

Моделирование поведения плотности космических лучей в магнитных облаках



Е. ЕРОШЕНКО, А. БЕЛОВ, А. АБУНИН, М. АБУНИНА, В.
ОЛЕНЕВА, В. ЯНКЕ (IZMIRAN)

А. ПАПАИОАННОУ

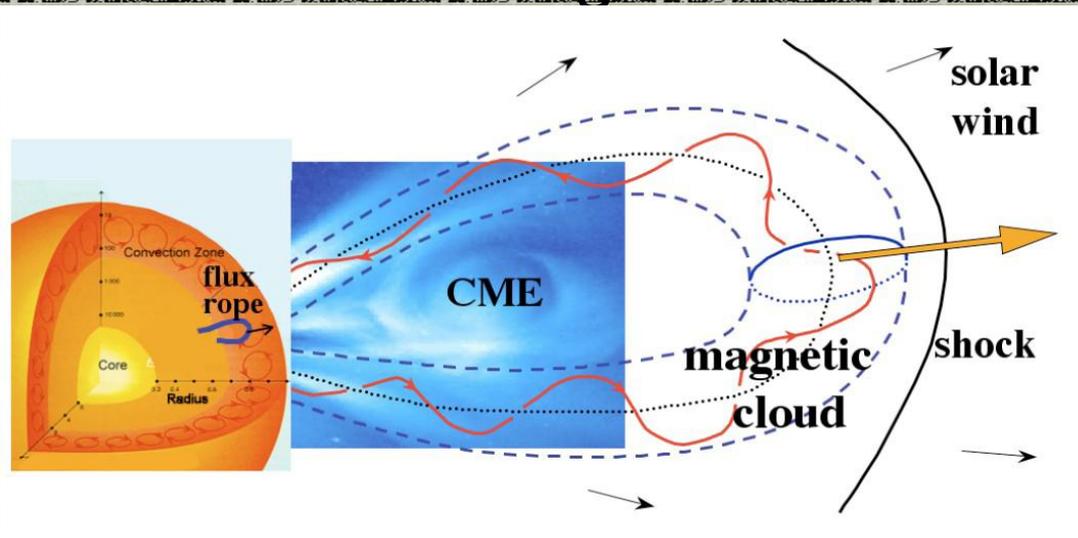
Е. МАВРОМИЧАЛАКИ (Athens University)

erosh@izmiran.ru



33-я ВККЛ, Москва, МГУ, Дубна, 2014

What are the magnetic clouds?



Burlaga, 1981
Barnden, 1973
Ivanov
Sanderson, 1990
Zank, 1988
Cane, 1993, 2000
Wibberenz, 1998

Почему мы их изучаем?

МО приходит к Земле, сохраняя солнечную структуру
Все ICME, приходящие к Земле, имеют 'flux rope'
структуру, но...

Магнитные облака тесно связаны с ФП.

ФП возникают при расширении частично закрытых
магнитных структур.

МО – наиболее очевидный пример такой структуры



Присутствие МО в ICME значительно повышает способность этого возмущения модулировать КЛ;

Как правило, вектор анизотропии КЛ резко изменяется, когда Земля входит и выходит из МО, и регулярно изменяется внутри МО;

Поведение КЛ внутри МО отражает как свойства облака в целом, так и его структуру;

Эти изменения (вместе с данными о плотности КЛ) могут дать дополнительную информацию о структуре МО и его положении относительно Земли.



Воздействие МО на ГКЛ

1. Данные и методы;
2. МО и ФП – примеры различных групп ;
3. Модель описания поведения ГКЛ;
4. Исправление на магнитосферный эффект;
5. Причины расхождений;
6. Статистический анализ
7. Заключение



Данные и метод

1. Каталог ICME за 1996 - 2009 (Richardson and Cane, Solar Phys. 264 (2010) 189-237: свойства ICMEs, их солнечные источники, сопутствующие геомагнитные эффекты;
2. База данных по Форбуш эффектам, созданная в ИЗМИРАНе, основанная на вариациях плотности и анизотропии КЛ с жесткостью 10 ГВ (GSM).

Содержит параметры КЛ за пределами атмосферы и магнитосферы, индексы геомагнитной активности, солнечные параметры.

99 событий оказались в выборке ICME с МО в течение 23 и 24 солнечных циклов.

Их объединяет присутствие МО, но все они очень разные.



ICME - очень короткие и продолжительные, быстрые ($>1000\text{ km/s}$) и медленные ($<400\text{ km/s}$), с сильным и умеренным ММП (В 50 nT and $\sim 8\text{ nT}$).

Обусловленные явления: экстремальные и малые магнитные бури ($K_p \sim 4$);

Вариации КЛ: Максимальные ФП ($\sim 28\%$) и несколько малых ФП ($\leq 0.5\%$);

В среднем:

$A_F = 3.4 \pm 0.4\%$), сопровождавшийся ($A_p_{\text{max}} = 98 \pm 9$ (2нТ), и $Dst_{\text{min}} = -103 \pm 8$ нТ) – умеренная буря.

Только 62 из 99 событий начинались с приходом ударной волны.

Сравнение выборки ICME с МОс контрольной группой событий со схожими параметрами возмущений $5 < V_m * V_m < 7.1$

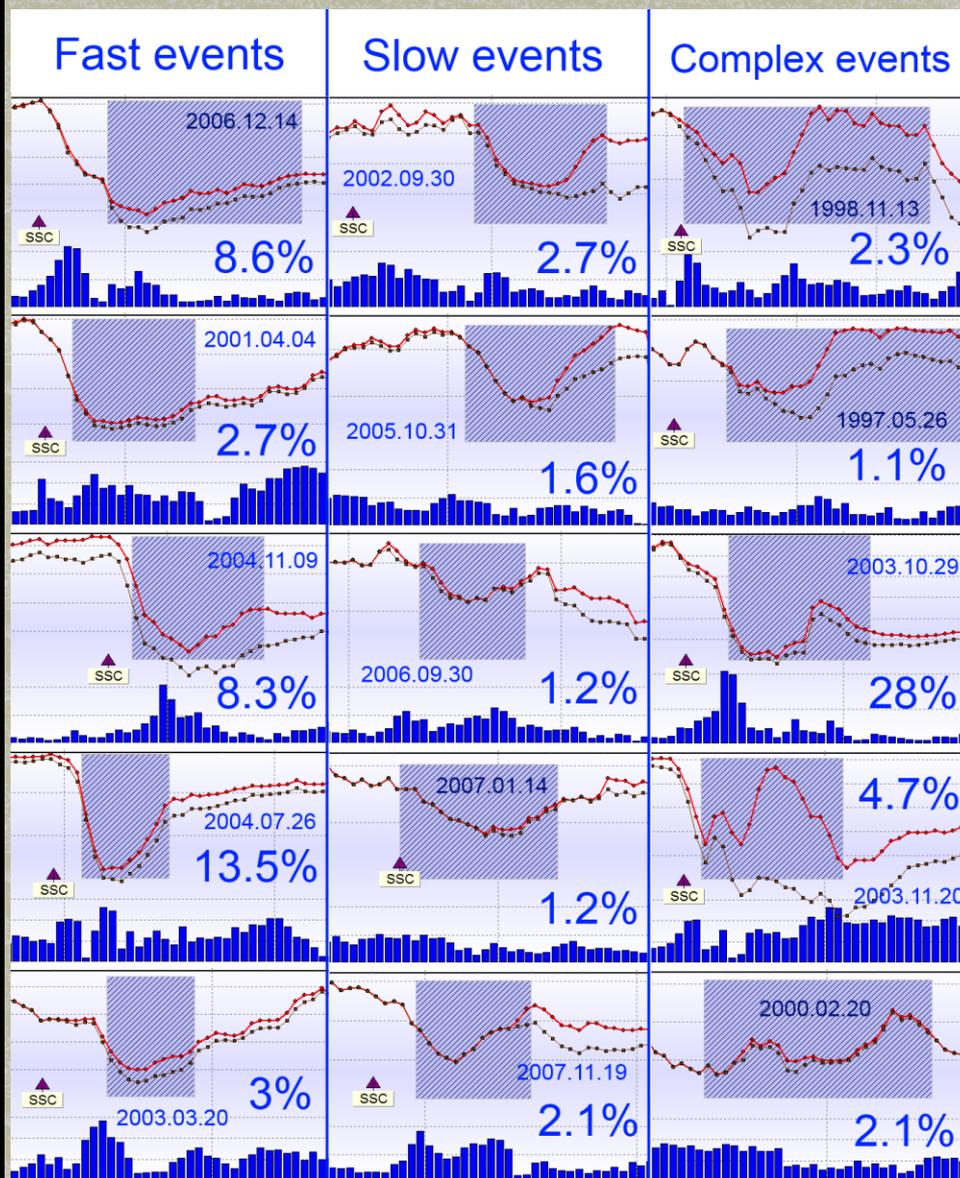


Различные усредненные характеристики ФП в главной и контрольной группах

	(с МО)	(без МО)
Af	3.36±0.37	1.91±0.16
■ Axy_max	2.03±0.13	1.38±0.08
■ Az_range	2.04±0.10	1.36±0.06
■ Dmin	-0.93±0.11	-0.44±0.03
■ Apxmax	97.87±8.65	56.64±3.51
■ Dst_min	-102.6±8.2	-56.5±3.8
■ Bm	20.21±1.07	18.01±0.33
■ Vm	551.5±16.5	652.2±9.1
■ VmBm	6.05±0.54	5.79±0.07

ICMEs с МО более эффективно модулируют КЛ, создавая более глубокие ФП (Af) с более быстрым спадом плотности КЛ(Dmin) и с большей величиной анизотропии КЛ.

Af-Величина ФП (%), Axy_max – max экваториальная компонента вектора анизотропии КЛ (%); Az_ – область изменения северо-южной компоненты вектора анизотропии КЛ (%); Dmin – max часовой декремент плотности КЛ; Bm (nT) и Vm (km/s) – max интенсивность ММП и скорость солнечного ветра в возмущении, VmBm -нормализованное произведение Vm и Bm

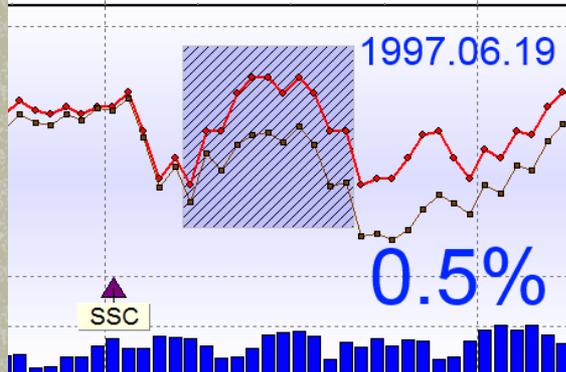
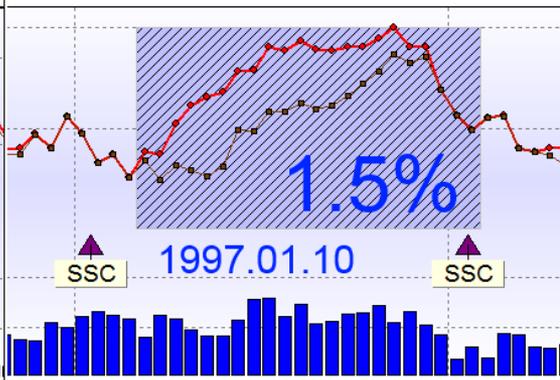


Большое разнообразие магнитных облаков обуславливает ФП различной глубины и разнообразных профилей. Цифрами обозначены даты и величина ФП.



Increase of CR in MC

Эффект возрастания плотности КЛ внутри магнитного облака.





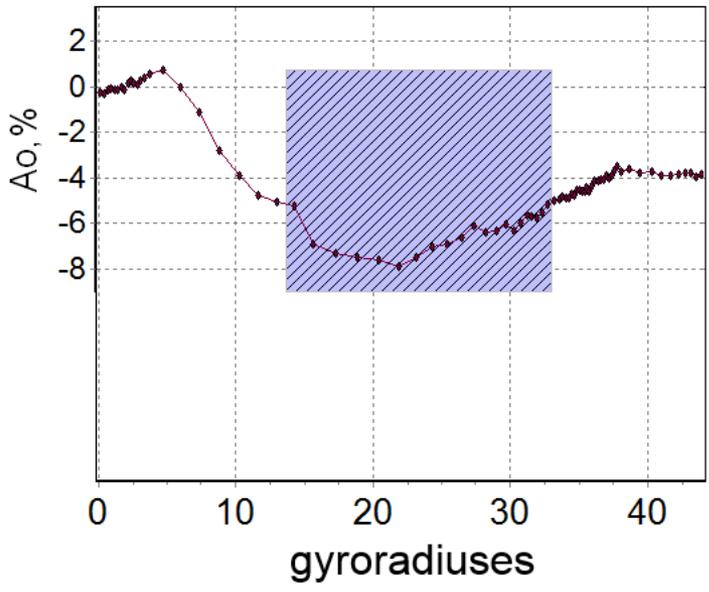
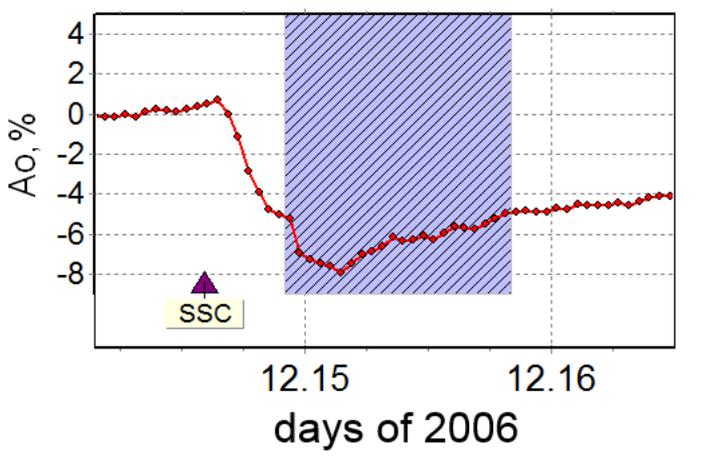
Распределение плотности КЛ в структуре МО

Значительная часть МО, наблюдаемых у Земли, имеют квазицилиндрическую геометрию.

- Простейшей функцией, способной отобразить распределение плотности КЛ в цилиндрической структуре МО, является парабола.
- При моделировании надо помнить:
- Земля, пересекая межпланетное возмущение, проходит за час разное расстояние в соответствии со скоростью этой части возмущения.
- Для заряженных частиц расстояния измеряются в гирорадиусах ρ : за час наблюдатель проходит в межпланетном возмущении (в частности, в МО)
- $X_{\rho} = cVB/R$ гирорадиусов



Моделирование: изотропная часть КЛ



При переходе от линейных размеров к гирорадиусам можно ожидать более симметричных распределений плотности КЛ в магнитном облаке

Эффект МО в КЛ: распределение плотности во временной развертке и в зависимости от гирорадиуса



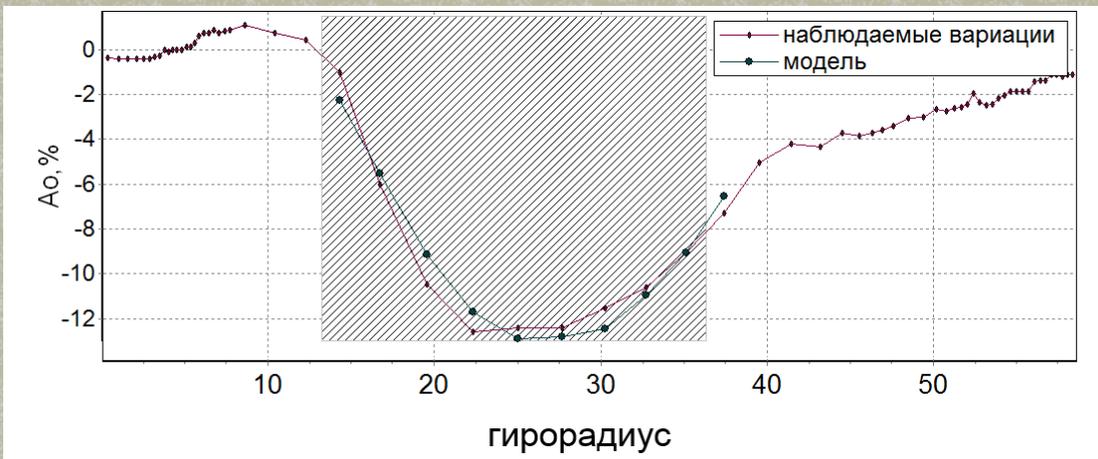
Второе важное обстоятельство- магнитосферные вариации КЛ во время магнитных бурь (из-за изменения R_s в пунктах наблюдения. Вариации R_s и скорости счета тесно коррелируют с вариациями Dst индекса.

Ожидаемая вариация плотности:

$$\delta = \frac{\Delta N}{N} = a + b_1 X + b_2 X^2 + b_d D_{st}$$

- где a константа, b_1 – трендовый коэффициент, b_2 -отражает главную часть влияния МО на КЛ, b_d определяет вклад магнитосферы
- Мы применили эту модель ко всем 99 событиям выборки, каждый раз определяя параметры, a , b_1 , b_2 , b_d .

Пример моделирования плотности вариаций КЛ в магнитном облаке.



МО > 4 ρ
 σ^2 – not big
74 события

Событие 2004.07.26.

Почти симметричные изменения плотности КЛ внутри МО, с минимумом вблизи центра МО (в большинстве событий).

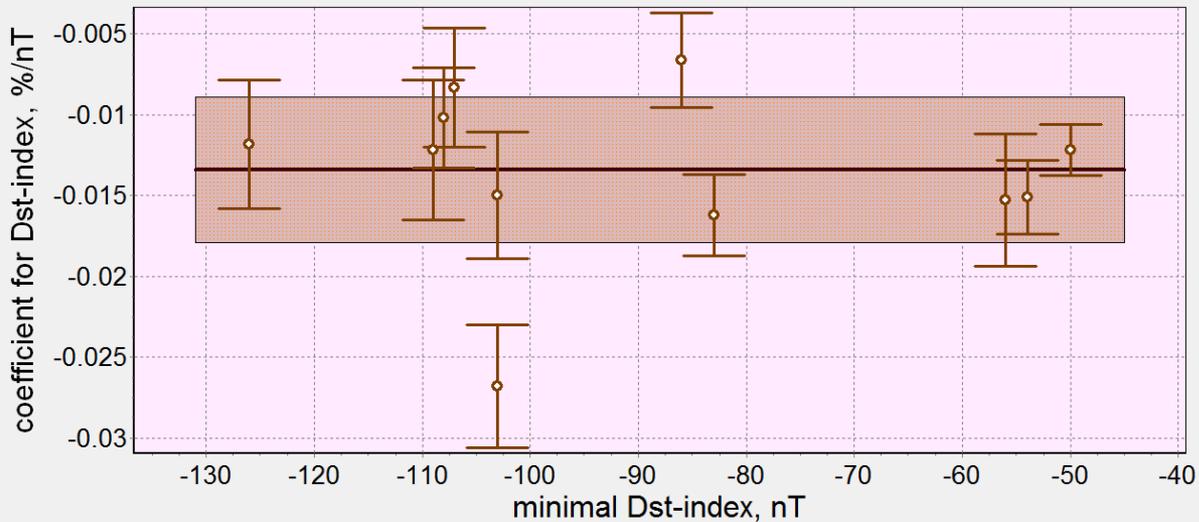
Хорошее согласие модельных и экспериментальных данных.

Но совпадение наблюдается не всегда. Основные причины расхождений:

-упрощение в виде цилиндра в ряде случаев непригодно (большая дисперсия; низкий коэф. корреляции)

-зависимость от числа часов, проведенных в облаке (6 - 64). В среднем длительность МО 21 ± 1 часов.

Статистические результаты моделирования



b_d

Зависимость b_d от минимального Dst-индекса

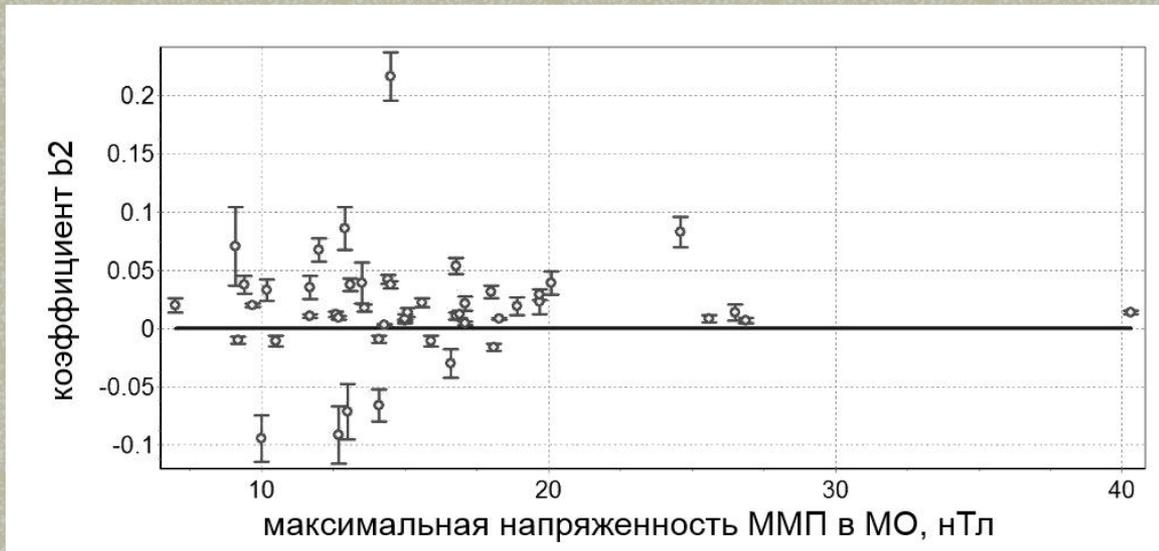
Горизонтальная линия – коэффициент $b_{dm}=0.0136 \pm 0.0016\%/nT$, усредненный по событиям нахождения Земли в МО.

Распределение точек и ошибки согласуются со стандартным отклонением σ . Выпадающая точка – февраль 1998 г.

Зависимость b_d от Dst не наблюдается, т.е.

во всех событиях связь магнитосферных вариаций с КЛ-одна и та же, и определяется полученным коэффициентом b_d .

Чтобы выделить статистически значимый вклад в модель,
отобрано 39 событий, для которых $b_2/\sigma_{b_2} > 2$.



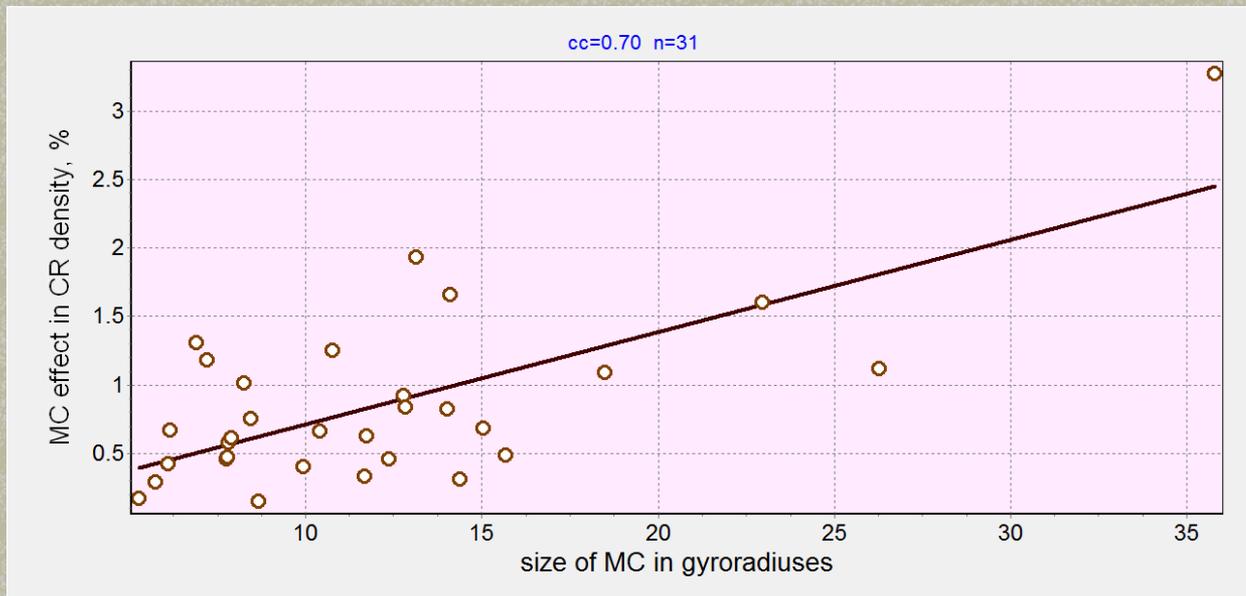
b_2

Явной зависимости b_2 от V_{max} не наблюдается.

Все отрицательные b_2 наблюдались в относительно слабом поле, а для $V_{max} > 18$ нТ все b_2 положительны, т. е., в случаях сильного поля мы всегда имеем «нормальные» ФП с локальным минимумом плотности КЛ в МО. В 9 случаях $b_2 < 0$. Эти события (возрастание плотности КЛ) в меньшинстве, но они реальны.

Если b_2 мало— это МО слабо влияет на КЛ около Земли.

Влияние размеров МО на плотность КЛ



Влияние большинства МО на КЛ невелико:

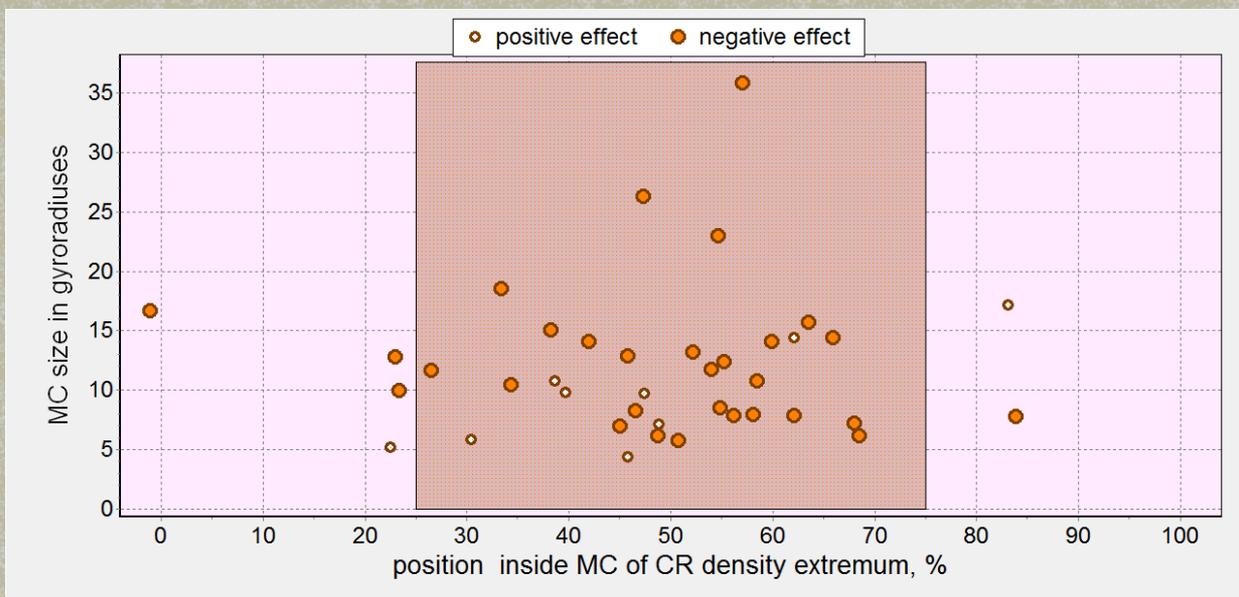
из 74 событий в 41 это влияние $<0.3\%$, и в 50 $<0.5\%$.

Такой малый эффект почти невозможно выделить по данным одного детектора.

ВСЕ СМЕ/ИСМЕ воздействуют на КЛ, особенно, когда у Земли наблюдается МО.

Однако эффекты СМЕ/ИСМЕ и магнитных облаков часто бывают малы и трудны для обнаружения.

Положение экстремума плотности КЛ внутри МО



Разделим облако на центральную (25-75%) и боковые части. Из 39 событий в центральную попадает 33, а в боковые только 6. События с положительным эффектом имеют тах в ведущей части облака, а с отрицательным эффектом (min) имеют тенденцию группироваться в хвостовой части облака.



Выводы

- 1) В большинстве случаев (но не во всех) поведение плотности КЛ в магнитном облаке у Земли можно описывать простой параболической зависимостью от расстояния от центра МО, измеренного в гирорадиусах.
- 2) Большинство магнитных облаков модулируют КЛ, уменьшая их плотность, но есть группа событий (приблизительно 1/5 часть), когда в МО плотность КЛ возрастает
- 3) Исследуя магнитные облака, удалось получить количественную связь вариаций плотности КЛ магнитосферного происхождения с изменениями Dst-индекса. Полученный коэффициент можно применять к вариациям плотности КЛ в любые периоды



Выводы

- 4) Не наблюдается явной зависимости вклада вариаций плотности КЛ от V_{\max} внутри МО. Но все положительные эффекты наблюдались в слабом магнитном поле, а для $V_{\max} > 18$ нтл все вариации плотности КЛ отрицательны
- 5) Экстремум (минимум или максимум) плотности КЛ чаще располагается ближе к центру облака, а не по его краям. События с положительным эффектом имеют максимум, в основном, в ведущей части облака. В событиях с отрицательным эффектом минимумы распределены более равномерно, но имеют тенденцию группироваться в хвостовой части облака.



**THANK
YOU**



- The presence of MCs in the ICME significantly increases the ability of this disturbance to modulate CRs
- Even more explicitly, the MC affects the anisotropy of the CR. As a rule, vector anisotropy changes abruptly when the Earth enters and leaves a cloud and varies regularly inside the cloud.
- The behavior of cosmic rays inside the magnetic cloud reflects both its properties as a whole and features of its structure
- These changes (together with the data on the CR density)
- may provide additional information about the structure of
- magnetic cloud and its location relatively to Earth.