

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

06.10.2014

Магнитосфера помнит о межпланетном источнике магнитной бури

Зависимость между межпланетным источником магнитной бури и тем, как магнитосфера Земли возбуждается и восстанавливается после её начала, обнаружила группа исследователей ИКИ РАН под руководством Юрия Ермолаева. Результаты работы приняты к публикации в *Journal of Geophysical Research*, серия *Space Physics*.

Состояние земной магнитосферы определяется двумя конкурирующими процессами: поступлением энергии из солнечного ветра и ее релаксацией (перераспределением) внутри магнитосферы. Когда темп накачки энергии превышает скорость ее «спокойной» релаксации, магнитосфера переходит в возмущенное состояние. Если накопленная энергия превысит некоторый порог, происходит возбуждение магнитной бури на Земле. Периоды накачки энергии и ее релаксации во время бурь принято называть, соответственно, главной и восстановительной фазами магнитной бури. Главная фаза в среднем составляет около 7 часов, а фаза восстановления может длиться до 5 суток.

Прямые космические измерения в 70-е годы прошлого столетия показали, что ключевым параметром, «открывающим» магнитосферу для поступления энергии, является южная компонента межпланетного магнитного поля (ММП, это, фактически, поток солнечного ветра с «вмороженным» в него магнитным полем).

Южная компонента направлена перпендикулярно плоскости эклиптики, но она не всегда есть в ММП. Если же по каким-то причинам она появилась, то в подсолнечной точке земной магнитосферы сталкиваются два противоположно направленных магнитных поля: набегающего солнечного ветра ММП и магнитосферы. При такой конфигурации полей происходит эрозия земного поля, так что вещество и энергия солнечного ветра проникают внутрь магнитосферы (см. рис. 1).

В спокойном солнечном ветре никакой перпендикулярной компоненты ММП нет, и магнитосфера «закрыта» для энергии солнечного ветра. Только возмущенные типы течений солнечного ветра могут содержать перпендикулярную (в том числе и южную) компоненту ММП и быть геоэффективными — то есть «размыкать» магнитосферу и начинать магнитные бури. Такие течения образуются в результате двух сценариев:

(1) Быстрые течения солнечного ветра из корональных дыр на Солнце догоняют в межпланетном пространстве медленные течения и взаимодействуют с ними. В результате может образоваться область сжатия, в которой плазма сжимается, становится турбулентной и отклоняется от направления первоначального движения. В ней может образоваться достаточно большая и продолжительная южная компонента ММП, чтобы генерировать магнитную бурю. Так как корональные дыры существуют на Солнце несколько месяцев, то такие области сжатия могут наблюдаться несколько раз с периодичностью, равной периоду оборота Солнца — около 27 дней (т.е. являться рекуррентными). Такие

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

06.10.2014

области сжатия получили в англоязычной литературе общепринятое название «corotating interaction region» или сокращенно CIR.

(2) Другой сценарий связан с выбросами корональной массы (английский термин — coronal mass ejection или CME). Сам выброс представляет собой жгут скрученных магнитных силовых линий и на орбите Земли образует магнитное облако (magnetic cloud, MC), которое при определенной ориентации своей оси может содержать южную компоненту ММП. Кроме того CME часто движутся в межпланетной среде с достаточно большой скоростью, чтобы образовывать перед собой области сжатия подобные CIR, однако в этом случае такие области принято обозначать как Sheath.

Уже в нынешнем столетии эксперименты показали, что на главной, или первой, фазе бури магнитосфера по-разному реагирует на поступление энергии из солнечного ветра в зависимости от типа межпланетного источника. Сотрудники ИКИ РАН в ряде публикаций разрабатывают гипотезу, что источник бури влияет и на то, как магнитосфера восстанавливается после начала бури.

В статье, недавно принятой к публикации в JGR, сотрудники группы **Юрия Ермолаева**, заведующего лабораторией изучения солнечного ветра ИКИ РАН, показали, что для магнитных бурь, генерированных областями сжатия CIR и Sheath, длительности главной и восстановительной фаз бури антикоррелируют. Или, иными словами, чем короче главная фаза, тем длиннее фаза восстановления, и наоборот. А для магнитных бурь, генерированных магнитными облаками (MC), какой-либо зависимости между длительностями обеих фаз обнаружено не было.

Этот результат свидетельствует в пользу гипотезы о том, что во время фазы восстановления (т.е. через несколько суток после начала поступления энергии из солнечного ветра в магнитосферу) магнитосфера всё ещё «помнит» о том, каким был возмущивший её межпланетный источник энергии. Наличие такой «памяти» магнитосферы может означать, что при генерации магнитных бурь областями сжатия CIR и Sheath в магнитосфере образуются новые радиационные пояса, а при генерации магнитными облаками происходит интенсификация кольцевого тока в уже существующих радиационных поясах.

Yu. I. Yermolaev, I. G. Lodkina, N. S. Nikolaeva and M. Yu. Yermolaev, *Influence of the interplanetary driver type on the durations of the main and recovery phases of magnetic storms*, **Journal of Geophysical Research** Space Physics, DOI: 10.1002/2014JA019826

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JA019826/abstract>

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН
 СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ
 06.10.2014

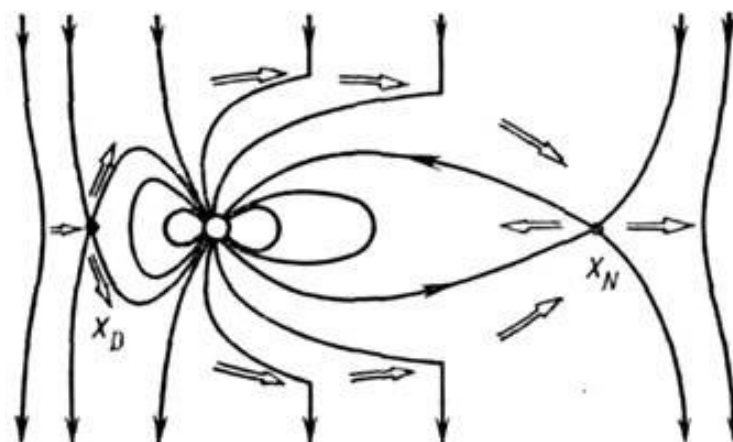


Рис. 1. Модель Данжи пересоединения магнитных силовых линий межпланетного магнитного поля (левее точки X_D и правее точки X_N) и магнитосферного магнитного поля (силовые линии, связанные с Землей — белым кружком). X_D , X_N — дневная (лобовая) и ночная (в хвосте магнитосферы) нейтральные области соответственно, где происходит пересоединение. Светлыми стрелками показано направление обтекания солнечным ветром магнитосферы. Плазма не может двигаться поперек магнитных линий. В результате пересоединения в лобовой точке замкнутые магнитосферные магнитные линии размыкаются, и плазма солнечного ветра проникает внутрь магнитосферы вдоль разомкнутых магнитных силовых линий.

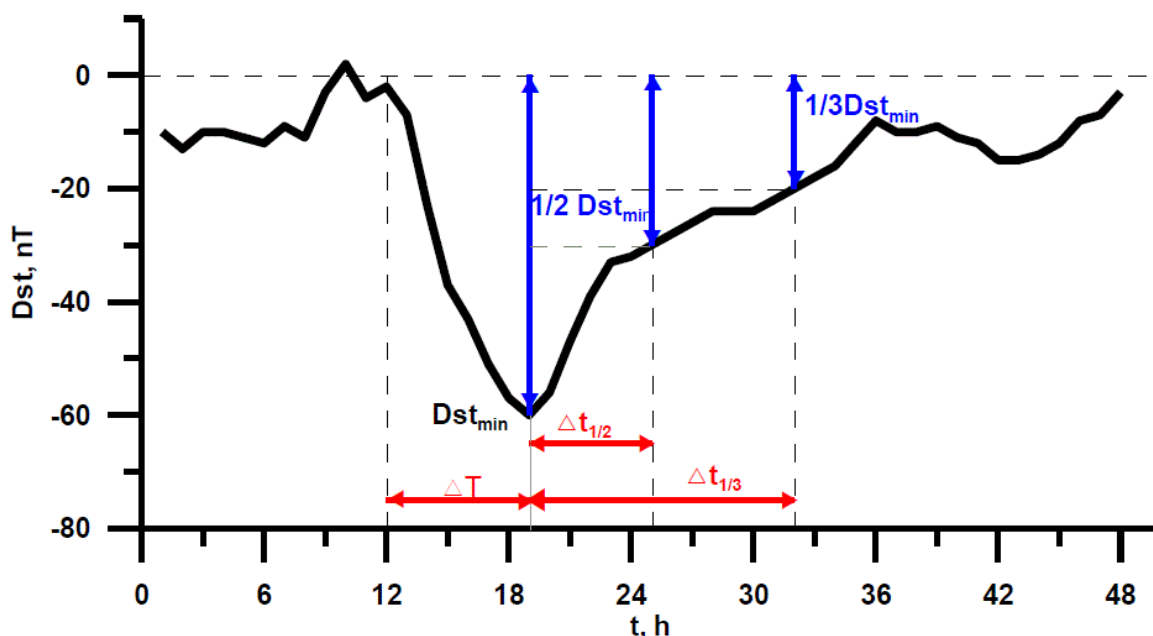


Рис. 2. Представлена схема определения длительностей главной фазы (дельта T) и двух длительностей восстановительной фазы (дельта $t_{1/2}$) и (дельта $t_{1/3}$), соответственно на уровне отсечки $1/2$ и $1/3$ от уровня Dst_{min} . По горизонтальной оси отложено время в часах, а по вертикальной оси — Dst индекс, который используется для описания возмущений магнитосферы (чем больше величина уменьшения Dst индекса, тем сильнее магнитная буря)

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН
СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ
06.10.2014

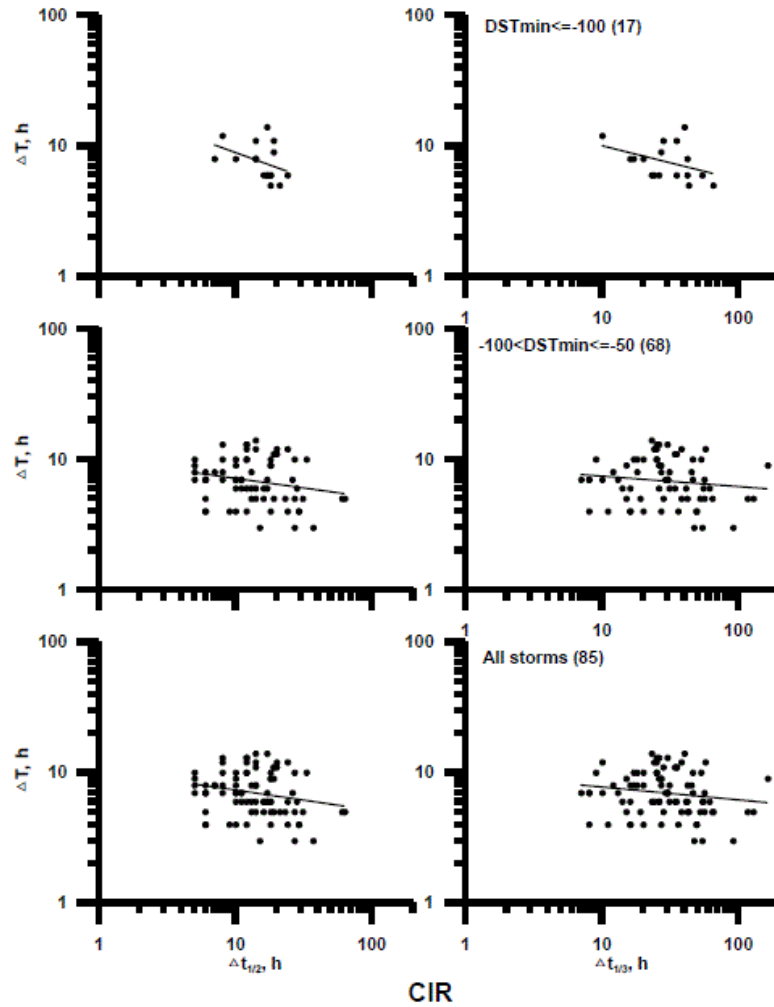


Рис. 3. Зависимость длительностей главной и восстановительной фаз для магнитных бурь, генерированных областью сжатия Sheath. Слева и справа: для длительностей восстановительной фазы (дельта $t_{1/2}$) и (дельта $t_{1/3}$), соответственно. Верхние, средние и нижние панели: для сильных, умеренных и всех бурь, соответственно