

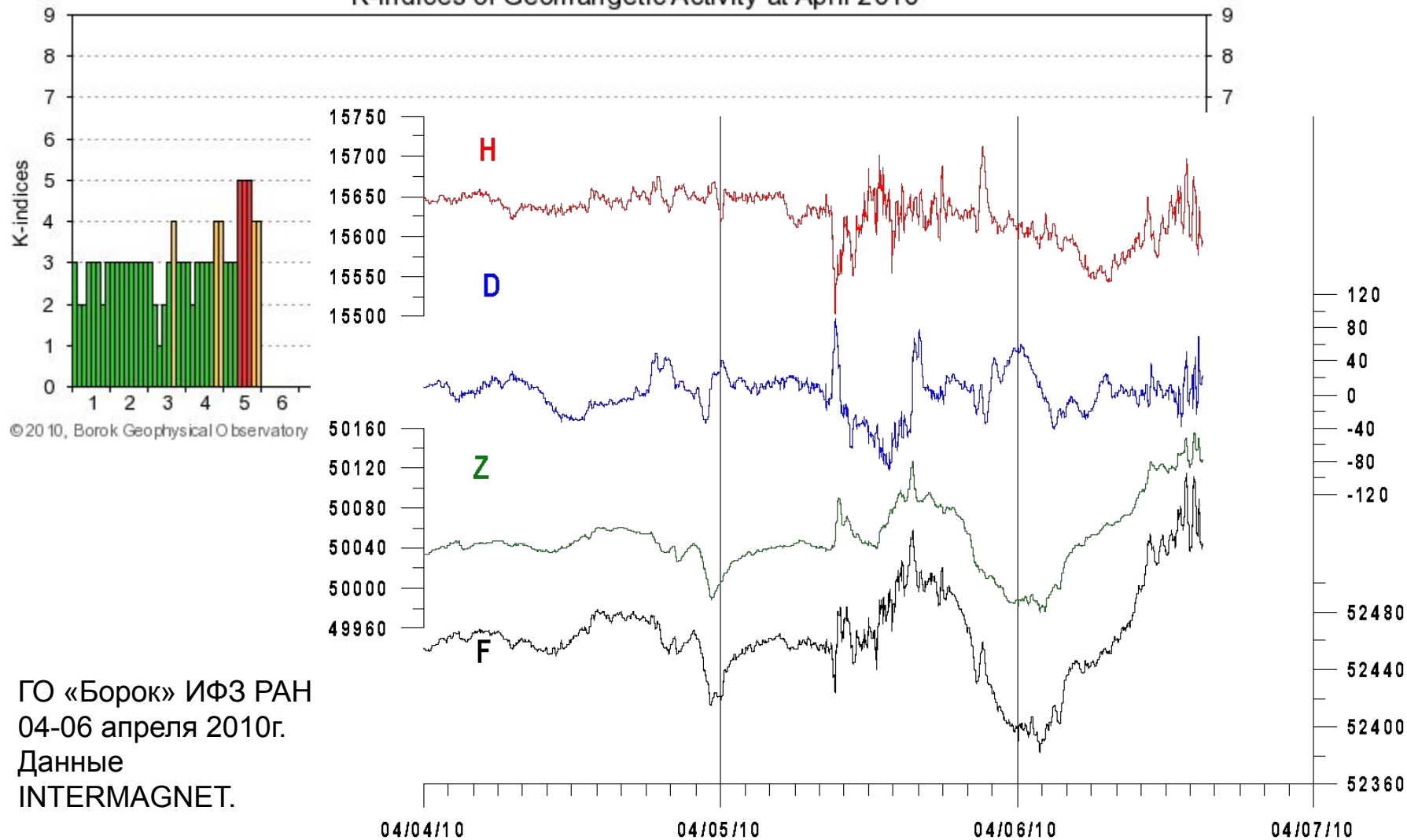


МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ: КВАЗИСТАЦИОНАРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

С.В.Анисимов

***Геофизическая обсерватория «Борок» -
филиал Института физики Земли им.О.Ю.
Шмидта РАН***

K-indices of Geomagnetic Activity at April 2010



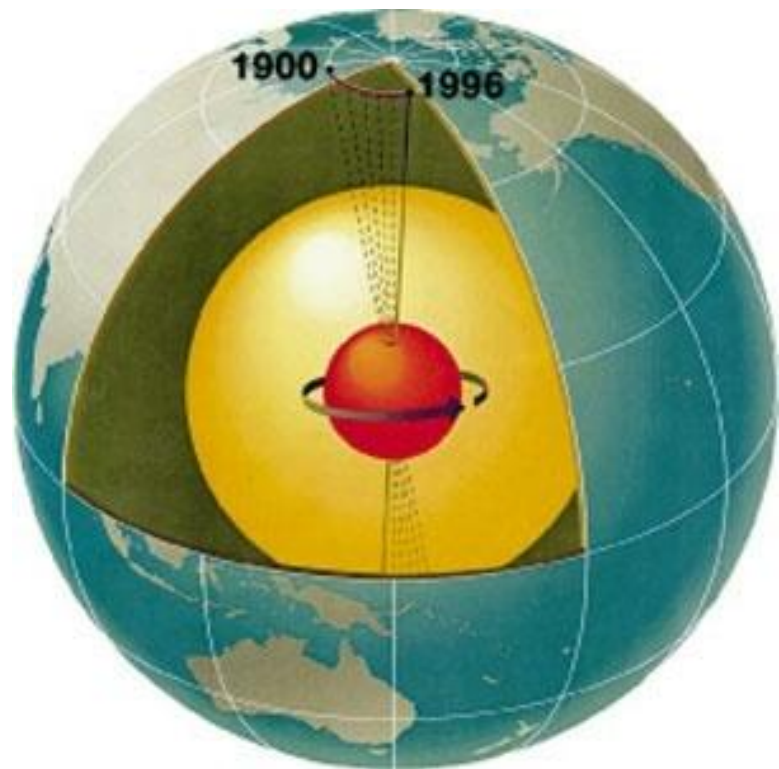
ГО «Борок» ИФЗ РАН
04-06 апреля 2010г.
Данные
INTERMAGNET.

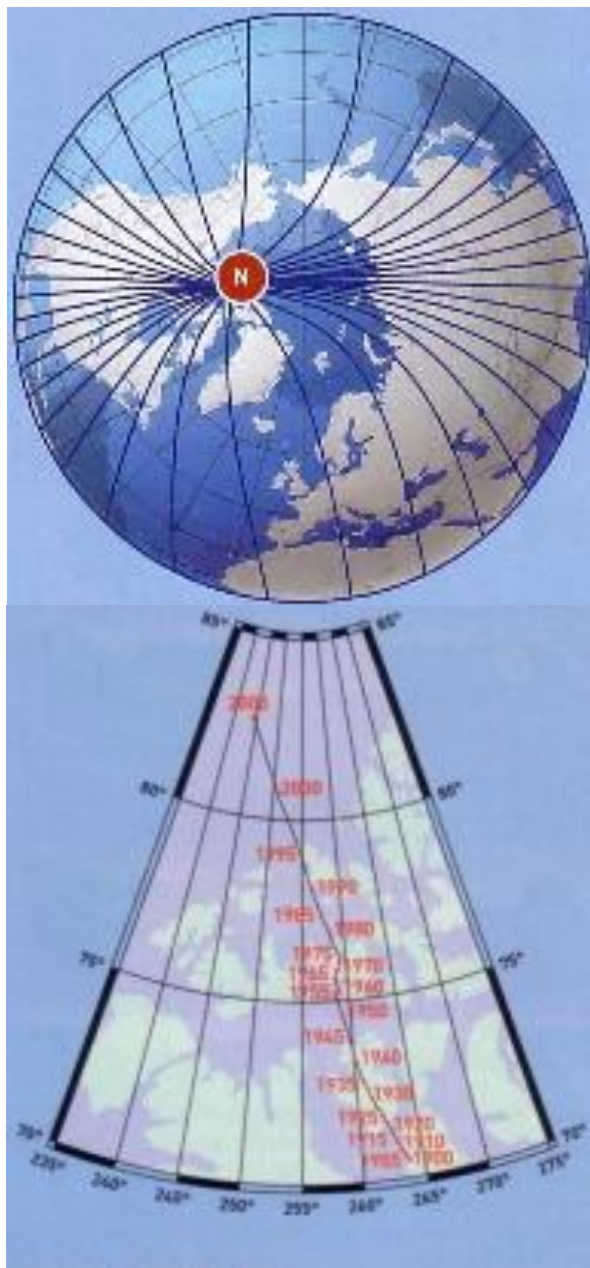


Содержание доклада:

1. Магнитосфера Земли.
2. Вариации геомагнитного поля.
3. Магнитные бури.
4. Геоэффективность магнитной бури.
5. Магнитосфера Земли и солнечный ветер.
6. Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН

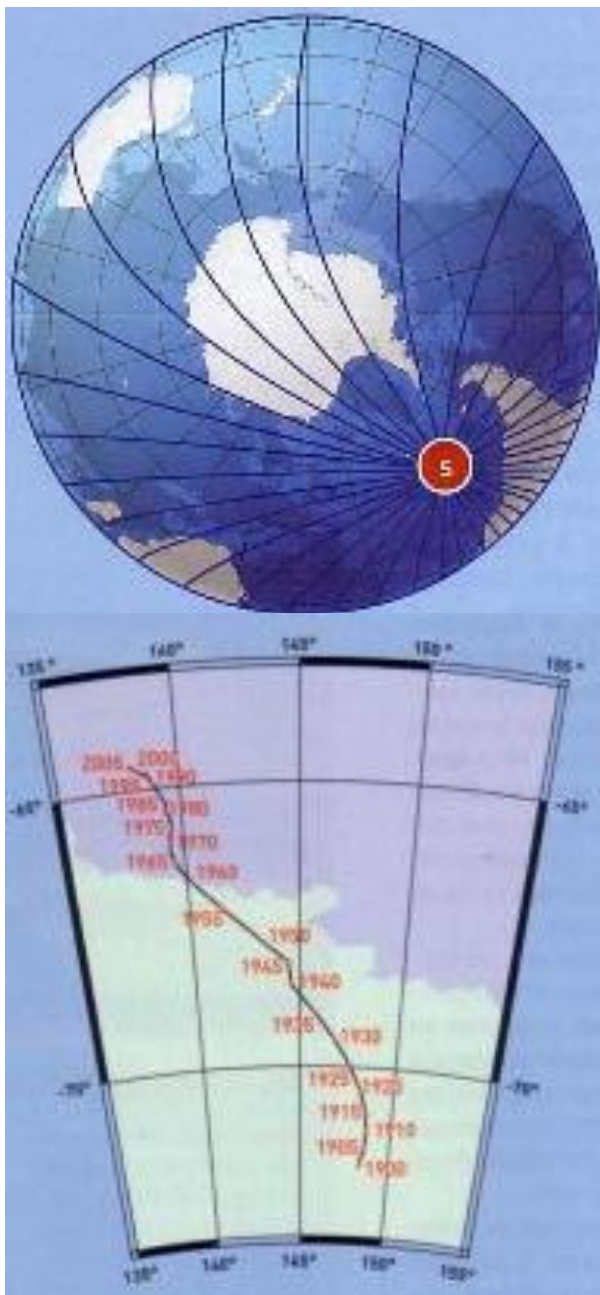
Дипольный магнитный момент Земли на 1970 составлял $7,98 \cdot 10^{25}$ Гс/см³ (или $8,3 \cdot 10^{22}$ А.м²), уменьшаясь за десятилетие на $0,04 \cdot 10^{25}$ Гс/см³. Средняя напряженность поля на поверхности составляет около 0,5 Э ($5 \cdot 10^{-5}$ Тл). По форме основное магнитное поле Земли до расстояний менее трех радиусов близко к полю эквивалентного магнитного диполя. Его центр смещен относительно центра Земли в направлении на 18° с.ш. и 147,8° в. д. Ось этого диполя наклонена к оси вращения Земли на 11,5°. На такой же угол геомагнитные полюса отстоят от соответствующих географических полюсов. При этом южный геомагнитный полюс находится в северном полушарии. Его координаты $j = 78,6 + 0,04^\circ$ Т с.ш., $l = 70,1 + 0,07^\circ$ Т з.д., где Т – число десятилетий от 1970. У северного магнитного полюса $j = 75^\circ$ ю.ш., $l = 120,4^\circ$ в.д. (в Антарктиде). В результате вековых вариаций геомагнитный полюс прецессирует относительно географического полюса с периодом около 1200 лет.





Современное
местонахождение
Северного магнитного
полюса и его
перемещение с 1900
по 2005 год.

Современное
местонахождение
Южного магнитного
полюса и его
перемещение с 1900
по 2005 год.





Составляющие геомагнитного поля можно разделить на три основные части.

1. Основное магнитное поле Земли, испытывающее медленные изменения во времени (вековые вариации) с периодами от 10 до 10 000 лет, сосредоточенными в интервалах 10–20, 60–100, 600–1200 и 8000 лет. Последний связан с изменением дипольного магнитного момента в 1,5–2 раза.

2. Мировые аномалии – отклонения от эквивалентного диполя до 20% напряженности отдельных областей с характерными размерами до 10 000 км. Эти аномальные поля испытывают вековые вариации, приводящие к изменениям со временем в течение многих лет и столетий. Примеры аномалий: Бразильская, Канадская, Сибирская. В ходе вековых вариаций мировые аномалии смещаются, распадаются и возникают вновь. На низких широтах имеется западный дрейф по долготе со скоростью $0,2^\circ$ в год.

3. Магнитные поля локальных областей внешних оболочек с протяженностью от нескольких до сотен км. Они обусловлены намагниченностью горных пород в верхнем слое Земли, слагающих земную кору и расположенных близко к поверхности. Одна из наиболее мощных – Курская магнитная аномалия.

4. Переменное магнитное поле Земли (так же называемое внешним) определяется источниками в виде токовых систем, находящимися за пределами земной поверхности и в ее атмосфере. Основными источниками таких полей и их изменений являются корпускулярные потоки замагниченной плазмы, приходящие от Солнца вместе с солнечным ветром, и формирующие структуру и форму земной магнитосферы.



Магнитосфера – область околоземного космического пространства, контролируемая магнитным полем Земли. Магнитосфера формируется в результате взаимодействия солнечного ветра с плазмой верхних слоев атмосферы и магнитным полем Земли. По форме магнитосфера представляет собой каверну и длинный хвост, которые повторяют форму магнитных силовых линий. Подсолнечная точка в среднем находится на расстоянии 10 земных радиусов, а хвост магнитосферы простирается за орбиту Луны. Топология магнитосферы определяется областями вторжения солнечной плазмы внутрь магнитосферы и характером токовых систем. Хвост магнитосферы образован силовыми линиями магнитного поля Земли, выходящими из полярных областей и вытянутых под действием солнечного ветра до сотни земных радиусов от Солнца в ночную сторону Земли. В итоге плазма солнечного ветра и солнечных корпускулярных потоков как бы обтекают земную магнитосферу, придавая ей своеобразную хвостатую форму. В хвосте магнитосферы, на больших расстояниях от Земли, напряженность магнитного поля Земли, а следовательно и их защитные свойства, ослабевают, и некоторые частицы солнечной плазмы получают возможность проникнуть и попасть во внутрь земной магнитосферы и магнитных ловушек радиационных поясов. Проникая в головную часть магнитосферы в область овалов полярных сияний под действием изменяющегося давления солнечного ветра и межпланетного поля, хвост служит местом формирования потоков высыпающихся частиц, вызывающих полярные сияния и авроральные токи.

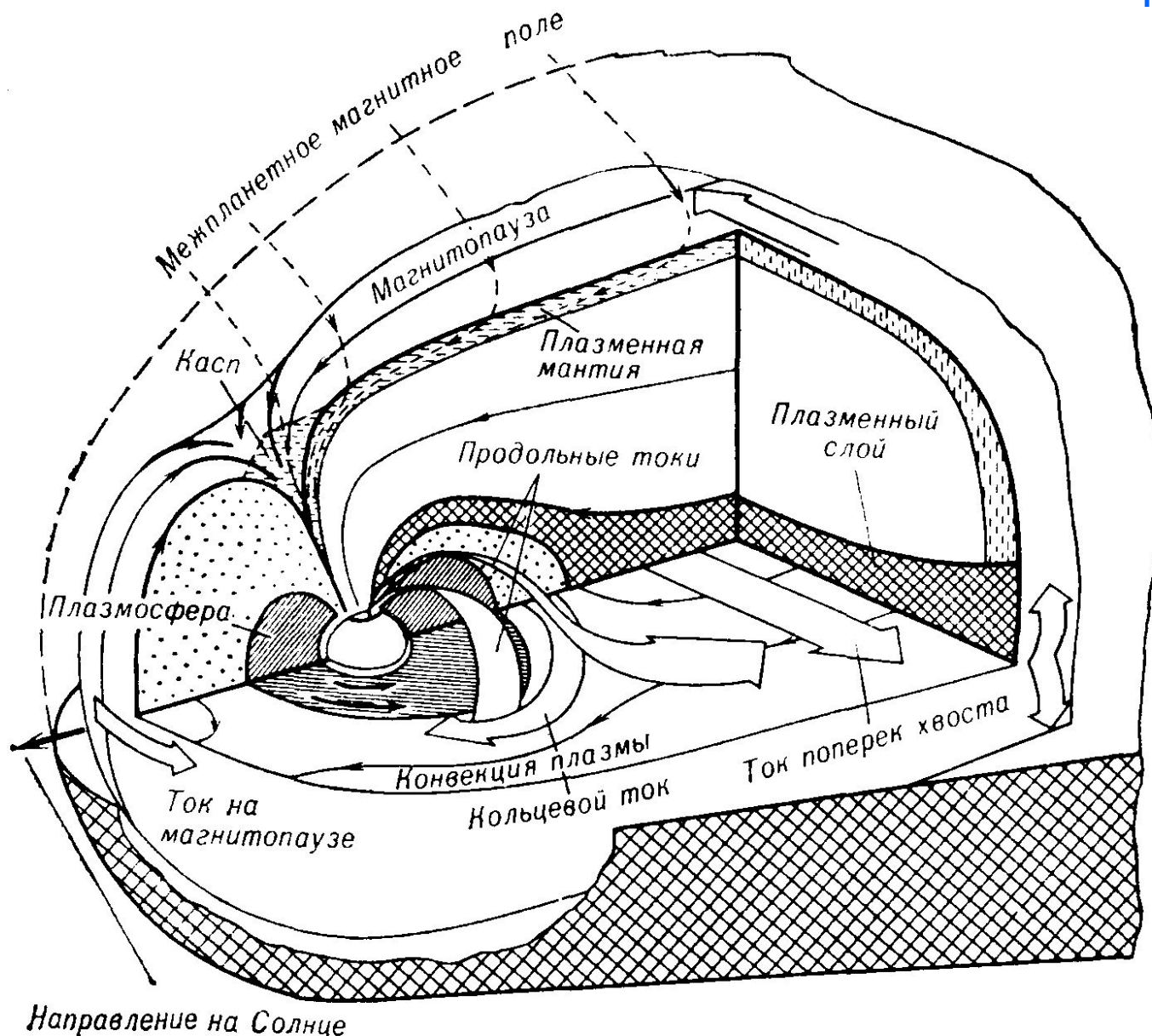


Магнитосфера отделена от межпланетного пространства магнитопаузой. Вдоль магнитопаузы частицы корпускулярных потоков обтекают магнитосферу. Влияние солнечного ветра на земное магнитное поле иногда бывает очень сильным. Магнитопауза – внешняя граница магнитосферы Земли (или планеты), на которой динамическое давление солнечного ветра уравнивается давлением собственного магнитного поля. При типичных параметрах солнечного ветра подсолнечная точка удалена от центра Земли на 9–11 земных радиусов. В период магнитных возмущений на Земле магнитопауза может заходить за геостационарную орбиту (6,6 радиусов Земли). При слабом солнечном ветре подсолнечная точка находится на расстоянии 15–20 радиусов Земли.

Диаметр хвоста магнитосферы составляет около 30 радиусов Земли. При этом в ближайшей к Земле части хвоста магнитосферы сконцентрирована энергия около 10^{23} степени эрг.

Энергия, поступающая в магнитосферу из солнечного ветра, составляет $3 \cdot 10^{11}$ в 11 степени Вт.

Пространственное распределение плазмы, магнитных полей, электрических токов в земной магнитосфере. Светлые широкие стрелки – токи на магнитопаузе и в плазменном слое, кольцевой и продольные токи. Тёмные стрелки – направление вращения плазмосферы совместно с Землёй. Указано направление конвекции в хвосте магнитосферы. Область, отмеченная точками, – плазма, создающая кольцевой ток.





Граница магнитосферы ([магнитопауза](#)) определяется условием равенства давлений магнитного поля и набегающей плазмы, то есть радиус магнитосферы (альвеновский радиус **ra**) определяется соотношением

$$\frac{1}{8\pi}B^2(r_A) = \frac{1}{2}\rho V^2(r_A)$$

где **B** — магнитное поле небесного тела, **ρ** и **V** — соответственно плотность и скорость потока набегающей плазмы.

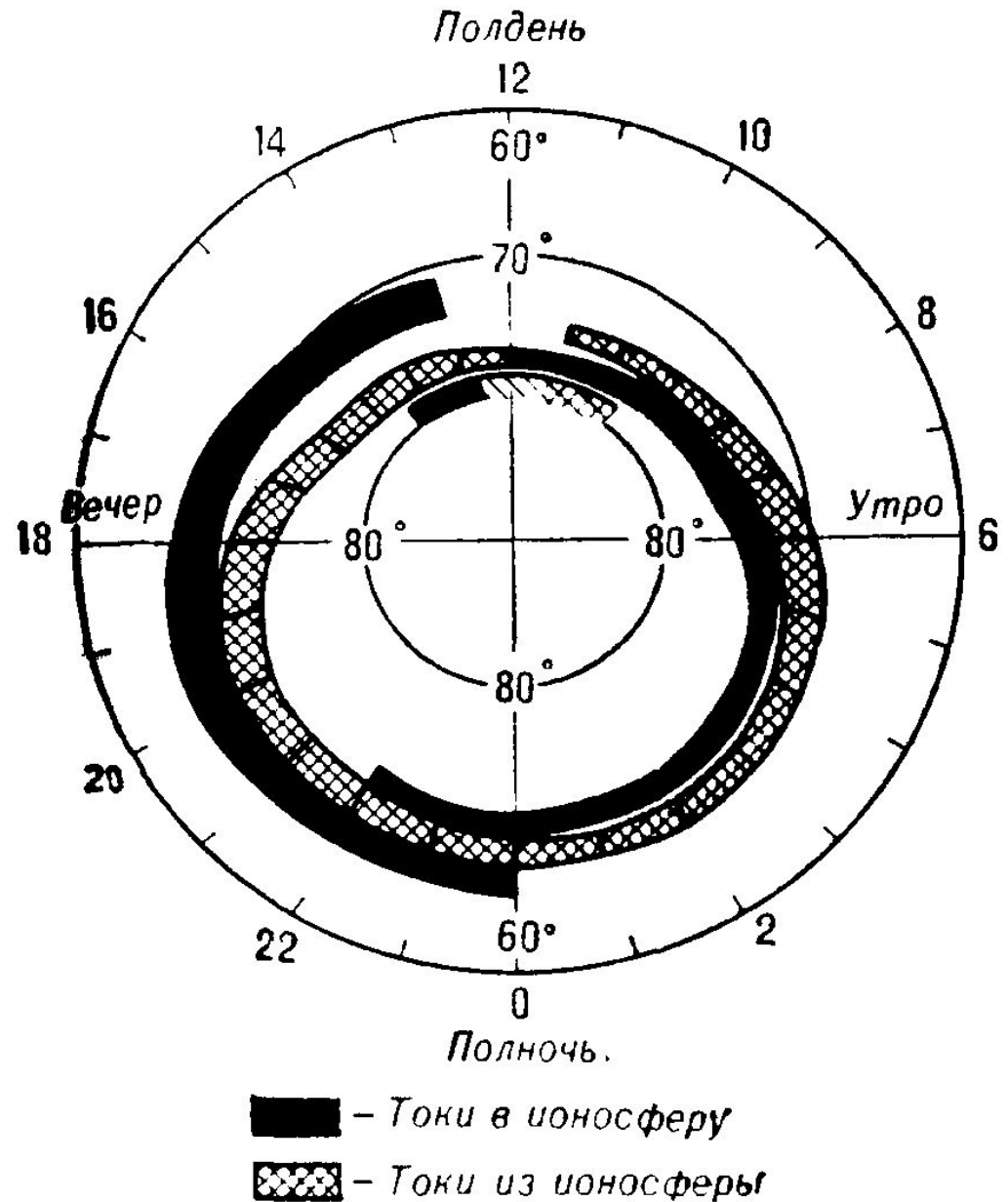
Рассмотренные модели магнитосферы относятся скорее к спокойным, чем к возмущенным условиям, когда суммарная, диссипируемая в магнитосфере мощность не превышает $\sim (1-3)10^{10}$ Вт. Такие условия наблюдаются, как правило, при северном ММП, когда скорость пересоединения на магнитопаузе и образования свежего открытого магнитного потока малы, основная часть э.д. с. не превышает ~ 20 кВ (как и равные этой э.д.с. скорости пересоединения и образования открытого магнитного потока)



Важным элементом электродинамической структуры магнитосферы являются продольные токи, текущие вдоль магнитных силовых линий под действием эдс хвоста магнитосферы и замыкающиеся через проводящую ионосферу Земли. Зона втекания и вытекания продольных токов примерно соответствует овалу полярных сияний в периоды суббуревых магнитных возмущений.



Области втекания
(вытекания) электрических
токов вдоль магнитных
силовых линий в
ионосферу (из ионосферы),
по данным, полученным с
американского спутника
«ТРИАД» (Т.Индзима и Т.
Потемра, 1976г.).





Плазма в окрестности Земли

Область	Концентрация частиц, см^{-3}	Температура ионов, эВ	Температура электронов, эВ	Скорость потока, км/с	Магнитное поле B , 10^{-5} Гс
Солнечный ветер	5–20	10–20	20–40	350–1000	5–15
Плазменная мантия	0,1–5	100–200	26–40	100–200	20–30
Плазменный слой	0,1–1,0	500–5000	200–2000	0–1000	10–20
Кольцевой ток	5–20	10^4 – 10^5	10^3	–	100–500
Плазмосфера	10^2 – 10^3	0,3–1	0,3–1	–	10^2 – 10^4
Ионосфера	10^4 – 10^6	0,1–0,2	0,1–0,2	–	$3 \cdot 10^4$ – $6 \cdot 10^4$



Основные параметры планетных магнитосфер

	Меркурий	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн
Гелиоцентрич. расстояние r , а. е.	0,39	1	1,53	5,05	9,63
Радиус R , 10^3 км	2,43	6,38	3,4	71,6	60,0
Дипольный магнитный момент M' , Гс·см ³	$5 \cdot 10^{22}$	$8 \cdot 10^{25}$	$2,5 \cdot 10^{22}$	$1,6 \cdot 10^{20}$	$4,4 \cdot 10^{28}$
Радиус Чепмена-Ферраро D	$1,6 R_{\text{Мерк}}$	$10 R_3$	$1,4 R_{\text{М}}$	$10^2 R_{\text{Ю}}$	$20 R_{\text{С}}$
Перепад электростатич. потенциала поперёк магнитосферы $\Delta\phi$, кВ	—	$10\text{--}10^2$	—	$10^2\text{--}10^3$	$20\text{--}200$
Мощность диссипации					



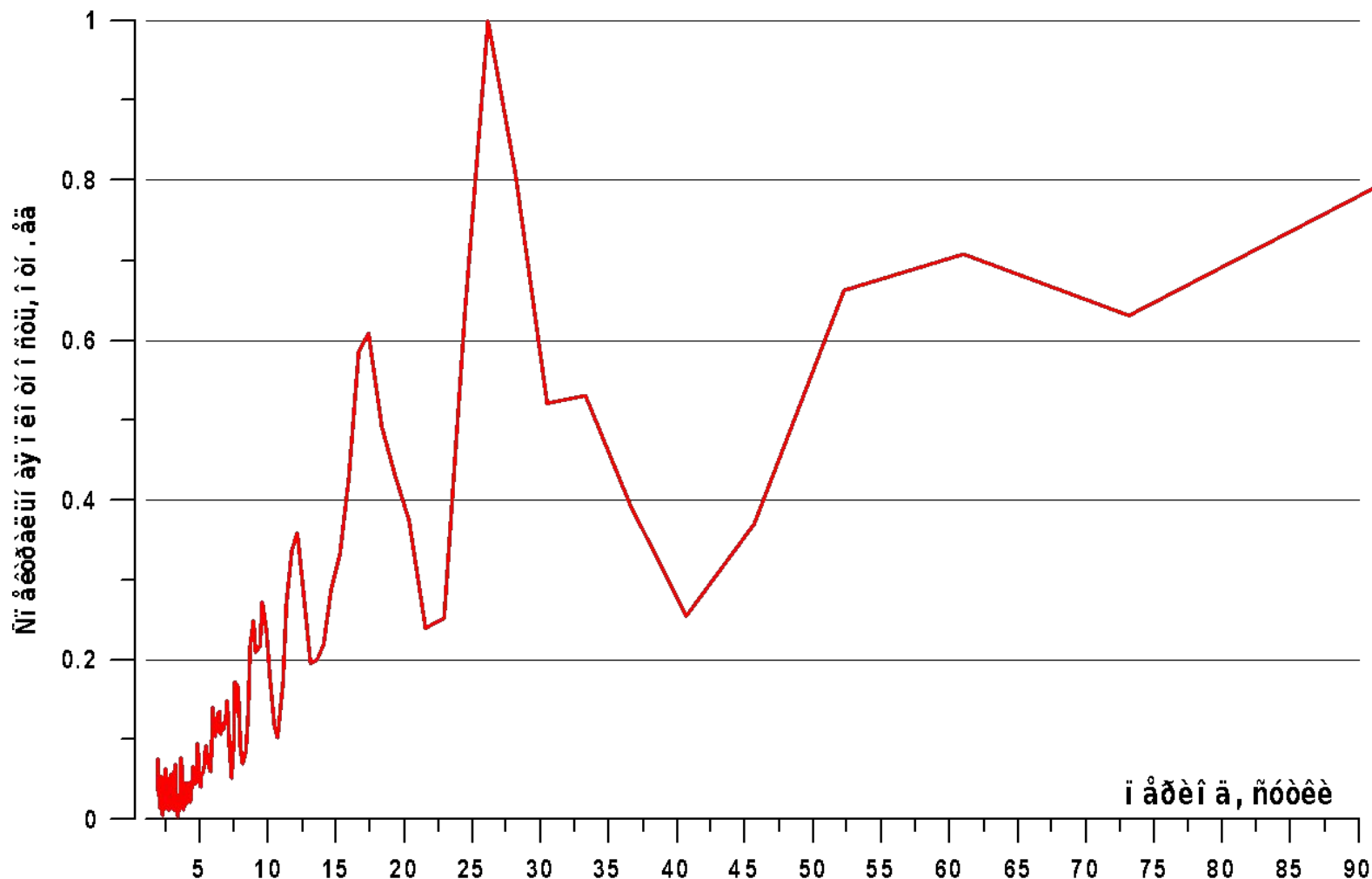
Геомагнитные вариации. Изменение магнитного поля Земли во времени под действием различных факторов.

Суточные вариации геомагнитного поля возникают регулярно в основном за счет токов в ионосфере Земли, вызванных изменениями освещенности земной ионосферы Солнцем в течение суток.

27-дневные вариации существуют как тенденция к повторению увеличения геомагнитной активности через каждые 27 дней, соответствующих периоду вращения Солнца относительно земного наблюдателя. Эта закономерность связана с существованием долгоживущих активных областей на Солнце, наблюдаемых в течении нескольких оборотов Солнца. Эта закономерность проявляется в виде 27-дневной повторяемости магнитной активности и магнитных бурь.

Сезонные вариации магнитной активности уверенно выявляются на основании среднемесячных данных о магнитной активности, полученных путем обработки наблюдений за несколько лет. Найдено, что сезонные вариации магнитной активности имеют два максимума, соответствующие периодам равноденствий, и два минимума, соответствующие периодам солнцестояний. Причиной этих вариаций является образование активных областей на Солнце, которые группируются в зонах от 10 до 30° северной и южной гелиографических широт. Поэтому в периоды равноденствий, когда плоскости земного и солнечного экваторов совпадают, Земля наиболее подвержена действию активных областей на Солнце.

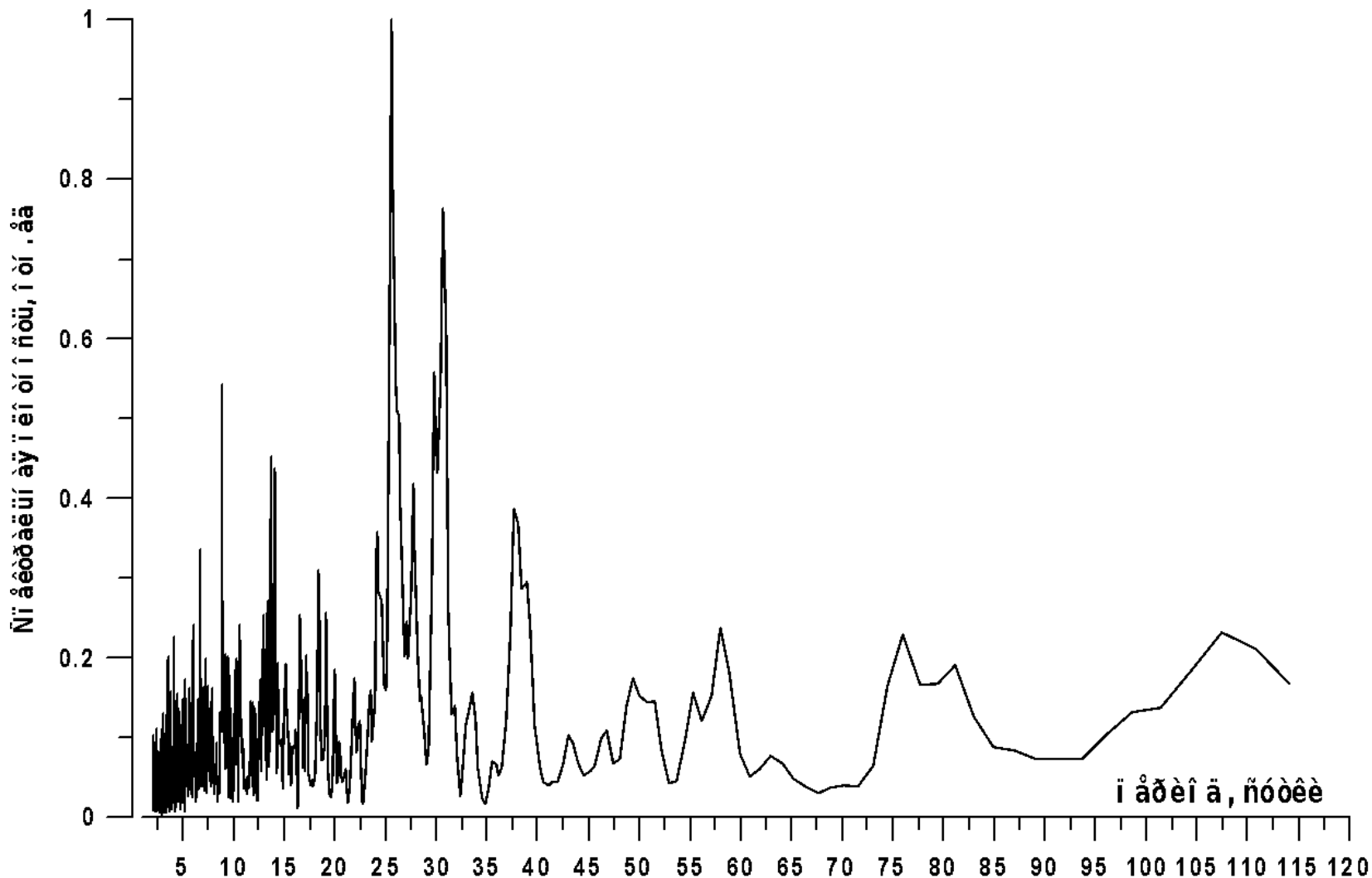
Нормированная спектральная плотность среднесуточного ряда геомагнитного поля (H_x компонента) по данным обсерватории “Борок” [58°04'N, 38°14'E] за 2004 г. (366 суток)





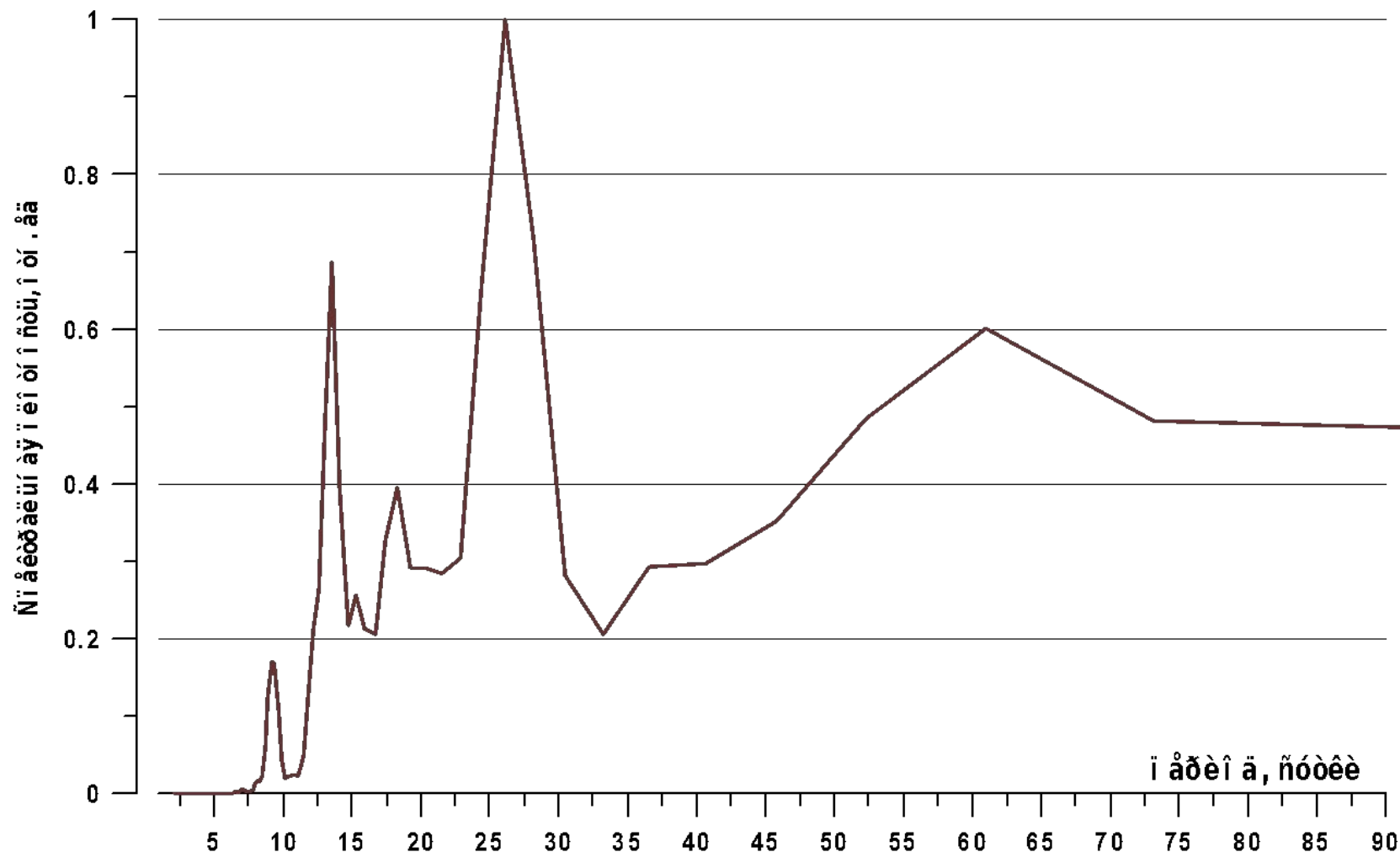
Нормированная спектральная плотность ряда среднесуточных значений геомагнитного поля (H_x компонента) по данным обсерватории Соданкюля (Sodankyla) [67°37'N, 26°63'E]

за 1990 – 1999 гг. (3652 суток)





Нормированная спектральная плотность ряда среднесуточных региональных К-индексов магнитного поля по данным обсерватории “Борок” [58°04'N, 38°14'E] за 2004 г. (366 суток).



Ряд предварительно подвергнут сглаживанию скользящим средним по 5 суткам .



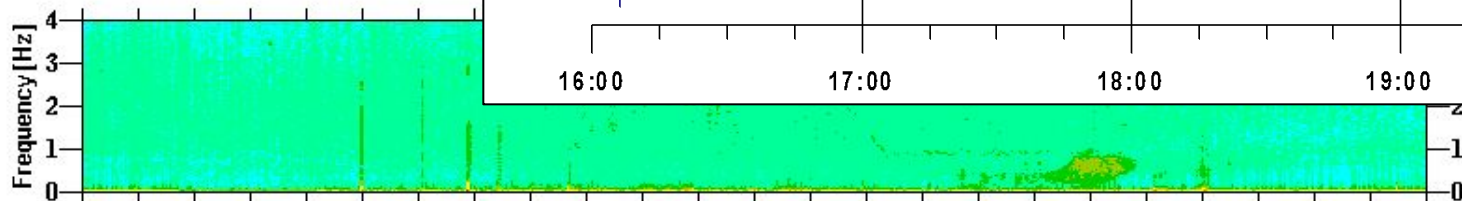
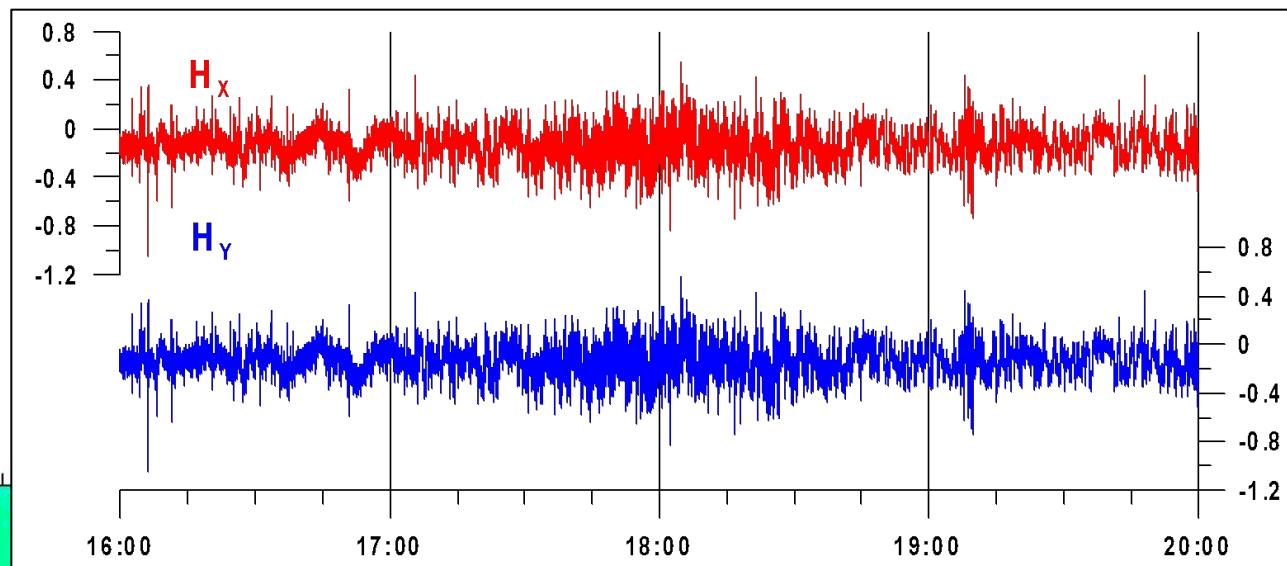
11-летние вариации. Наиболее ярко связь между солнечной активностью и магнитной активностью проявляется при сопоставлении длинных рядов наблюдений, кратных 11 летним периодам солнечной активности. Наиболее известной мерой солнечной активности является число солнечных пятен. Найдено, что в годы максимального количества солнечных пятен магнитная активность также достигает наибольшей величины, однако возрастание магнитной активности несколько запаздывает по отношению к росту солнечной, так что в среднем это запаздывание составляет один год.

Нерегулярные вариации магнитного поля возникают вследствие воздействия потока солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли, а так же изменений внутри магнитосферы и взаимодействия магнитосферы с ионосферой. К нерегулярным вариациям геомагнитного поля относятся магнитные бури и магнитные суббури.

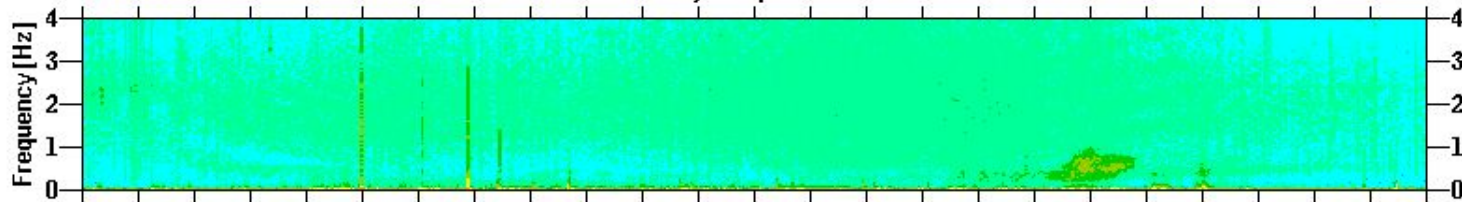
Ультранизкочастотные пульсации геомагнитного поля представляют собой колебания величины магнитного поля с периодами от 1 до 1000 секунд.



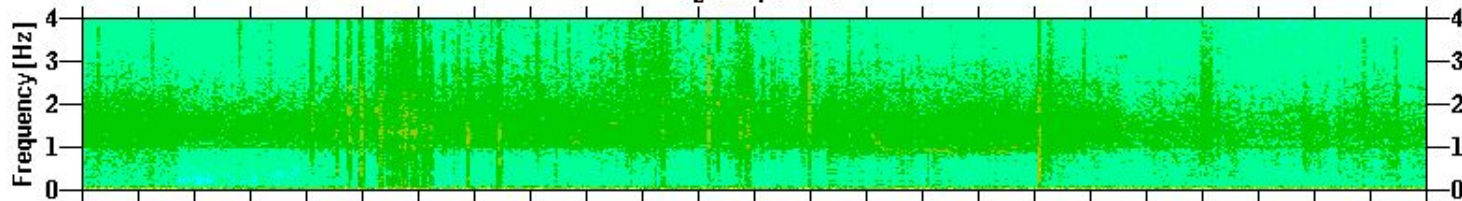
ГО «Борок» ИФЗ РАН
27 августа 2009г.



H_x -component

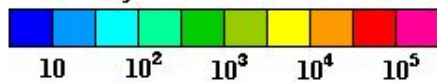


H_y -component



Hours[UT]

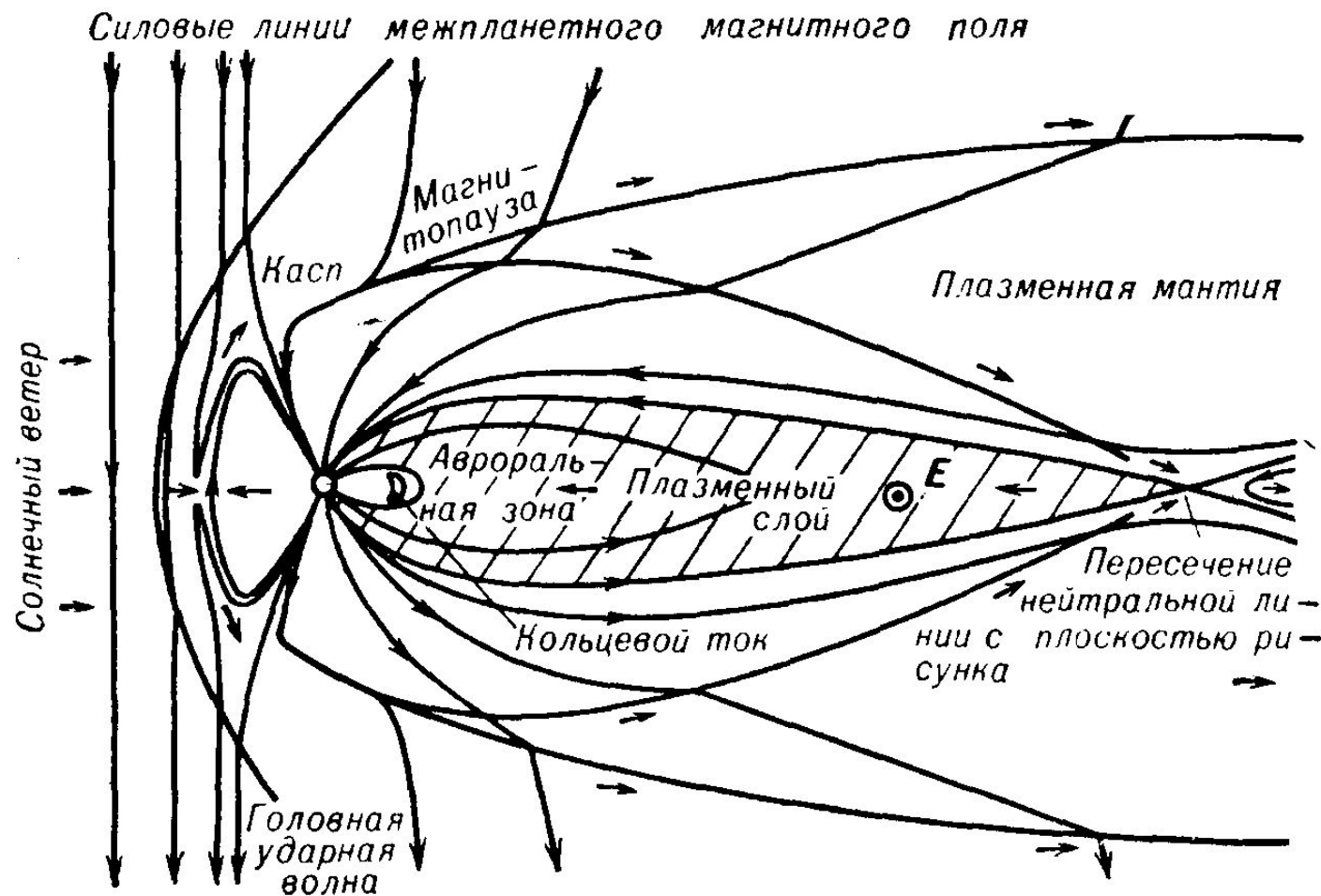
in arbitrary units





Как было отмечено, при южном ММП возникают возмущения - магнитосферные суббури и бури - основной предмет забот службы космической погоды. Мощность процессов в магнитосфере и ионосфере увеличивается на один - два порядка величины, достигая в максимуме $\sim 10^{12}$ Вт, что близко к мощности, потребляемой населением Земли.

Суббурю создает, как правило, импульс южного ММП с характерной длительностью ~ 1 час. Буря состоит из цепочки суббурь продолжительностью от одних до трех суток, что определяется характерной длительностью импульса повышенной скорости солнечного ветра. Физика суббурь и бурь различается в основном за счет кольцевого тока, который возникает вместе с первой суббурей, но затухает медленнее, чем основные процессы суббури и потому усиливается от суббури к суббуре.

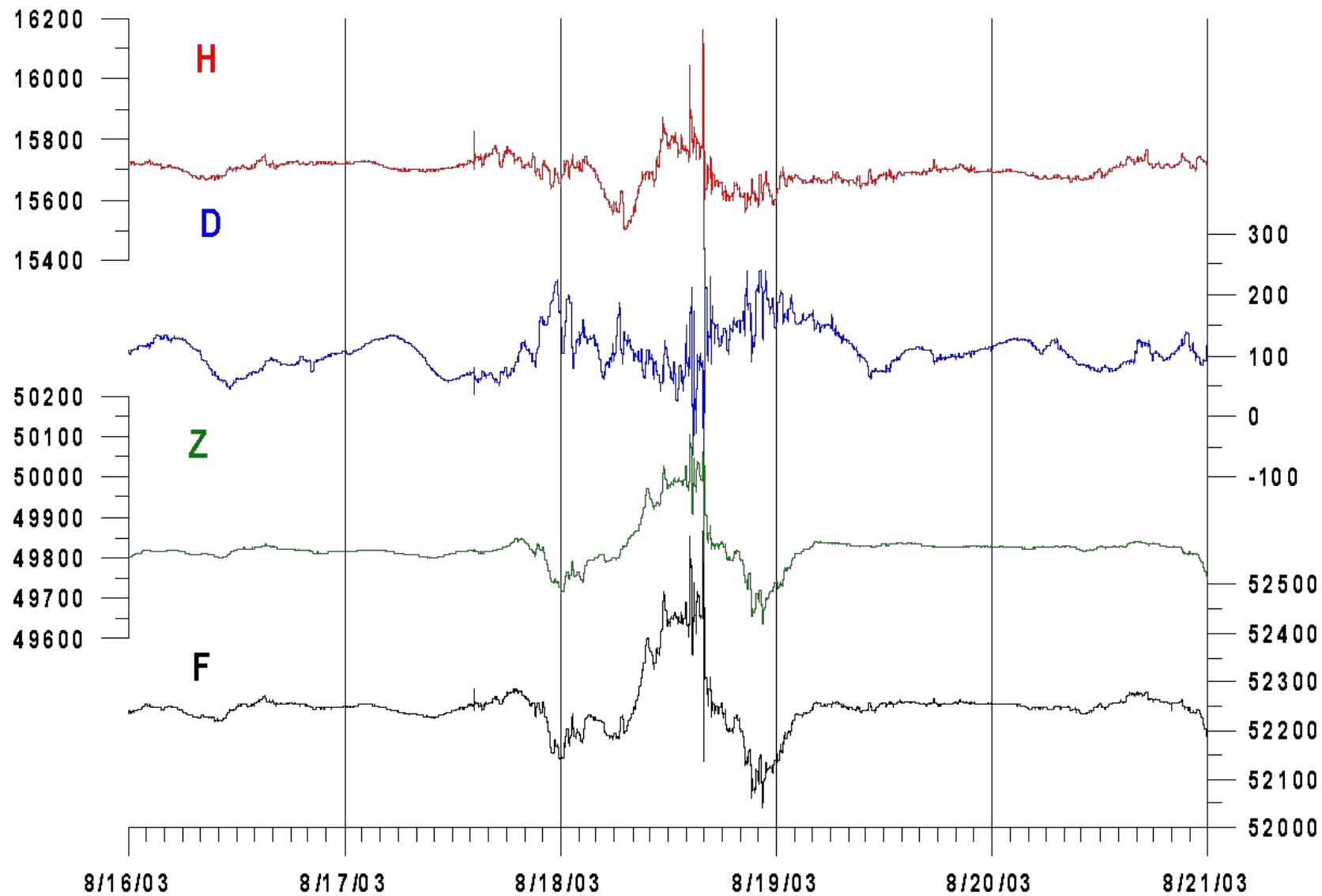


Конфигурация магнитного поля и конвекция плазмы в вертикальном сечении (перпендикулярно плоскости эклиптики) магнитосферы Земли. Направления течения солнечного ветра вне магнитосферы и конвекции (дрейфа) внутри-магнитосферной плазмы вместе с вмороженными магнитными силовыми линиями показаны стрелками.



ГО «Борок» ИФЗ РАН, 16-20 августа 2003г.

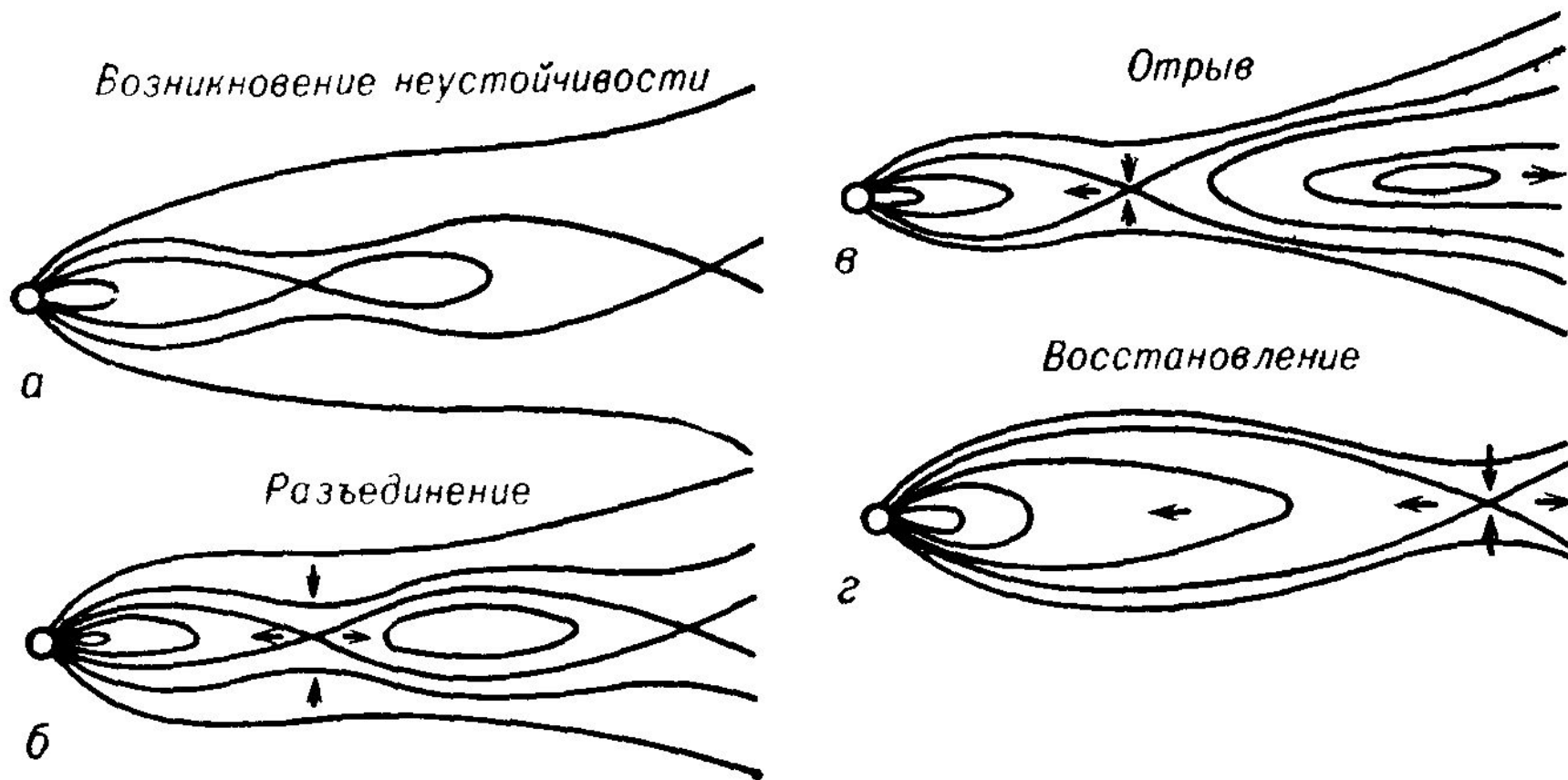
19







На следующем рис. приведена схема, иллюстрирующая изменения конфигурации магнитного поля хвоста магнитосферы в ходе типичной суббури [18]. Суббуря начинается, когда Земля встречается с неоднородностью солнечного ветра, обладающей повышенной скоростью и, главное, магнитным полем, создающим высокую скорость пересоединения на магнитопаузе. В ходе начальной фазы суббури происходит вытяжение хвоста и накопление магнитной энергии. Открытый магнитный поток переносится с дневной стороны в доли хвоста, что увеличивает давление и ведет к утончению нейтрального слоя и уменьшению тока в нем. Процесс постепенно развивается, как показано на рисунке, и заканчивается разрывом тока хвоста, что эквивалентно пересоединению антипараллельных магнитных полей двух долей хвоста. В результате большая часть хвоста образует гигантский плазмод, который отрывается от геомагнитосферы и уносится в антисолнечном направлении. Длина хвоста при этом резко сокращается, но восстанавливается на последующей релаксационной фазе суббури.

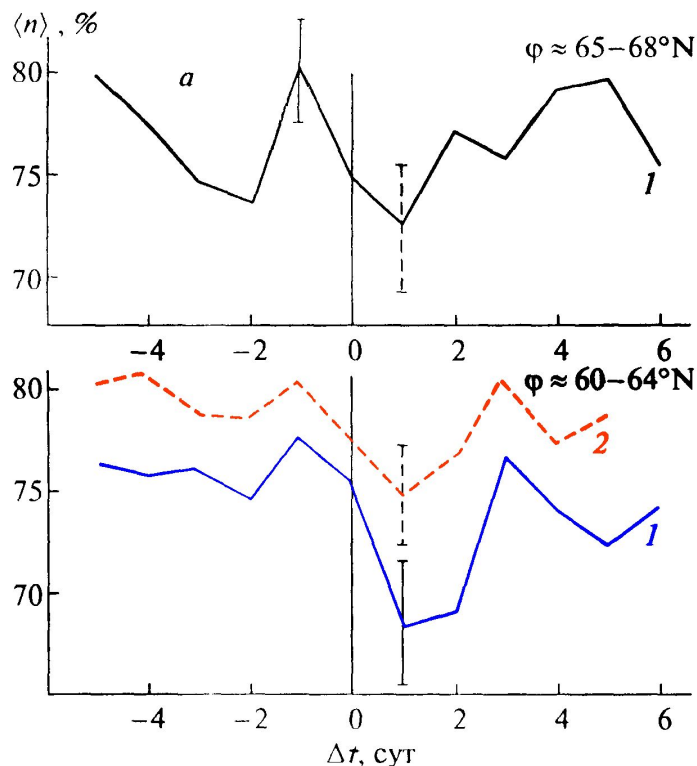


Схематическая картина изменения структуры магнитного поля во время магнитосферных суббурь вследствие развития неустойчивости плазменного слоя.



Геоэффективность солнечной вспышки – увеличение южной компоненты ММП и увеличение плотности и скорости солнечного ветра. Схема воздействия на климатические параметры: солнце – солнечный ветер – магнитосфера – ионосфера – триггерный механизм воздействия на атмосферу. **Однако, энергетика атмосферных процессов превышает энергетику магнитосферно-ионосферных процессов в 1000 – 10000 раз.**

Форбуш-эффект — кратковременное и резкое понижение интенсивности космических лучей во время магнитного шторма.[[]Эффект объясняется рассеянием галактических космических лучей магнитными полями, индуцированными солнечным ветром, значительно усиленным во время вспышек на Солнце. Был открыт американским физиком С. Форбушем в 1937 году. Наиболее ярко эффект Форбуша наблюдался в июле 1959 г., в ноябре 1960 г., в августе 1972 г., в феврале и мае 1978 г., в августе-сентябре 1979 г., в мае и октябре 1981 г., в июле 1982 г. (По данным 1985 г.)

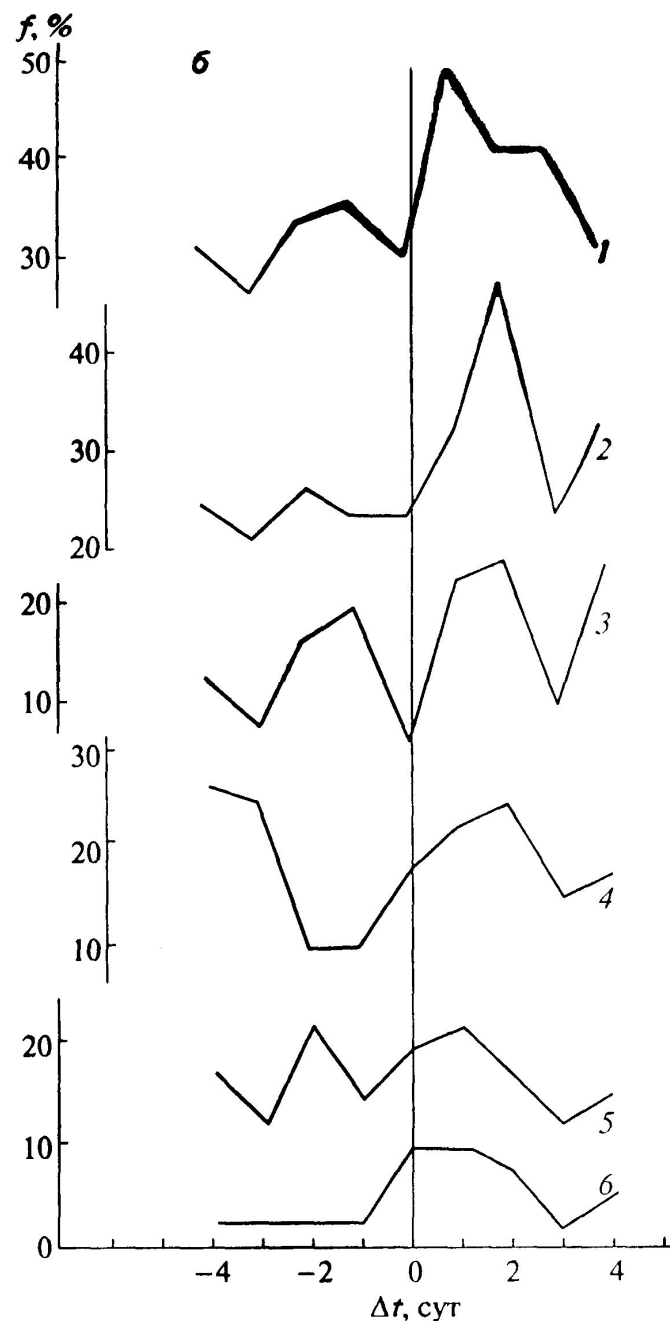


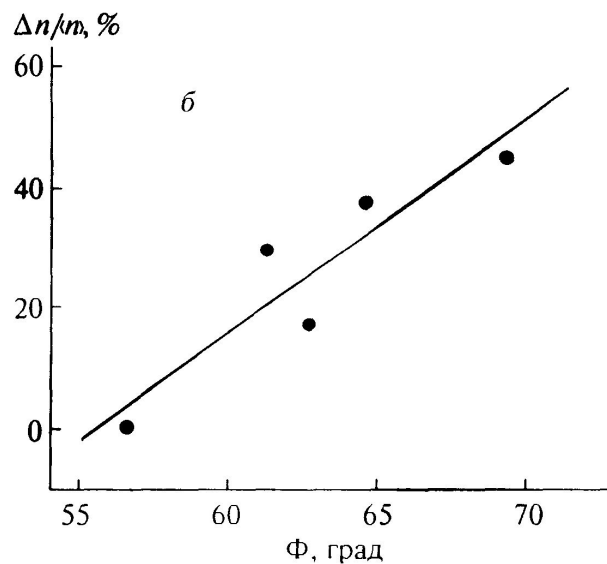
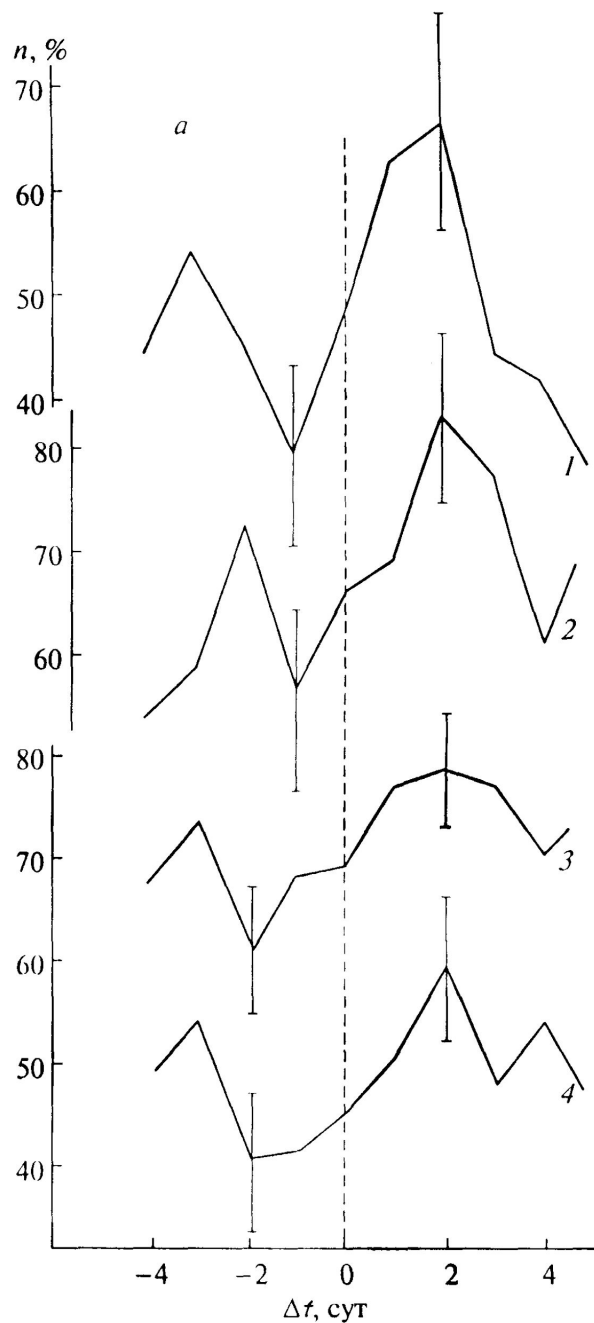
а – Изменения общей облачности (% от площади неба), осредненные по четырем станциям авроральной зоны ($\varphi \approx 65\text{--}68^\circ\text{N}$) и шести станциям субавроральной зоны ($\varphi \approx 60\text{--}64^\circ\text{N}$), во время Форбуш-понижений ГКЛ. Момент $\Delta t = 0$ соответствует дню начала Форбуш-понижения.

1 – данные за зимние месяцы (число событий $N = 42$),
2 – данные за летние месяцы ($N = 21$).

б – частоты повторяемости f (%) ясных дней (когда общая облачность $n \leq 20\%$) в ходе Форбуш-понижений ГКЛ на станциях в широтном поясе $\varphi \approx 60\text{--}64^\circ\text{N}$:

1 – Охотск, 2 – Оймякон, 3 – Ванавара, 4 – Воейково, 5 – Якутск, 6 – Александровское.





Вариации облачного покрова в связи со всплесками СКЛ ($E > 90$ МэВ). Момент $\Delta t = 0$ соответствует дню начала всплеска:

а – средние изменения облачного покрова (в процентах от площади всего небесного свода) на высокоширотных станциях:

1 – остров Котельный

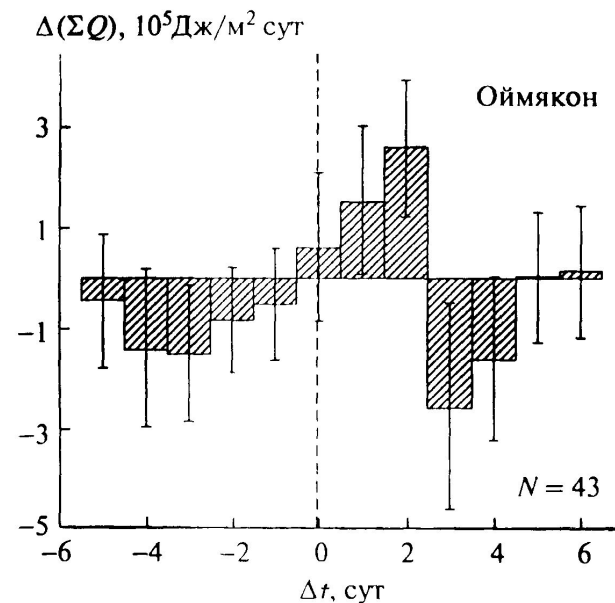
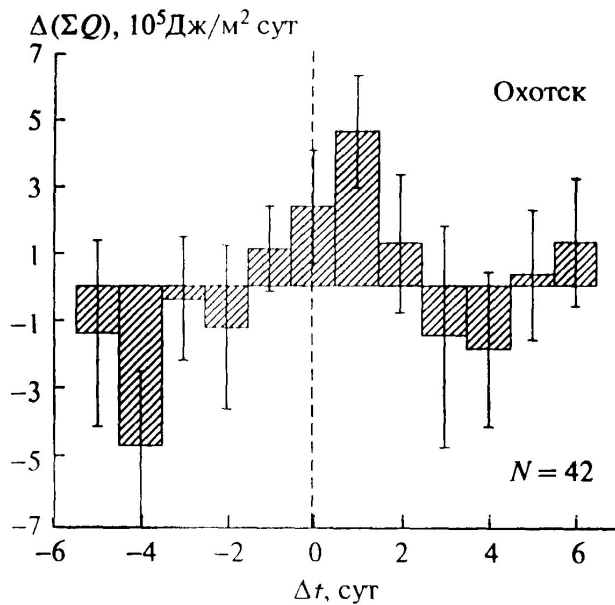
($\phi = 69.3^\circ$, число событий $N = 15$);

2 – остров Четырехстолбовой ($\phi = 64.0^\circ$, $N = 18$);

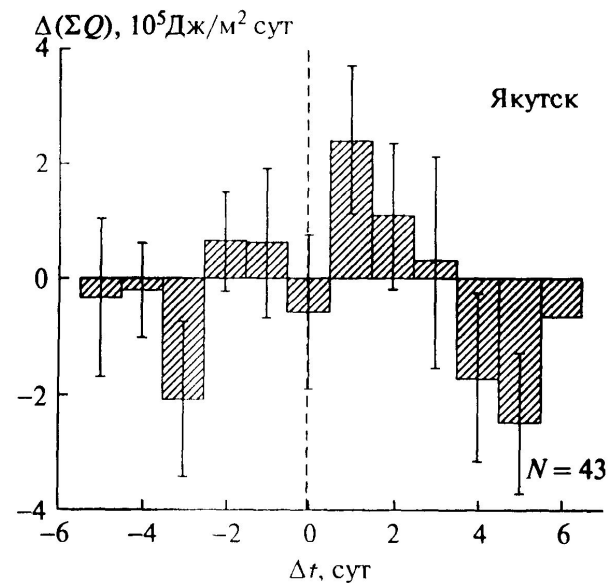
3 – Оленек ($\phi = 62.8^\circ$, $N = 30$);

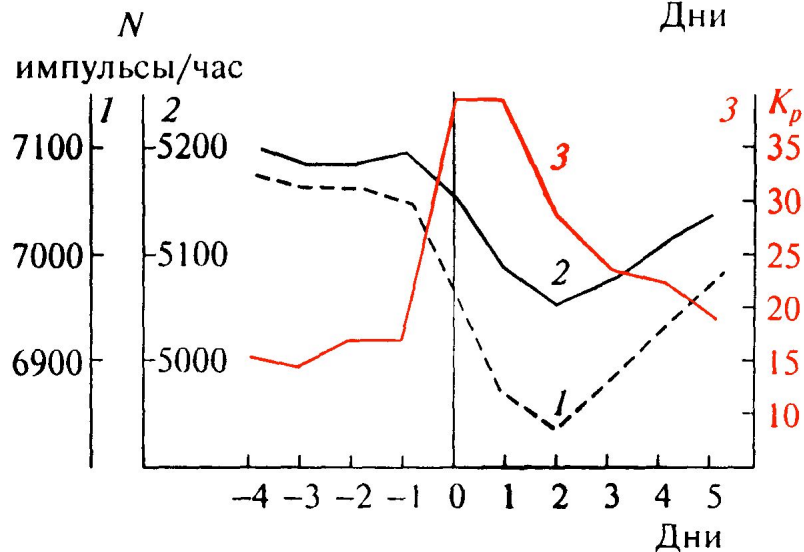
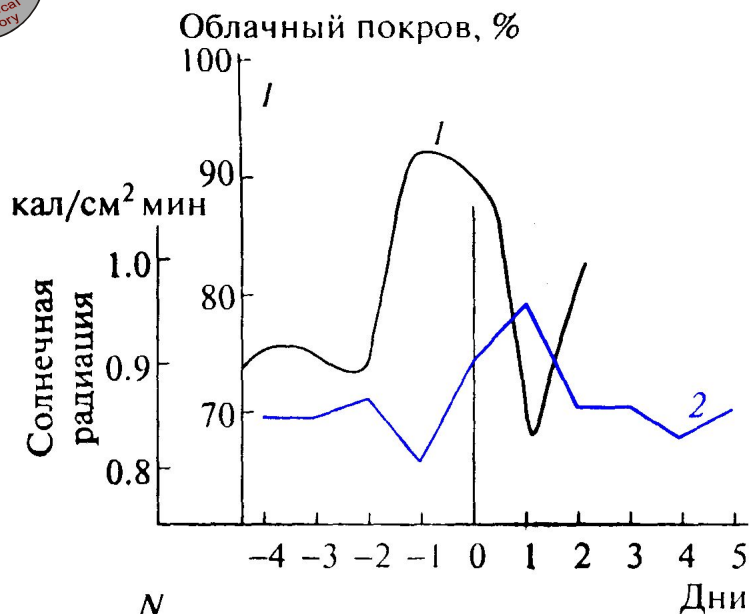
4 – Верхоянск ($\phi = 61.3^\circ$, $N = 40$).

б – зависимость амплитуды эффекта $\Delta n/\langle n \rangle$ ($\langle n \rangle$ – средний уровень до начала всплеска, Δn – отклонение от среднего уровня) от геомагнитной широты станции.



Вариации суточных сумм суммарной радиации $\Delta(\Sigma Q)$ в ходе Форбуш-понижений ГКЛ на станциях в широтном поясе $\varphi \approx 60-64^\circ \text{N}$. Момент $\Delta t = 0$ соответствует дню начала Форбуш-понижения.





1 – осредненные значения вариаций облачного покрова по спутниковым данным над четырьмя районами США после солнечных вспышек [Дмитриев и Ломакина, 1977];

2 – вариации прозрачности атмосферы в субавроральной зоне в ходе солнечных вспышек и последовавших интенсивных магнитных бурь, осредненные по 27 событиям [Пудовкин и Веретененко, 1992б]. Момент $\Delta t = 0$ соответствует дню начала магнитной бури, а $\Delta t = -2$ – дню солнечной вспышки.

1 – осредненные по тем же событиям значения потока космических лучей N в авроральной обсерватории Апатиты;

2 – осредненные по тем же событиям значения потока космических лучей N в среднеширотной обсерватории Москва;

3 – осредненные значения суммарного за сутки K_p -индекса [Пудовкин и Веретененко, 1992б].

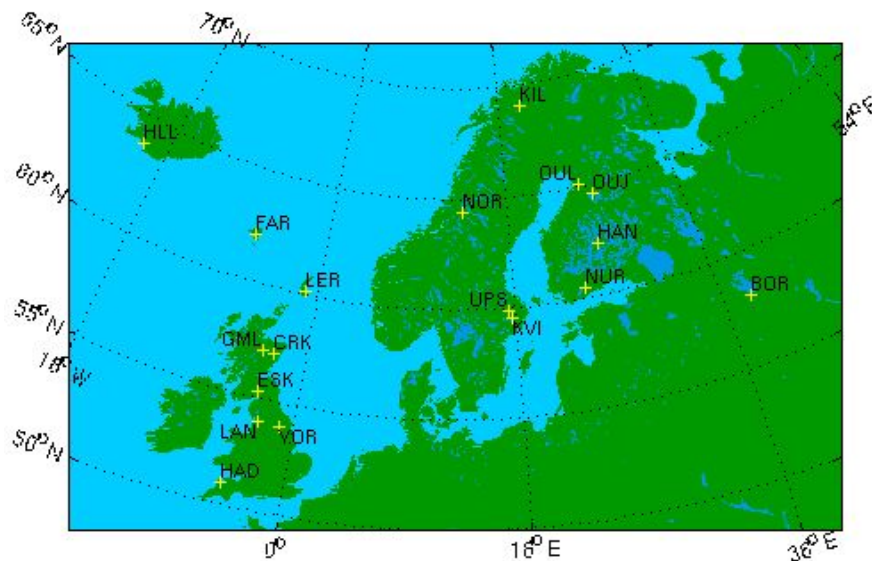


1998г. – ГО «Борок» входит в сеть SAMNET

**Sub-Auroral
Magnetometers
Network**



действует с 1987г.,
18 станций

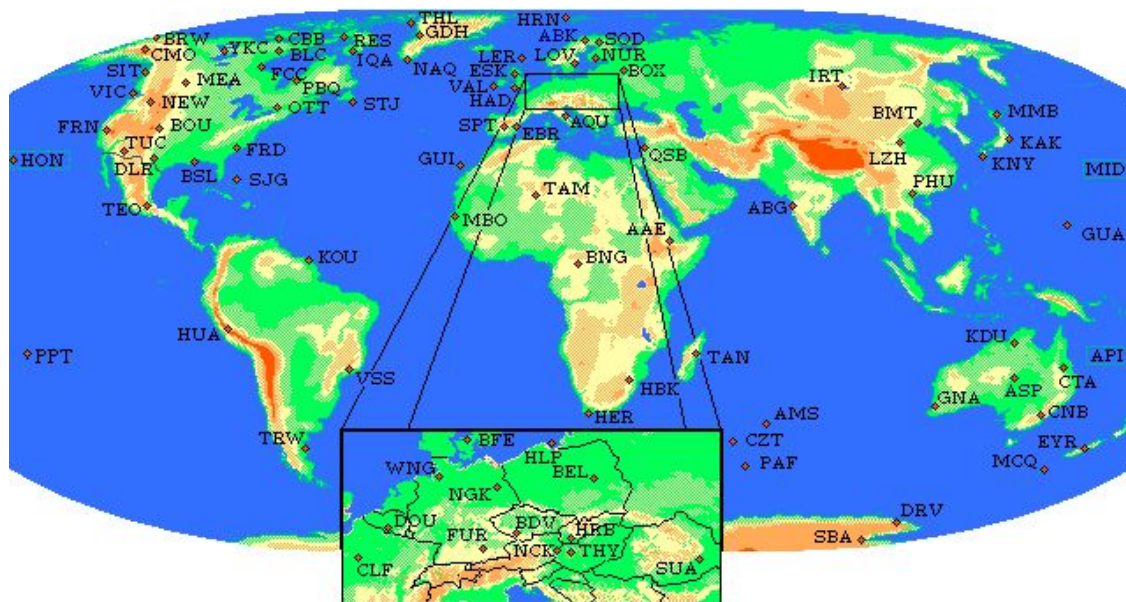


2004г. – ГО «Борок» входит в сеть INTERMAGNET

**International
Real-time
Magnetic
observatory
Network**



действует с 1991г.,
114 обсерваторий





This is to
Certify
that
Borok Observatory
Has complied with the standards set by the
INTERMAGNET Executive Council
and is recognised as a
Full Participating Member
of
INTERMAGNET

Signed *David Kerridge*

David Kerridge
Chairman
INTERMAGNET Executive Council
Dated: 20 November 2004

Спасибо за внимание!



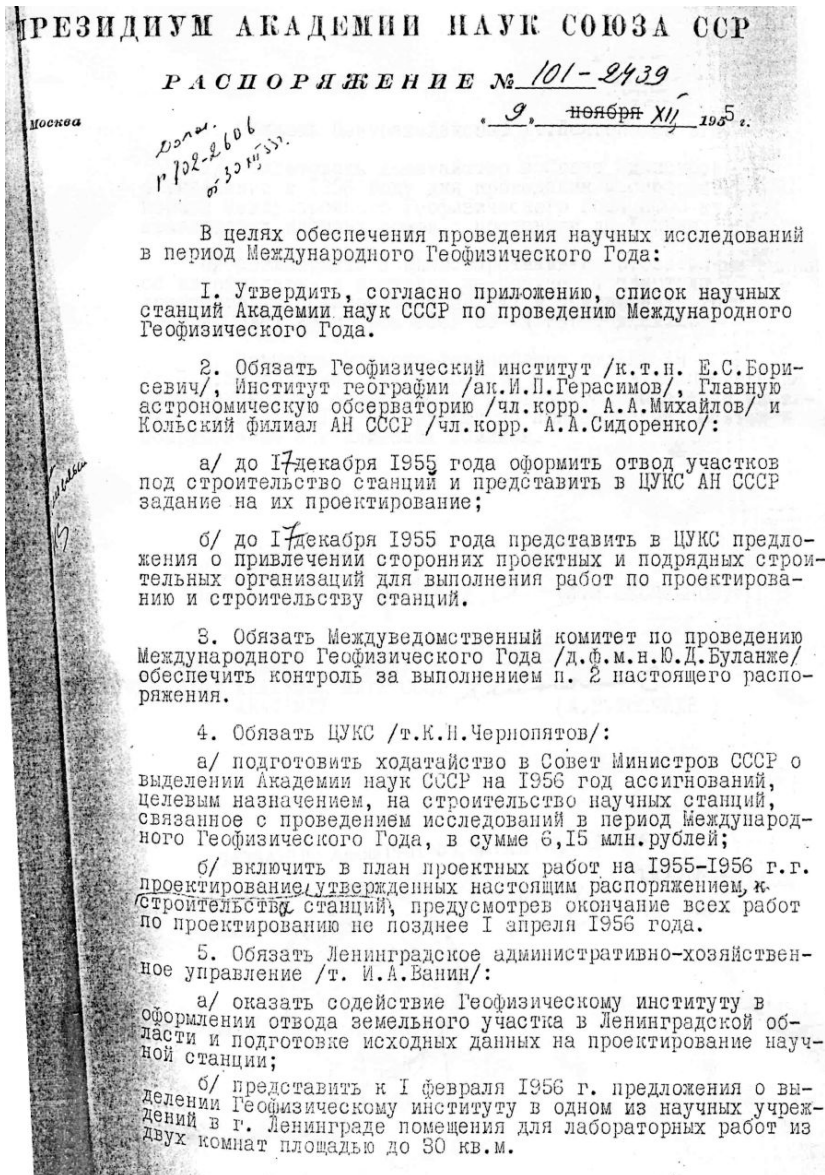


09 декабря 1955 г. – распоряжение Президиума АН СССР об организации Геомагнитной станции «Борок»

Март 1956 г. – начало работы Электромагнитной экспедиции МГГ в пос. Борок, монтаж временной станции для регистрации короткопериодных пульсаций земных токов и вариаций геомагнитного поля (Г.Н.Петрова, Г. М.Солодовников, Ф.С.Шивков, Ю.Б. Раструсин и др.)

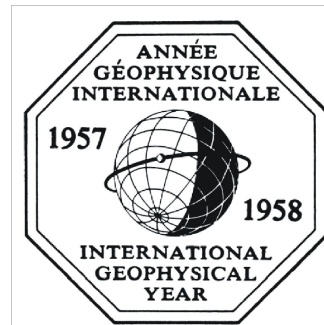
Май 1957 г. – начало монтажа стационарной станции

1 июля 1957 г. – начало работы Геомагнитной станции «Борок»
[58N, 38E]



Начало 1955г. – И.Д.Папанин предлагает В.А.Троицкой, Ученому секретарю Советского комитета по проведению МГГ, посетить пос. Борок

**Международный
Геофизический
Год
(1957-1958)**



Лето 1955 г. – прибытие в пос. Борок рекогносцировочного электромагнитного отряда (В.А.Троицкая, Л.Н.Баранский, М.С. Куржелевская, В.Я.Пипур, К.Ю.Зыбин, К.Я.Сергеева)





1963 г. – Геомагнитная станция становится Геофизической обсерваторией «Борок» Отдела электромагнитного поля Земли Института физики Земли АН СССР

1965 г. – разработан проект расширения и реконструкции ГО «Борок»

1965 –1975гг. – строятся новое здание ГО «Борок», регистрационный корпус и 6 магнитных павильонов

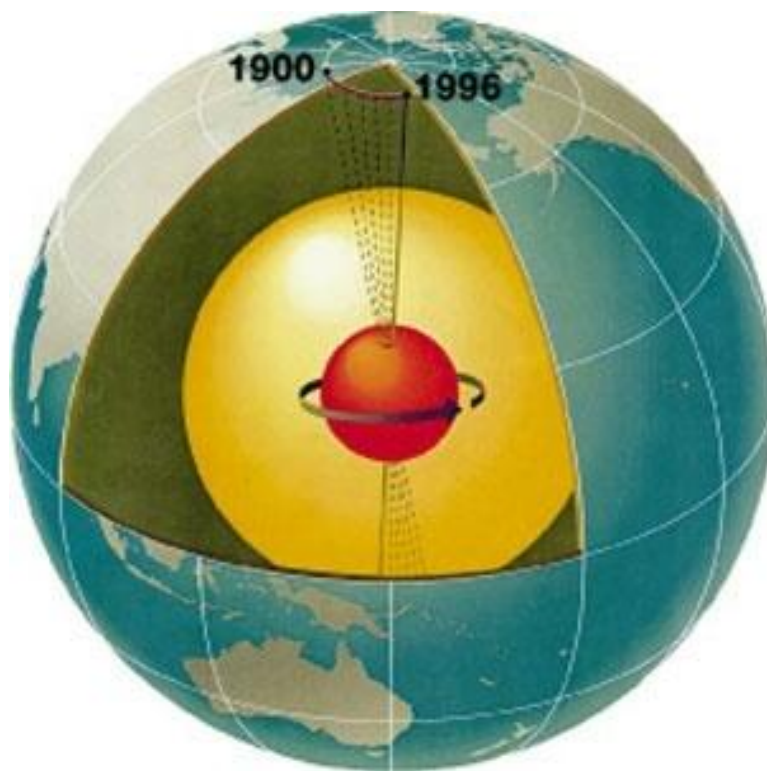


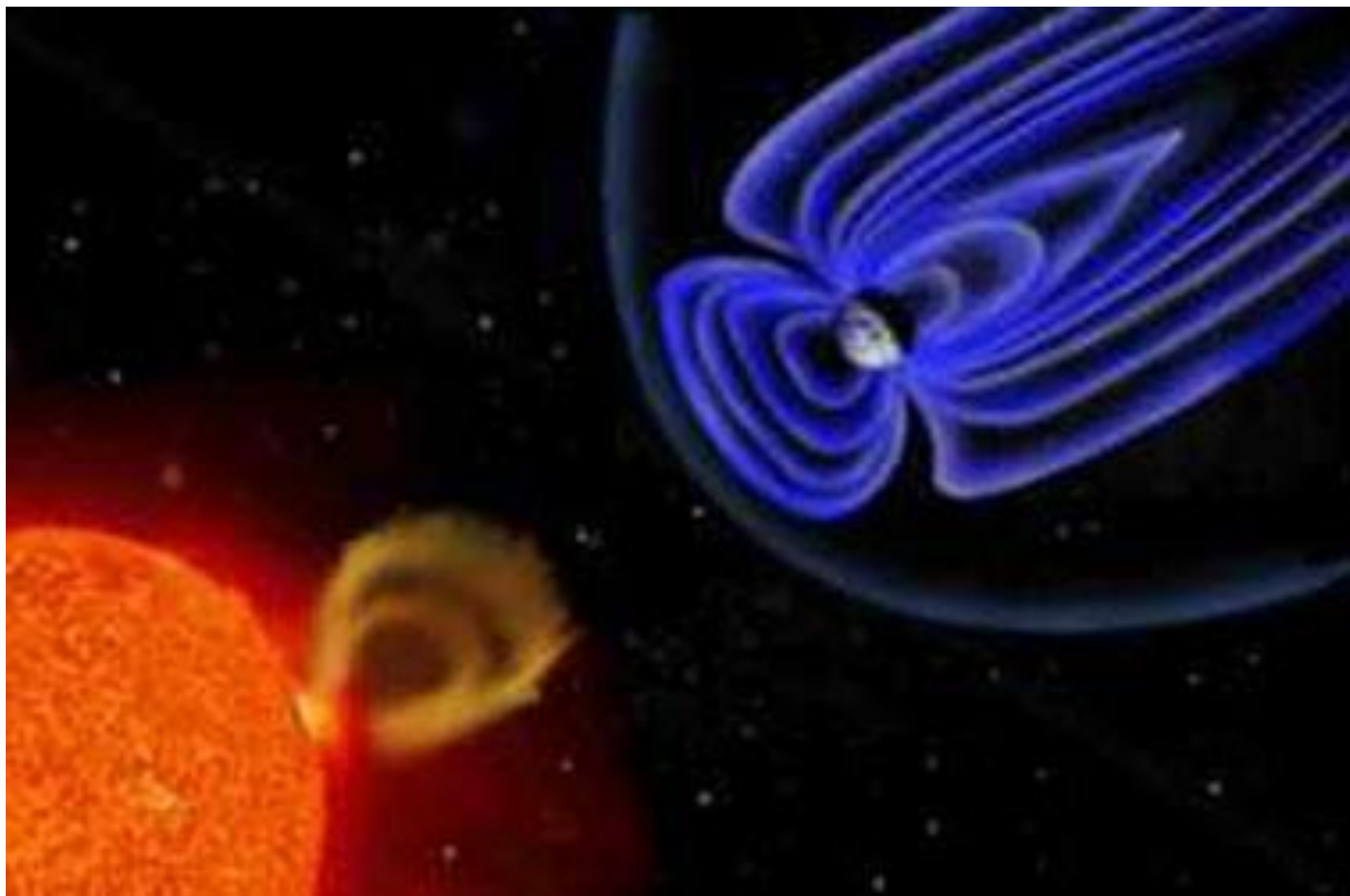
1957 г.



2007 г.







СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веретененко СВ., Пудовкин М.И.* Эффекты вариаций космических лучей в циркуляции нижней атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 33. № 6. С. 35–40. 1993.
- Веретененко СВ., Пудовкин М.И.* Эффекты Форбуш-понижений галактических космических лучей в вариациях общей облачности // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 34. № 4. С. 38–44. 1994.
- Веретененко СВ., Пудовкин М.И.* Вариации общей облачности в ходе всплесков солнечных космических лучей // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 36. № 1. С. 153–156. 1996.
- Веретененко СВ., Пудовкин М.И.* Влияние вариаций галактических космических лучей на поступление солнечной радиации в нижнюю атмосферу // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 37. № 2. С. 55–60. 1997.
- Веретененко СВ., Пудовкин М.И.* Вариации прихода суммарной радиации в 11-летнем цикле солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 38. № 5. С. 33–42. 1998.
- Дмитриев А.А., Ломакина Е.Ю.* Облачность и рентгеновское излучение космоса // в: «Эффекты солнечной активности в нижней атмосфере» под ред. Ракиповой Л.Р., Л.: Гидрометеоиздат. С. 70–77. 1977.
- Пудовкин М.И., Бабушкина СВ.* Эффекты солнечных вспышек в вариациях приземного давления // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 30. № 3. С. 469–473. 1990.
- Пудовкин М.И., Бабушкина СВ.* Влияние электромагнитного и корпускулярного излучений солнечной вспышки на интенсивность зональной циркуляции атмосферы // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 31. № 3. С. 493–499. 1991.
- Пудовкин М.И., Веретененко СВ.* Вариации меридионального профиля атмосферного давления в ходе геомагнитного возмущения // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 32. № 1. С. 118–122. 1992а.
- Пудовкин М.И., Веретененко СВ.* Влияние геомагнитных возмущений на интенсивность потока прямой солнечной радиации // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 32. № 1. С. 148–150. 1992б.
- Пудовкин М.И., Любич А.А.* Проявление циклов солнечной и магнитной активности в вариациях температуры воздуха в Ленинграде // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 29. № 3. С. 359–363. 1989.
- Пудовкин М.И., Распопов О.М.* Механизм воздействия солнечной активности на состояние нижней атмосферы и метеопараметры // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 32. № 5. С. 1–9. 1992.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Morozova A.L., Pudovkin M.I., Thejll P.* Variations of atmospheric pressure during solar proton events and Forbush-decreases for different latitudinal and synoptic zones // Intern. J. Geomagn. Aeron. V. 3. № 2. P.181–189. 2002.
- Pudovkin M.I.* Influence of solar activity on the lower atmosphere slate // Intern. J. Geomagn. Aeron. G12007. doi: 10.1029/2003G1000060. 2004.
- Pudovkin M.I., Ihibushkina S.V.* Influence of solar flares and disturbances of the interplanetary medium on the atmospheric circulation // J. Atmos. Terr. Phys. V. 54. №7/8. P. 841–846. 1992a.
- Pudovkin M.I., Babushkina S.V.* Atmospheric transparency variations associated with geomagnetic disturbances // J. Atmos. Terr. Phys. V. 54. № 9. P. 1135–1138. 1992b.
- Pudovkin M.I., Morozova A.L.* Time evolution of the temperature altitudinal profile in the lower atmosphere during solar proton events // J. Atmos. Solar-Terr. Phys V. 59. № 17. P. 2159–2166. 1997.
- Pudovkin M.I., Morozova A.L.* Time variation of atmospheric pressure and circulation associated with temperature changes during solar proton events // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 60. № 18. P. 1729–1737. 1998.
- Pudovkin M.I., Veretenenko S.V.* Cloudiness decreases associated with Forbush-decreases of galactic cosmic rays // J. Atmos. Terr. Phys. V. 57. № 11. P. 1349–1355. 1995.
- Pudovkin M.I., Veretenenko S. V.* Variations of the cosmic rays as one of the possible links between the solar activity and the lower atmosphere // Adv. Space Res. V. 17. № 11. P. 161–164. 1996.
- Pudovkin M.I., Veretenenko S.V., Pellinen R., Kyrö E.* Cosmic ray variation effects in the temperature of the high-latitude atmosphere // Adv. Space Res. V. 17. №11. P. 165–168. 1996.
- Pudovkin M.I., Veretenenko S.V., Pellinen R., Kyrö E.* Meteorological characteristic changes in the high-latitude atmosphere associated with Forbush-decreases of the galactic cosmic rays // Adv. Space Res. V. 20. № 6. P. 1169–1172. 1997.
- Veretenenko S.V., Pudovkin M.I.* Effects of the galactic cosmic ray variations on the solar radiation input in the lower atmosphere // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 59. № 14. P. 1739–1746. 1997.
- Veretenenko S.V., Pudovkin M.I.* Variations of solar radiation input to the lower atmosphere associated with different helio/geophysical factors // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. V. 61. № 7. P. 521–529. 1999.