

УДК 523.4-854

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКОЕ ПОЯВЛЕНИЕ ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЫ В ВЫСОКОШИРОТНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ ПРИ СЕВЕРНОМ НАПРАВЛЕНИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Г.В. Койнаш

QUASI-PERIODIC OCCURRENCE OF DENSE PLASMA IN HIGH-LATITUDE BOUNDARY LAYER AT NORTHWARD INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD

G.V. Koynash

Проведен анализ появления всплесков плотной плазмы внутри северной части хвоста магнитосферы Земли при северном направлении межпланетного магнитного поля. Функции распределения ионов по скоростям указывают на то, что плазма обтекающего потока была инжектирована в хвост вдоль открытой силовой трубки. Наблюдаемые плазменные образования конвектируют от Земли из области пересоединения, находящейся над космическим аппаратом. Рассмотрены свидетельства в пользу возможных сценариев наблюдаемого явления: колебания магнитопаузы (1), импульсное пересоединение или многократное пересоединение (2). Направление движения плазмы в этих всплесках и функции распределения ионов по скоростям позволяют считать сценарий № 2 наиболее вероятным.

Occurrence of quasi-periodic bursts of dense plasma in the north tail lobe at northward IMF was analyzed. Ion velocity distributions indicate that the slip flow plasma was injected into the tail along the open flux tube. Observed plasma formations convect from the Earth from the reconnection site above the spacecraft. We discuss evidence for possible scenarios of the observed bursts: magnetopause oscillations (1); impulse or multiple reconnections (2). The motion direction of plasma of these bursts and ion velocity distributions allows us to take the scenario no. 2 as the most probable.

Солнечный ветер непрерывно оказывает влияние на магнитосферу Земли. Для физики магнитосферы одним из важных вопросов является механизм передачи энергии и массы из солнечного ветра, когда частицы конвектируют из области обтекающего потока в магнитосферу Земли вдоль открытых силовых «трубок». Речь пойдет о квазипериодических всплесках плотной плазмы, зафиксированных энергоанализатором ионов СКА-1 во время сеанса 19 октября 1995 г. в интервале 11:00–18:50 UT. В этот период спутник Интербол находился в северной доле хвоста магнитосферы Земли недалеко от магнитопаузы (рис. 1). Магнитосфера Земли находилась под влиянием межпланетного магнитного поля северного направления. В эксперименте были получены временные спектры ионов с энергиями 50 эВ/Q–5 кэВ/Q для солнечного и антисолнечного детектора анализатора СКА-1 и данные о величинах компонент магнитного поля в координатах GSE. Из полученных данных

были рассчитаны следующие величины для каждого момента времени:

- 1) концентрация ионов;
- 2) ионная температура;
- 3) компоненты скорости плазмы в координатах

GSE (рис. 2).

Выбранное нами для анализа событие наблюдалось во временном интервале 16:40–17:05 UT (рис. 3). Когда аппарат находился внутри северной доли хвоста магнитосферы, анализатор СКА-1 зарегистрировал квазипериодическое появление плотной плазмы с периодом ~140 с. Концентрация, температура и энергия ионов сопоставима с соответствующими величинами для плазмы обтекающего потока. Подобного рода пульсации могут наблюдаться вблизи магнитопаузы вследствие колебаний магнитосферы, вызванных изменением параметров солнечного ветра [1].

Для определения естественной системы координат для магнитопаузы использовался метод минимума вариации магнитного поля. Направление нормали к токовому слою магнитопаузы \mathbf{n} совпадает с направлением минимума вариации вектора магнитного поля \mathbf{B} при пересечении токового слоя магнитопаузы. Такая система координат – \mathbf{lmn} (где \mathbf{l} направлена вдоль вектора магнитного поля в магнитосфере, а \mathbf{m} дополняет прямоугольную систему координат) – дает возможность определить, связаны ли квазипериодические всплески плотной плазмы с колебанием магнитосферы. На рис. 4. можно видеть профили компонент скорости плазмы в \mathbf{lmn} -координатах. Если наблюдаемые всплески вызваны колебанием магнитосферы, то в этом случае, когда аппарат находится внутри магнитосферы, а затем «всплывает» в обтекающий поток, нормальная компонента скорости плазмы должна быть направлена против вектора \mathbf{n} . При погружении аппарата в магнитосферу направление нормальной компоненты соответствует направлению вектора \mathbf{n} . Видно, что в

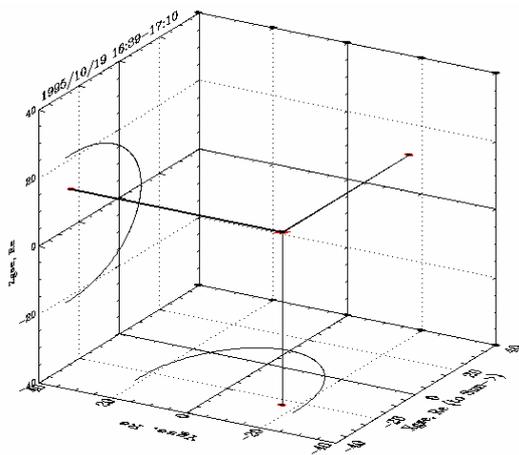


Рис. 1. Орбита космического аппарата «Интербол» в соответствии с выбранным интервалом времени 19 октября 1995 г. 11:00–18:50 UT.

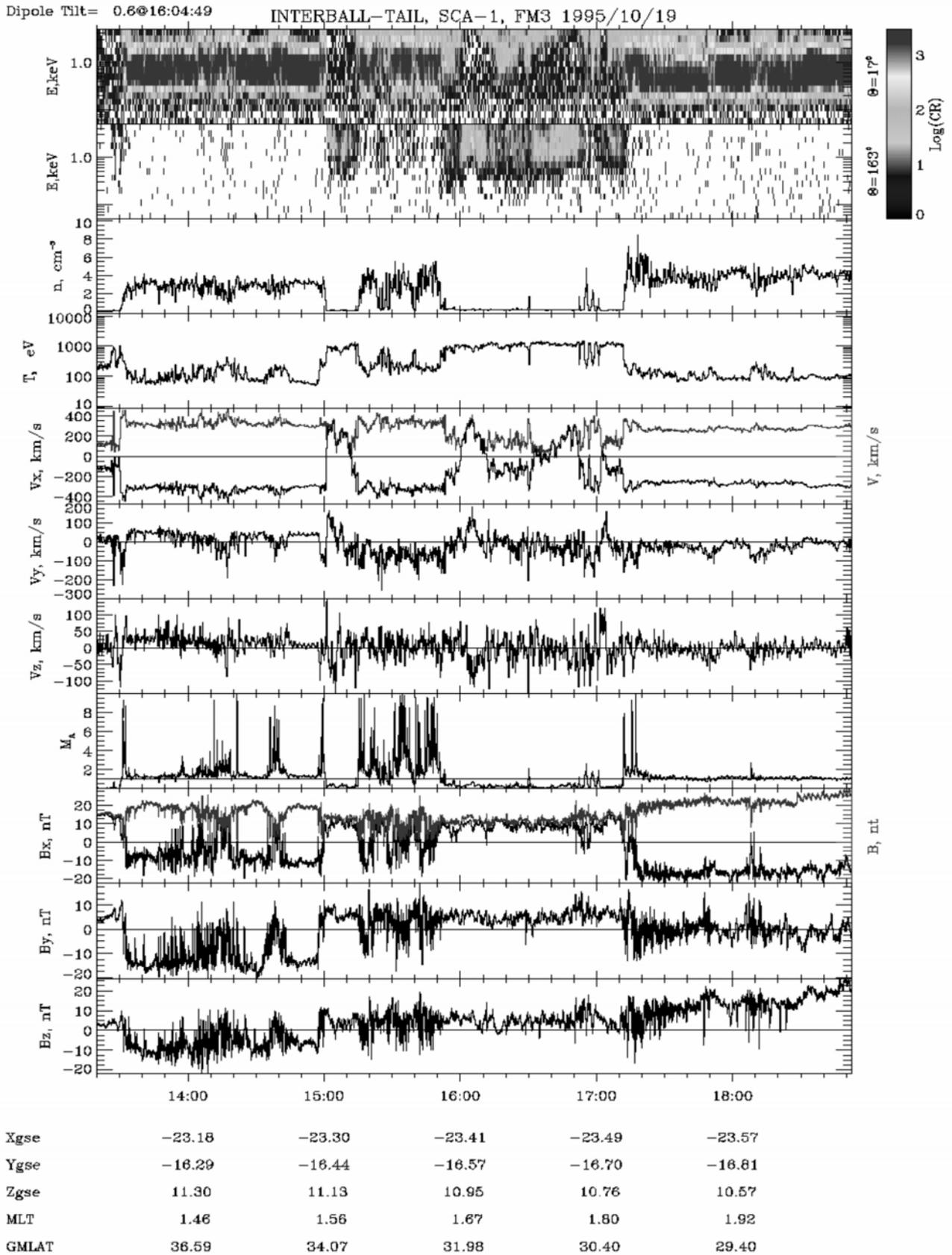


Рис. 2. Обзор данных ионов и магнитного поля, сеанс 19 октября 1995 г. Временные спектры энергии от 50 эВ/Q–5 кэВ/Q для солнечного и антисолнечного детектора анализатора СКА-1, с соответствующими данными магнитного поля.

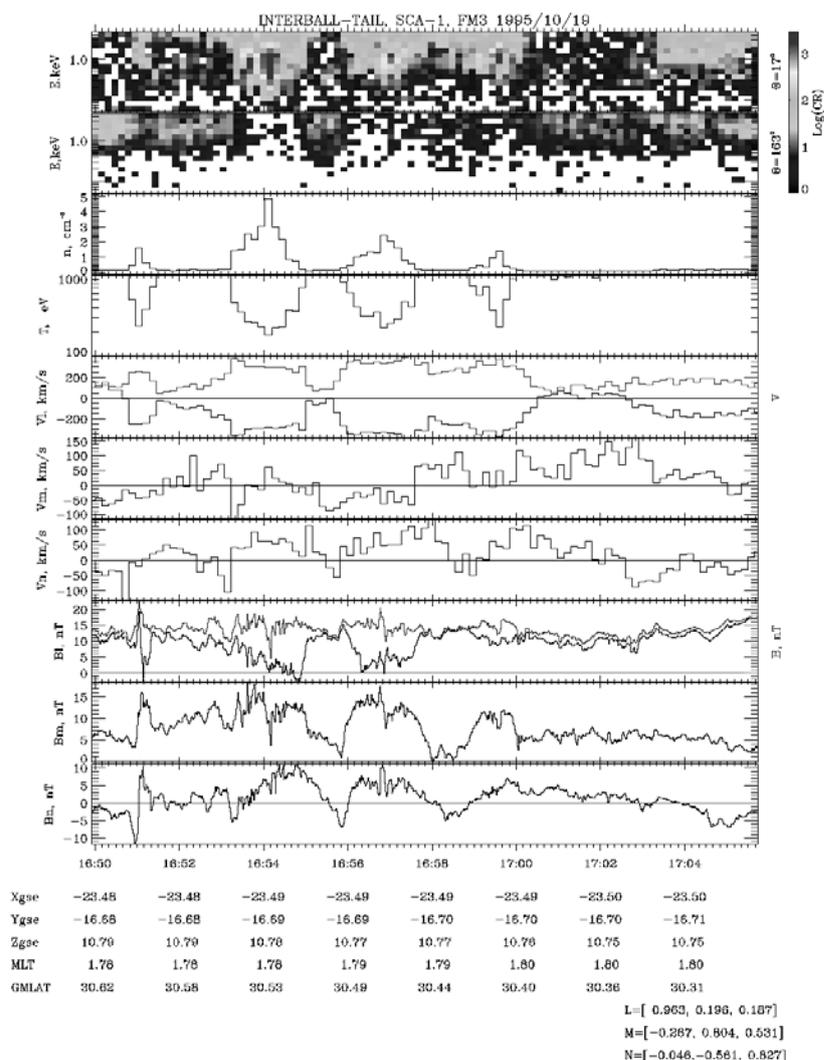


Рис. 3. Квазипериодические всплески плотной плазмы. 19 октября 1995 г. 16:40-17:05 UT. Компоненты скорости плазмы и магнитного поля в координатах lmn.

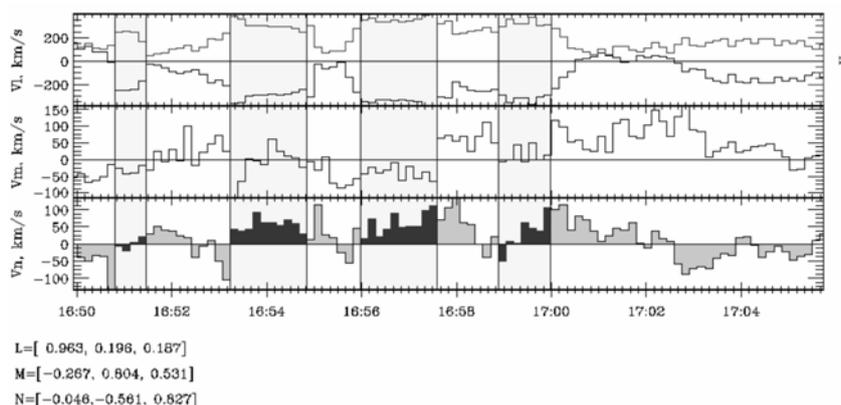


Рис. 4. Компоненты скорости плазмы. lmn-система координат.

первом и последнем случае (рис. 4) нормальная компонента скорости поменяла знак с минуса на плюс, что соответствует нашему представлению о колебании магнитопаузы. Во втором и третьем всплеске смены знака компоненты скорости не наблюдается.

Магнитное пересоединение считается основным процессом превращения энергии, происходящим во всех космических объектах, которые обладают магнитным полем. Наблюдаемым результатом пересое-

единения является нагрев и ускорение заряженных частиц. Теория предсказывает ряд признаков, которые указывают на наличие магнитного пересоединения. При пересечении X-линии наблюдаются смена знака B_z -компоненты магнитного поля и изменение направления движения потока плазмы, нагретой и ускоренной в результате пересоединения, что мы и видим в нашем случае. На увеличенном кадре события (рис. 5) представлены временные спектры энергии ионов по измерениям солнечного и анти-

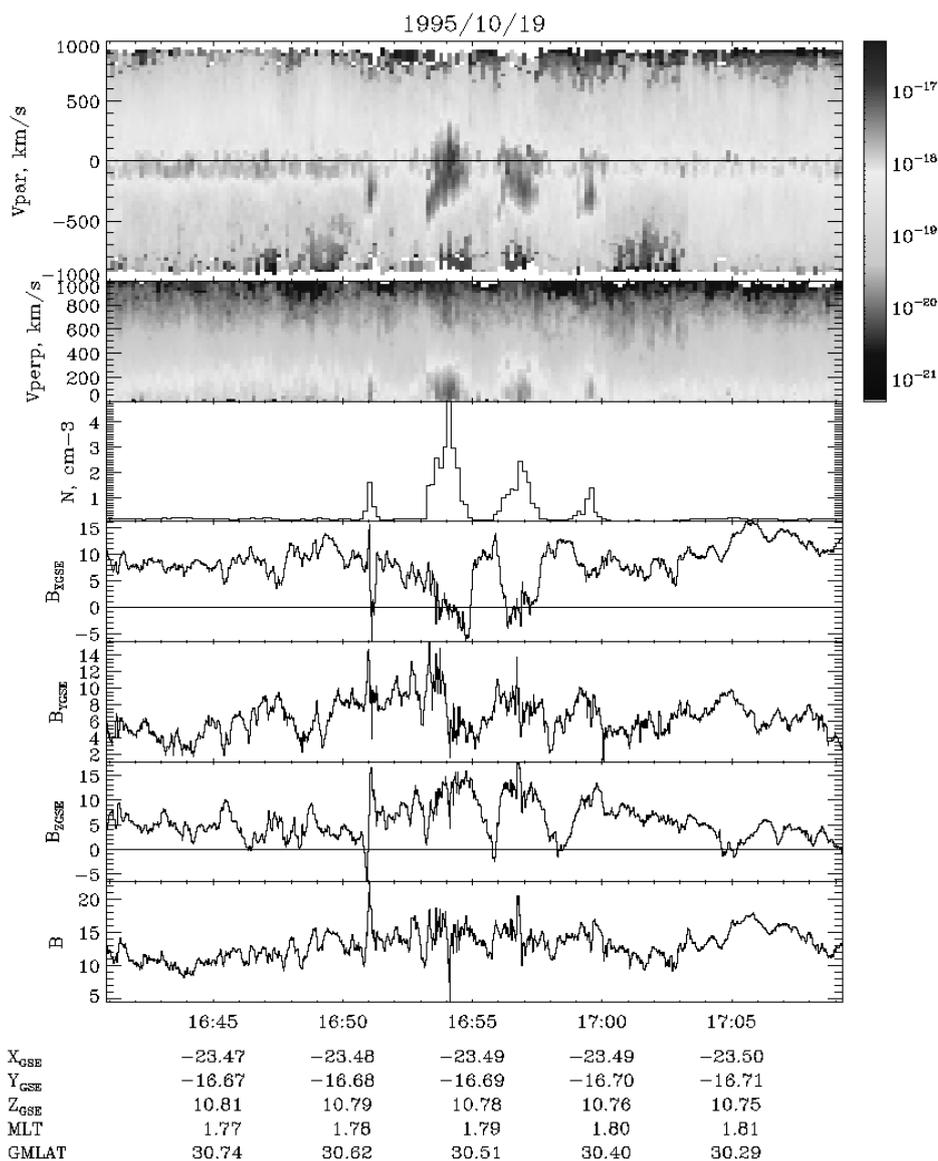


Рис. 5. Квазипериодические всплески плотной плазмы. 19 октября 1995 г. 16:40-17:05 UT. Компоненты скорости плазмы и магнитного поля в координатах GSE.

солнечного детектора СКА-1, концентрация и температура ионов, компоненты скорости плазмы и магнитного поля в системе координат GSE. Видно, что B_z -компонента в первых трех всплесках меняет знак, а поток ионов во всех обсуждаемых событиях нагрет и ускорен по сравнению с обтекающим потоком. То, что плазма течет против направления магнитного поля, является указанием на ввод плазмы в магнитосферу из обтекающего потока. Очевидно, что магнитное пересоединение трудно наблюдать экспериментально, особенно если измерения ведутся с помощью одного космического аппарата.

Наиболее вероятным объяснением наблюдаемых всплесков является конвекция силовых трубок из области ввода плазмы в магнитные силовые трубки хвоста. Для проверки этой возможности мы рассчитали направление движения системы де Хоффмана-Теллера для каждого из событий. Результаты расчета показаны на рис. 6 и в таблице. Видно, что направления движения для всех четырех случаев при-

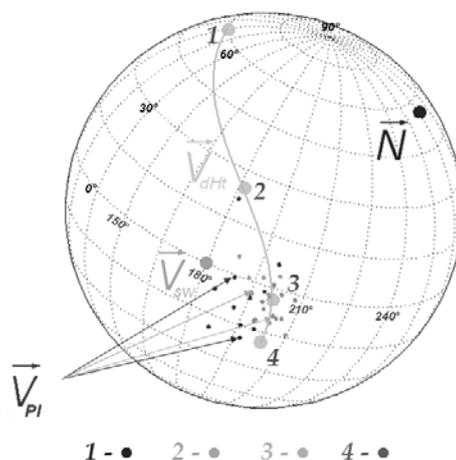


Рис. 6. Компоненты и величина скорости де Хоффмана-Теллера на сфере полярных координат GSE. N - нормаль к магнитопаузе; V_{sw} - направление вектора скорости солнечного ветра; V_{pl} - скорость плазмы в всплесках.

Таблица
Компоненты и величина скорости де Хоффмана–Теллера
в координатах GSE.

	$\langle V_{dhtX} \rangle$	$\langle V_{dhtY} \rangle$	$\langle V_{dhtZ} \rangle$	$ \langle V_{dht} \rangle $
1	-64.2	211	385.9	444.48
2	-290.2	-9.6	135.1	320.25
3	-322.5	-129.9	-21.6	348.35
4	-399.8	-175.4	-148.1	461.02

близительно находятся в плоскости, перпендикулярной нормали к магнитопаузе, и при этом систематически поворачиваются в этой плоскости.

Заключение

Для четырех квазипериодических всплесков плотной плазмы, наблюдаемых в северной доле хвоста магнитосферы, были выбраны два возможных сценария:

1. Всплески плотной плазмы наблюдались вследствие колебания магнитопаузы, связанного с изменением параметра солнечного ветра.
2. Перемещение магнитных доменов плазмы.

Распределение скоростей плазмы во всплесках специфично для плазмы обтекающего потока, вошедшей внутрь магнитосферы вдоль открытых силовых линий магнитного поля и ускоренной внутри открытых магнитных трубок. Это дает основание полагать, что наблюдаемые нами всплески, скорее всего, есть результат магнитного пересоединения, нежели результат колебания магнитопаузы.

Автор признателен О.Л. Вайсбергу и Л.А. Аванову за сотрудничество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kivelson M.G., Russel C.T. // Introduction to Space Physics. 1995. 568 с.
2. Priest E., Forbes T. // Magnetic Reconnection MHD Theory and Applications. 2000. 616 с.

Институт космических исследований РАН, Москва