На следующем рисунке приведены графики вариаций трех компонент геомагнитного поля за 29 – 30 октября, зарегистрированные в обсерватории Москва (ИЗМИРАН) и спектры Н – компоненты, сделанные с помощью вейвлет преобразования, что дает возможность по-новому посмотреть на вариации.



Вечером 29-го группа 486 генерировала еще одну гигантскую протонную вспышку (X10.0/2B S15W02) с радиовсплесками 2-го и 4-го типа, большим потоком ускоренных частиц и ярким и быстрым (скорость почти 2000 км/с) выбросом вещества.

Впервые за последние десятилетия две такие большие вспышки подряд произошли в центре диска. Вторая ударная волна оказалась почти столь же быстрой, как и первая. После ее прихода геомагнитная активность вновь выросла до уровня исключительно

большой бури. В результате мы получили один из самых активных периодов в истории наблюдения геомагнитной активности.



Полярные сияния наблюдались 29-31 до широт Флориды и Техаса в США и во многих европейских странах. Имеются фотографии сияний в Москве и практически во всех странах Европы, за исключением Испании, Португалии и Албании. Аномальная космическая погода сказалась на работе многих ИСЗ, в частности отказал японский спутник связи Kodama. Энергетическая система США и Канады испытывала перегрузки от индуцированных токов. Есть сообщение об отключении электропитания в примерно 20 тысяч домов в городе Малме на юге Швеции.

Конец октября - это самый возмущенный период текущего солнечного цикла, а сам октябрь, безусловно, самый возмущенный месяц.

29-го и 30-го октября за 2 дня было три 3-часовых интервала с  $K_p=9$ . Это случилось впервые в истории  $K_p$ -индексов.

Среднечасовое значение Dst-индекса = -401 нТл в конце суток 29 октября - шестое с 1957 г.

Среднесуточное значение  $A_p$ -индекса = 204 нТл 29 октября, девятое в истории наблюдений (с 1932 г.). Более возмущенные дни бывали в 40-х и 50-х (включая 1960 год). А в последние 44 года оно уступает только дню 13 марта 1989 г.

Три последних дня октября ( $A_p = 204, 191, 116$  нТл) стали самым возмущенным трехдневным интервалом в истории геомагнитных индексов.

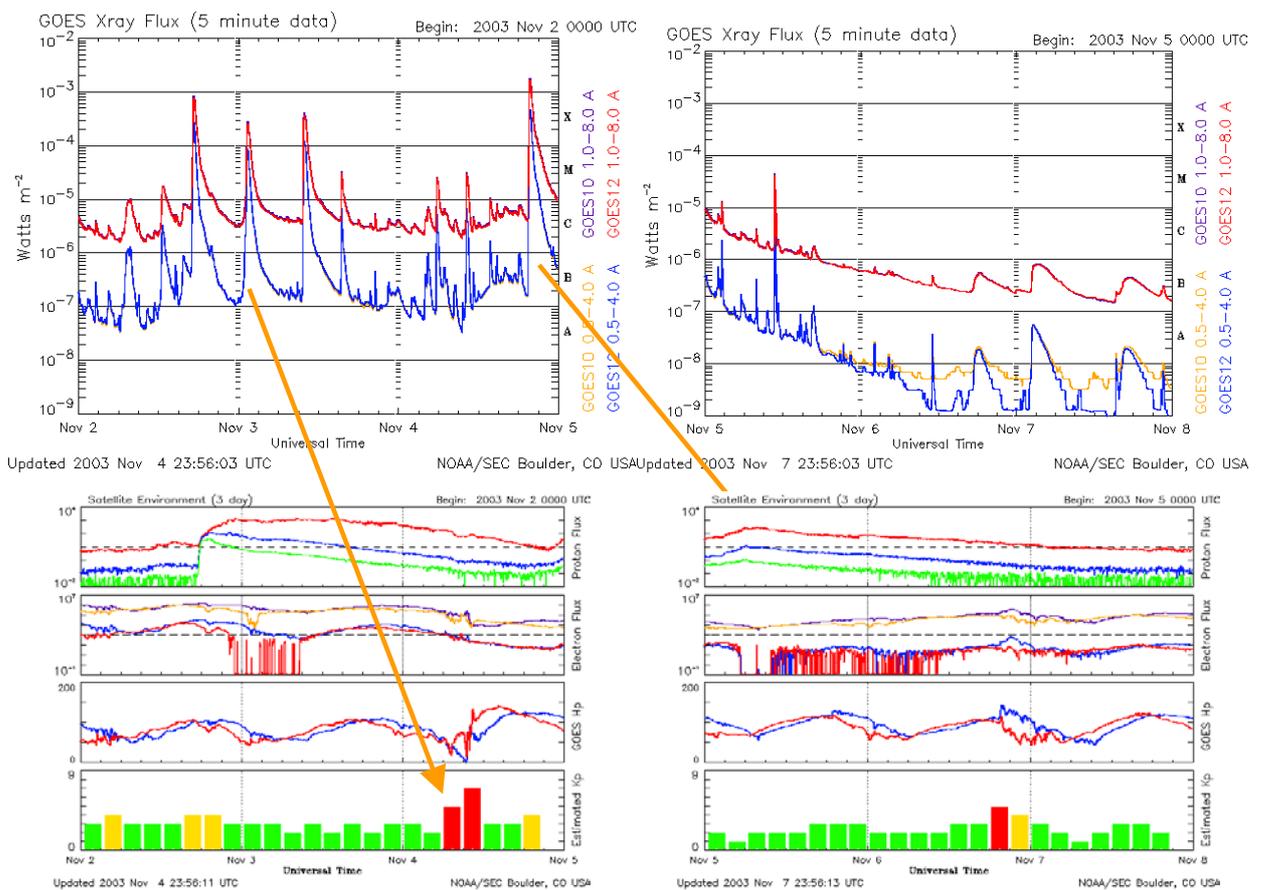
После недолгого относительного затишья вечером 2 ноября началась новая серия мощных вспышек. Сначала еще одна гигантская протонная вспышка (X8.3/2B S14W56, начало 1703 UT) вновь произошла в группе 486. Вновь ей сопутствовал полный набор спорадических явлений: радиовсплески 2-го (соответствующий очень быстрой ударной волне) и 4-го типа, большим потоком ускоренных частиц и полное гало.

Группу 486, по-видимому, можно считать самой продуктивной группой цикла, как в отношении вспышек, так и в отношении ускоренных частиц.

3 ноября эстафету подхватила активная область 488. До этого дня она много дней была очень большой и сложной, но не создавала вспышек  $>M2$ . 3 ноября она, наконец-то, генерировала сразу 2 мощных вспышки подряд (X2.7/2B N10W83, начало 0109 UT и X3.9/2F N08W77, начало 0943 UT) с интервалом только 8 часов.

Ударная волна от выброса, связанного с X8.3 пришла к Земле в 0627 UT 4 ноября. Вновь мы увидели существенное усиление геомагнитной активности, правда, кратковременное.

Уже уходя за лимб, вечером 4 ноября группа 486 выдала самую большую вспышку не только в серии, но и в истории рентгеновских наблюдений (X17.4+/3B S19W83, начало 19:29 UT, максимум 19:53 UT). Реальная интенсивность вспышки была много выше, чем X17 и даже X20, поскольку детектор GOES 14 минут был в насыщении. Позднее она была оценена как X28. Вспышку сопровождал полный набор радиовсплесков и очень мощный выброс вещества. Лимбовое положение источника не помешало этому CME стать полным гало. Ударная волна вновь пошла к Земле и через 48 часов вызвала малую магнитную бурю.



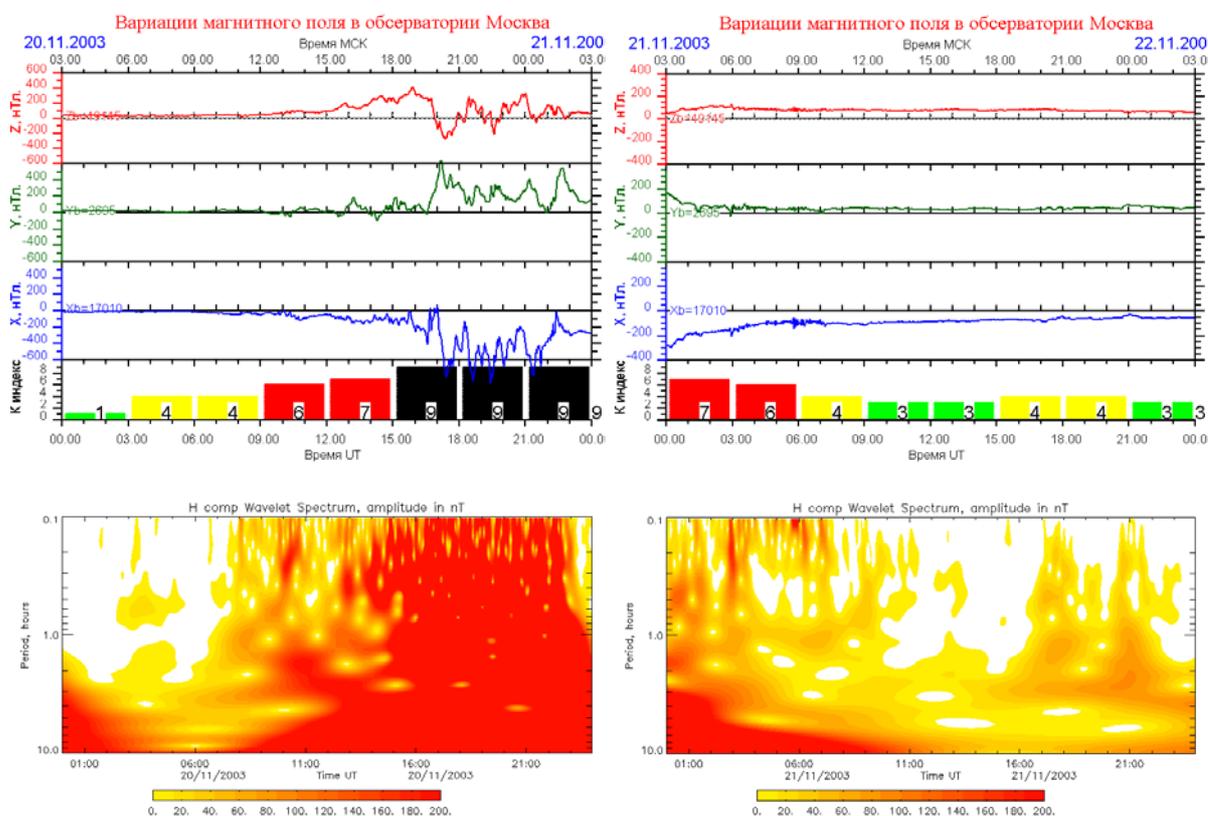
5 ноября группа 486 дала вспышку M5+ уже из-за лимба. Продолжительность и интенсивность высокой активности этой группы и частота мощных событий в ней поражают и заставляют вспоминать самые яркие проявления солнечной активности. Она заявила о себе еще до выхода на диск большим восточным CME 21 октября. С 22.10 до 5.11 она генерировала 34 вспышки балла  $\geq M1$ , из которых 13 были большими вспышками ( $\geq M5$ ), а 7 имели балл  $> X1$ . Для 5 из них (X5.4, X17.2, X10.0, X8.2, X28) уместнее было бы написать »X1. В общей сложности, 3 группы пятен (484, 486 и 488) создали 68 вспышек  $\geq M1$  за две с половиной недели, причем 11 вспышек  $> X1$  произошли за 11 дней с 23 октября до 3 ноября. До этого самой большой серией вспышек в 23-м цикле была серия марта-апреля 2001 г., когда за 18 дней с 29 марта наблюдали 9 вспышек  $> X1$ , среди которых выделялись три: X20 2 апреля, X5.6 6 апреля и X14.4 15 апреля.

К 7 ноября (всего через 3 дня после вспышки X28) на солнечном диске не осталось ни одного пятна. Но солнечная активность при этом не исчезла, а переместилась на невидимую сторону диска.

После возвращения на видимый диск наиболее геоэффективной стала группа 484 (уже под номером 501). Правда, и эта и две другие активные области (507 и 508) уже были не так велики, сложны и активны.

Последняя большая вспышка в группе 486 (508) была 18 ноября на восточном лимбе (M4., начало 09:23 UT, максимум 10:11 UT; ). В это же время в области 501 в центре диска произошли две продолжительные вспышки (M3.2/2N N00W18, начало 07:16 UT, максимум 07:54 UT; M3.9/, начало 08:12 UT, максимум 08:31 UT), сопровождавшиеся мощными выбросами вещества, которые оказались чрезвычайно эффективны. Еще более мощным был выброс от лимбовой вспышки.

20 ноября началась исключительно большая буря, связанная с вспышками 18 ноября (как минимум с двумя центральными, а возможно и со всеми тремя). Dst-индекс опустился до  $-465$  нТл, ниже он был только однажды: 13-14 марта 1989 г



В декабре 2003 года геомагнитная активность снизилась, однако она была очень высокой для этого месяца года и среднемесячное значение Ap- индекса значительно превысило показатели последних лет. Весьма символично, что бурный 2003 год закончился малой магнитной бурей, которая началась вечером 31 декабря.