



## 1. СТРОЕНИЕ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Изучением физических свойств атмосферы Земли занимаются Институт солнечно-земной физики (г. Иркутск - высоты более 100 км) с помощью радиофизических методов и Институт оптики атмосферы СО РАН (г. Москва - высоты менее 100 км) с помощью оптических методов, а также учреждения Госкомгидромета. В результате объединённых усилий к настоящему моменту установлена общая схема взаимодействия между Солнцем и атмосферой Земли. Основная её суть: Земля "живёт" в нестабильной "атмосфере" Солнца, которое электрическим способом воздействует на Землю, в том числе и на нейтральную атмосферу. В настоящее время проводится поиск конкретных механизмов передачи солнечной энергии в ту или иную часть атмосферы. Сложность задачи состоит в том, что передача энергии по линии *ионосфера – тропосфера – земная кора – ядро* происходит не всегда напрямую, а зачастую опосредованно по некоторым замкнутым электрическим контурам. Например, экспериментально установлено, что "солнечная постоянная" – прямое солнечное излучение на поверхности Земли последнее время снижается: незаметно для людей, но существенно для физических процессов. В частности, некоторые слои в атмосфере уже испытывают дефицит солнечной радиации. Причина кроется в уменьшении прозрачности атмосферы и увеличении её поглощательной способности.

Основными источниками электромагнитных полей Солнечной системы считаются: Солнце (максимальный источник с напряжённостью магнитного поля на поверхности до 0,1 Тл), Юпитер (второй по интенсивности – 0,4 мТл) и Земля (третий источник – 0,03 мТл), все остальные на несколько порядков слабее. Уникальность Земли состоит в том, что удельная намагниченность на единицу массы является самой максимальной в Солнечной системе. Причём этот "летающий" высокочувствительный "магнит" постоянно находится под воздействием внешних физических факторов: межпланетного магнитного поля, ионизирующего излучения, неионизирующего электромагнитного излучения.

### 1.1. МАГНИТОСФЕРА СОЛНЦА

Солнце представляет собой газовый шар с диаметром 1,392 млн км и массой  $1,989 \cdot 10^{30}$  кг, удалённый от Земли на среднее расстояние 149,6 млн км. Солнце состоит из гелиевого ядра с температурой в центре 15 млн К и окружающих его менее плотных лучистой и конвективных водородных зон с меньшей температурой. Основные вещества – водород (около 71 %) и гелий (около 27 %), остальные 2 % приходятся на более тяжёлые элементы: углерод, азот, кислород и металлы.



## АТМОСФЕРА СОЛНЦА

*Фотосфера.* Солнце аналогично Земле окружено атмосферой, состоящей из трёх слоёв: фотосферы, хромосферы, короны. *Фотосфера* имеет высоту 300 км и состоит из ионизированной плазмы со средней температурой 5800 К и плотностью, аналогичной земной стратосфере. В верхнем слое фотосферы происходит процесс образования отрицательно заряженных ионов водорода (протон и два электрона), в результате которого формируется большая часть видимого спектра. Именно излучение этого слоя и фиксируется как внешняя граница Солнца. Самое известное солнечное явление – *пятна* – образуются в фотосфере Солнца. При усилении солнечной активности в локальных областях Солнца над конвективными зонами происходит многократное увеличение магнитного поля, которое начинает препятствовать выходу плазмы из фотосферы. В результате происходит торможение и охлаждение плазмы фотосферы на 1500 К, яркость пятна падает в 10 раз и на фоне фотосферы оно воспринимается тёмным. Наблюдаемые в фотосфере пятна имеют размеры до 0,006 видимой поверхности Солнца, диаметр до 185 тыс км и образуют иногда целые группы. Большие группы пятен могут создавать на несколько дней ослабление радиации на  $\approx 0,3 \%$ , понижая солнечную постоянную на  $\approx 4 \text{ Вт/м}^2$ .

*Хромосфера* имеет протяжённость 10 ... 15 тыс. км и состоит из ионизированной плазмы ускоренной и разогретой до 12 ... 18 тыс. К с помощью магнитных полей, формирующихся в конвективной зоне Солнца. Наблюдается в период полных затмений в виде красно-фиолетовых "фонтанчиков", включая широко известные *протуберанцы*. Второе известное образование – *хромосферные вспышки*: они возникают при резких нестационарных колебаниях магнитного поля в области пятен, действующих на хромосферу как "магнитные пушки". При этом одновременно протекают несколько характерных процессов: 1) хромосферная плазма ускоряется до 1000 км/с; 2) формируются высокоэнергетические потоки плазмы с энергией  $10^6 \dots 10^9$  эВ (называемые *солнечным космическим излучением* – СКИ), достигающие орбиты Земли за 10 ... 15 мин; 3) возрастает в несколько раз электромагнитное излучение в жёстком ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне.

*Корона* – это внешняя часть атмосферы Солнца, простирающаяся на несколько солнечных радиусов. Состоит из высокоионизированной солнечной плазмы, ускоренной (протоны до 100 км/с, электроны до 4000 км/с) и разогретой до 1 ... 2 млн градусов. Видна в период затмений в виде белой лучистой структуры: в период максимума солнечной активности имеет лучи по всему диаметру, в период минимума – только в экваториальной плоскости. Постепенно расширяясь и затормаживаясь, корона преобразуется в *солнечный ветер*: разреженный поток низко энергетической солнечной плазмы с энергией частиц менее  $10^6$  эВ. Средняя скорость движения плазмы на орбите Земли составляет 400 ... 500 км/с, а в скоростных потоках достигает значения 1000 км/с. Соответственно в первом случае плазма долетает до Земли за 4,5 суток, а во втором случае – около 2 суток. Состоит из ядер водорода (протоны), гелия (альфа-частицы) и электронов (бета-частицы). Солнечный ветер распространяется за орбиты Юпитера и Сатурна, формируя так называемую *гелиосферу*. Фактически Земля и большинство планет "живёт" в солнечной короне, через активность которой Солнце влияет на все основные планетарные процессы.

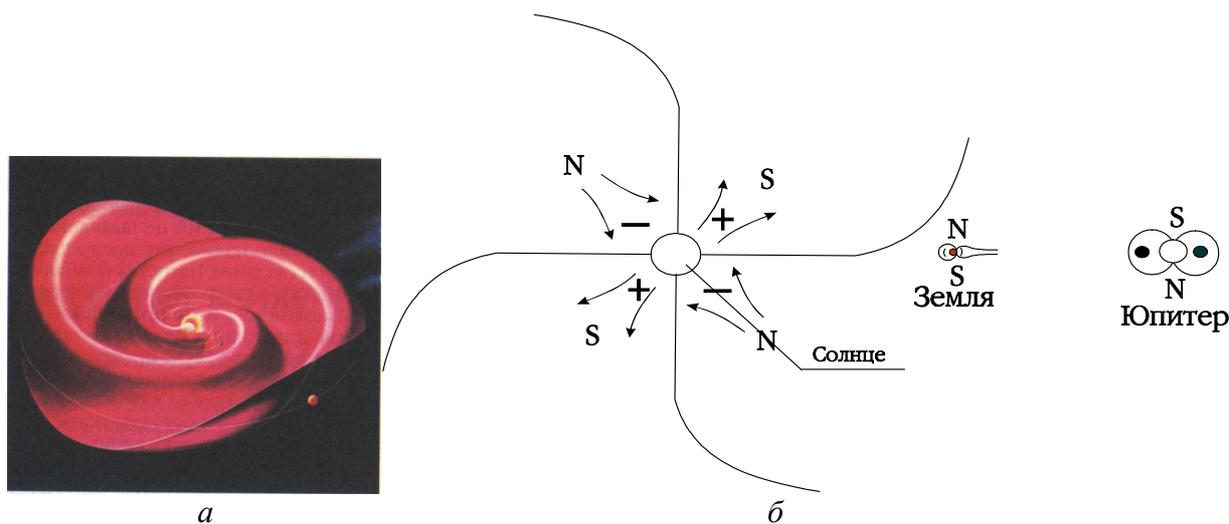


Рис. 1.1. Схема основных источников электромагнитных полей Солнечной системы: *а* – трёхмерная схема силовых линий магнитного поля Солнца; *б* – общая схема источников электромагнитных полей Солнечной системы

## МАГНИТОСФЕРА СОЛНЦА

*Магнитное поле* Солнца имеет свойства магнитного монополя – силовые линии солнечного магнитного поля разомкнуты в экваториальной плоскости и вытягиваются в межпланетное пространство, искривляясь по спирали. Напряжённость магнитного поля достигает в областях солнечных вспышек долей тесла, т. е. в  $10^4$  раз большей напряжённости магнитного поля Земли. Поле обладает следующими свойствами:



1) поле является 4-х секторным (рис. 1.1), чередующимся по знакам, т.е. Солнце имеет по два северных ( $N$ ) и южных полюса ( $S$ );

2) магнитные полюса Солнца вращаются с некоторой угловой скоростью вокруг центра (период обращения 27 суток);

3) в результате вращения магнитного поля и "вмороженной" в него солнечной плазмы, а также и расширения его в пространстве силовые линии плавно искривляются и образуют трёхмерное "веретено" (рис. 1.2). В горизонтальной плоскости эклиптики (рис. 1.1, табл. 1.1) в пределах ближайших планет силовые линии "веретена" имеют вид архимедовой спирали: причём на орбите Земли они наклонены на угол  $50 \dots 60^\circ$ , а на орбите Марса на  $90^\circ$  (по касательной). В вертикальной плоскости "веретена" радиус спирали уменьшается, а угол наклона силовых линий ещё больше отстаёт.

**Таблица 1.1**

**Параметры межпланетного магнитного поля и солнечного ветра**

Характеристика	Небесное тело									
	Меркурий	Венера	Земля	Луна	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун	Плутон
Радиус, тыс.км.	2,42	6,08	6,38	1,74	3,38	71,35	60,40	2 23,8	22,20	3,00
Расстояние от Солнца, а. е.	0,39	0,72	1,0	1,0	1,52	5,2	9,5	19,2	30,0	39,4
Дипольный момент, Мп/Мз		$2 \cdot 10^{-3}$	1	$1 \cdot 10$	$2 \cdot 10$	$4 \cdot 10^5$				
Скорость солнечного ветра, км/с	300	350	400	400	400	400	400	400	400	400
Плотность протонов, $\text{см}^{-3}$	34,0	9,5	5,0	5,0	2,1	0,19	0,005 5	0,01 8	0,006	0,003
Средняя температура протонов $T$ , 10 К.	6,9	4,7	4,0	4,0	3,2	1,8	1,3	0,92	0,73	0,64
Магнитное поле, нТл	24,7	8,26	5,00	5,00	3,12	1,72	0,39	0,19	0,12	0,09
Угол архимедовой спирали, град.	30	42	47	47	59	80	84	87	88	89
Диаметр магнито-паузы, тыс.км.	4,84	30,4	268, 0	1,74	18,0	34000	120,8	47,6	44,4	6,0

4) при увеличении солнечной активности происходят следующие изменения в данной схеме: а) вырастает напряженность магнитного поля, и оно распространяется за Марс; б) магнитное поле Солнца становится двухсекторным с одним северным и одним южным полюсом;



5) "границы" секторов межпланетного магнитного поля имеют реальные физические газодинамические плазменные разрывы. Причём на стыке секторов наблюдается прямо противоположное воздействие на элементарные частицы и процессы. Поэтому при попадании Земли на границу секторов возникает множество нестабильных явлений и процессов в магнитосфере, атмосфере и биосфере Земли.

**Динамические состояния магнитосферы Солнца.** Магнитное поле Солнца образует в окрестностях солнечной системы магнитосферу Солнца, качественно повторяющую земную, но значительно более масштабную. В основе образования магнитосферы Солнца лежат простые физические закономерности взаимодействия движущихся заряженных частиц с магнитным полем. Солнечный магнит – "веретено" – вращается вокруг центра галактики с периодом обращения 220 млн лет, имея линейную (абсолютную) скорость около 600 км/с. Периодически по трассе своего полёта Солнце попадает в "облака" межзвездной галактической плазмы с различными физическими свойствами: составом и плотностью плазмы, наличием – отсутствием магнитного заряда. В итоге на наветренной стороне на удалении 60...100 радиусов солнечной системы образуется "ударная" волна торможения галактической плазмы в магнитном поле Солнца. Наоборот, на подветренной стороне Солнечной системы на удалении тысяч радиусов имеется плазменный хвост. При увеличении плотности галактической плазмы магнитосфера Солнца временно "ужимается", а хвост увеличивается, при уменьшении плотности плазмы, наоборот, объём магнитосферы увеличивается. Высокоэнергетическая часть галактической плазмы имеет возможность проникать внутрь магнитосферы Солнца и называется *галактическим космическим излучением* (ГКИ).

Однако наряду с внешними имеются и внутренние причины нестабильности магнитосферы Солнца. Магнитное поле Солнца изменяется пропорционально солнечной активности: в среднем один раз в 11,3 лет, реально через 7 ... 17 лет. Суть их состоит в том, что Юпитер вносит своим магнитным полем периодическое возмущение в магнитосферу Солнца, зависящее от положения Юпитера (на наветренной или подветренной стороне магнитосферы) и состояния ГКИ. В частности, при увеличении солнечной активности фиксируется рост межпланетного магнитного поля, что приводит к падению плотности потока ГКИ. С уменьшением солнечной активности экранирующее действие межпланетного магнитного поля снижается, а плотность ГКИ возрастает.

Достаточно красивой иллюстрацией этого служат циклические климатические изменения на Земле. В период минимума солнечной активности при "обогреве"» Земли стабильным потоком ГКИ наблюдается более консервативная погода с редкими и стабильными циклонами и антициклонами. Напротив, в годы максимума солнечной активности, когда влияние ГКИ осла-

бевают, на первый план в высокоэнергетическом "обогреве" Земли выходит СКИ – нестабильные потоки солнечного космического излучения, пропорциональные количеству вспышек (до 250 штук в месяц). Как следствие погода переходит в состояние перманентных катаклизмов: частота возникновения циклонов и антициклонов увеличивается, они накладываются друг на друга, и в итоге одна непогода сменяется другой.

## 1.2. СТРОЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

Земля по форме близка к эллипсоиду вращения с экваториальным радиусом 6378 км, полярным радиусом 6356 км и со сжатием  $1/298 = 0,00335$ . Площадь её поверхности на уровне моря равна  $5 \cdot 10^8 \text{ км}^2$ , а период вращения около оси – 23 ч 56 мин 4,1 с и вокруг Солнца – 365,2422 сут. (тропический год).

### МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Магнитное поле Земли образуется в основном за счёт конвективных токов жидкой магмы в ядре планеты. Оно имеет дипольный характер: положительный полюс расположен на севере, отрицательный – на юге, силовые

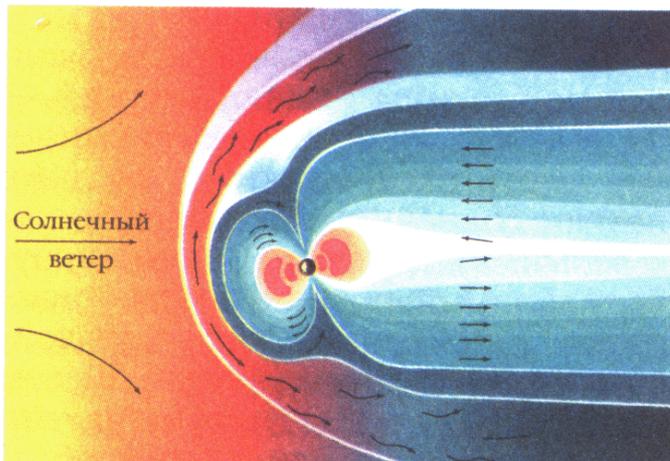


Рис. 1.2. Схема магнитосферы Земли

линии поля замкнуты вблизи экватора. Однако дипольный характер сохраняется только во внутренней части магнитосферы. Внешняя часть магнитосферы (рис. 1.2) под давлением солнечного ветра деформируется (сжимается на дневной и вытягивается на ночной стороне) и разрывается, создавая магнитный "хвост" на удалении тысяч радиусов Земли. Здесь встречаются силовые линии, уходящие в хвост, и силовые линии, идущие из хвоста к Земле и нейтрализующие друг друга.

Граница магнитосферы называется магнитопаузой. На дневной стороне магнитопауза удалена всего на 10 радиусов Земли, а в период магнитных бурь и того меньше. Напряжённость магнитного поля на поверхности Земли составляет 0,024 ... 0,068 мТл. Магнитное поле Земли имеет две аномалии: восточно-сибирскую (над Якутией) и южно-американскую (над Бразилией). Они представляют собой два дополнительных "слабых полюса" и фиксируются в виде всплесков магнитного поля. Более мощная вос-



точно-сибирская аномалия формирует в магнитосфере Земли магнитную "антенну", вытянутую на 5 тыс. км над поверхностью Земли. Обе аномалии достаточно сильно деформируют нижние слои магнитосферы Земли.

## СХЕМА МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

В результате взаимодействия солнечной плазмы с магнитным полем Земли образуется динамически нестабильная структура, называемая магнитосферой Земли (рис. 1.3). Общая схема взаимодействия плазмы и магнитного поля Земли состоит в том, что магнитное поле создает условия для торможения, сепарации или отражения частиц солнечной плазмы, т.е. является многошелонным защитным кольцом Земли от солнечной и межзвездной радиации. Условно магнитосфера Земли разделяется на три области с различными физическими свойствами. *Внешняя часть* обладает переходными свойствами от невозмущенного межпланетного поля и солнечного ветра к магнитосфере. *Внутренняя часть* собственно и является магнитосферой. *Атмосферная часть* – переходная область, формируемая магнитосферой при соприкосновении с атмосферой Земли. Каждая из областей состоит из устойчивых образований (рис. 1.3).

**Внешняя часть магнитосферы** представляет собой дальнейшее возмущение, вносимое магнитосферой в однородный поток набегающего солнечного ветра. На схеме рис. 1.3 к ней отнесены следующие элементы:

1 – солнечный ветер – невозмущенный поток электронов, протонов, ядер гелия и других химических элементов, испускаемых Солнцем и достигающих Землю через 4,5 суток в спокойном состоянии и через 2 суток при солнечных вспышках;

2 – ударная волна – уплотнение солнечного ветра, образующееся в результате взаимодействия с магнитосферой на солнечной стороне Земли в спокойном состоянии на удалении около 100 тыс. км;

3 – внешний плазменный слой. Образуется в результате отражения и улавливания слабых (слабоэнергетичных) электронов, протонов, которые концентрируются в виде небольшого слоя, разорванного на ночной стороне Земли (первая «ловушка» радиационной защиты Земли);

9 – магнитный хвост Земли. Это разорванные силовые линии магнитного поля, удаленные в ночную наветренную сторону Земли;

10 – плазменный хвост Земли - токи электронов и протонов от Земли и в сторону Земли, удаленные на расстояние более 1000 радиусов Земли.

**Внутренняя часть магнитосферы** представляет собой совокупность устойчивых образований плазмы, формируемых магнитным полем Земли в ближнем космическом пространстве на удалении до 50 тыс. км. На схеме рис. 1.4 к ней отнесены следующие элементы:

4 – плазмопауза. В данной области концентрация плазмы на 1-2 порядка ниже, чем в солнечном ветре, а магнитные силовые линии магнитосферы являются неразорванными;

5 – электронный (внешний) радиационный пояс, – образуется на расстоянии от 10 до 50 тыс. км за счет улавливания и удержания электронов со средней энергией, представляет собой кольцевой тороидальный поток электронов, движущихся с востока на запад. Максимальная плотность электронов находится на расстоянии 22 тыс.км (вторая "ловушка" радиационной защиты Земли);

6 – протонный (внутренний) радиационный пояс, – образуется за счет улавливания и удержания протонов средней энергии и электронов высокой энергии на расстоянии от 1 до 5 тыс.км. Представляет собой кольцевой тороидальный ток во встречных направлениях электронов и протонов. Максимальная плотность частиц наблюдается на расстоянии 3 тыс. км (третья "ловушка" радиационной защиты Земли).

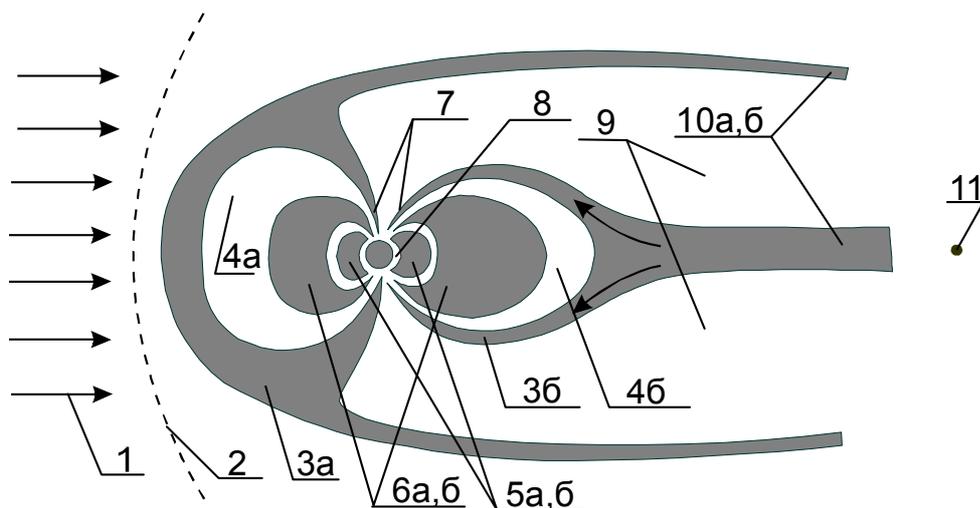


Рис. 1.3. Схема магнитного поля и радиационных поясов Земли: *a* – “дневная” сторона Земли (обращенная к Солнцу), *б* – “ночная”; 1 – солнечный ветер (СКИ), 2 – фронт ударной волны, 3 – внешний плазменный слой (магнитопауза), 4 – магнитосфера Земли (плазмопауза), 5 – внешний радиационный пояс (электронный – *e*), 6 – внутренний радиационный пояс (протонный – *n*), 7 – полярные каспы, 8 – ионосфера, 9 – силовые линии магнитосферного “хвоста”, 10 – плазменный “хвост” Земли, 11 – Луна в полнолунии на удалении 300 тыс. км (элементы 5, 6 часто называют плазмосферой или кольцевым то-

**Атмосферная часть магнитосферы** представляет собой переходные структуры, формируемые магнитосферой при столкновении остатков заторможенного солнечного ветра и ГКИ с верхними разреженными слоями атмосферы Земли. На схеме рис. 1.3 к ней отнесены следующие элементы:

7 – полярные каспы – конусные воронки с углом раскрытия 7...8° и диаметром на поверхности Земли от 100 до 300 км. Представляют собой ток электронов и протонов, выпадающих на поверхность Земли (в атмосферу)



вдоль силовых линий магнитного поля, входящих в земную поверхность. Наиболее известные явления, происходящие в каспах – *полярные сияния* – выпадение в атмосферу потоков плазмы от солнечных вспышек, "отклонённые" экваториальным магнитным полем и "соскользнувшие" по силовым линиям к магнитным полюсам;

8 – ионосфера, образуется на расстоянии от 100 до 1000 км в результате бомбардирования молекул воздуха, поднимающихся выше 100 км, "остатками" электронов и протонов высокой энергии, прошедших через три магнитные "ловушки". Представляет собой заряженные потоки электронов, протонов, ядер химических элементов и ионизированных молекул воздуха, перемещающихся магнитным полем Земли в широтных и долготных направлениях (четвёртая "ловушка" радиационной защиты Земли).

### 1.3. ДИНАМИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В МАГНИТОСФЕРЕ

*Воздействие магнитосферы на частицы плазмы.* При столкновении частиц солнечной плазмы с магнитным полем Земли наблюдаются многочисленные физические процессы взаимодействия заряженных частиц с магнитным полем. Магнитное поле, направленное вдоль скорости заряженной частицы, не влияет на её движение. Магнитное поле, направленное поперек скорости движения частицы, заставляет её "раскручиваться" вокруг силовой линии магнитного поля. Чем выше масса частицы, тем больше радиус вращения и меньше угловая скорость вращения. Энергия (скорость) частицы не влияет на угловую скорость вращения, но пропорционально увеличивает радиус вращения. При столкновении электронно-протонной солнечной плазмы с магнитным полем Земли электроны и протоны раскручиваются вокруг силовых линий, но в противоположных направлениях. Причем более легкие электроны начинают раскручиваться на большом удалении от Земли и имеют небольшой радиус вращения. Более тяжелые протоны начинают раскручиваться на низких орбитах, имеют большой радиус вращения и угловую скорость, почти в две тысячи раз меньшую, чем у электронов.

Картина взаимодействия плазмы с магнитным полем усложняется, если плазма движется под острым углом к силовым линиям. В этом случае наряду с высокочастотным вращением (поперечная составляющая) появляется низкочастотное скольжение по спирали вдоль силовой линии (продольная составляющая). Но и это не всё. По мере приближения к Земле и усиления магнитного поля происходит перераспределение составляющих: поперечная увеличивается за счет пропорционального уменьшения продольной. При падении продольной скорости до нуля частицы плазмы перестают двигаться к



Земле и даже впоследствии смещаются в сторону более слабого поля. В итоге часть плазмы попадает в "ловушку": отразившись от магнитного "зеркала" внизу, они запираются магнитной "пробкой" сверху.

**Воздействие радиационных поясов на магнитосферу Земли.** В результате магнитное поле Земли "работает" аналогично плазмотрону: в верхних слоях возникает электронный радиационный пояс с дрейфом частиц на восток, в нижних – формируется протонный радиационный пояс с дрейфом частиц на запад. В итоге в магнитосфере Земли оба радиационных пояса создают кольцевой электрический ток, направленный на запад. Последний по законам физики создаёт вокруг себя магнитное поле ощутимой для Земли величины. В частности, магнитное поле на поверхности Земли является суммой относительно стабильного магнитного поля, создаваемого магмой в ядре Земли, с нестабильным магнитным полем, создаваемым кольцевым электрическим током радиационных поясов. Причём векторы магнитных полей направлены в противоположные стороны: усиление тока в радиационных поясах уменьшает магнитное поле на поверхности Земли.

## ДИНАМИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ

На рис. 1.3 показана стационарная схема слоёв магнитосферы Земли. Однако в случае попадания Земли в зону потоков солнечной плазмы, выбрасываемой из хромосферных вспышек, происходит трансформация магнитосферы Земли. Эти явления связаны как с увеличением плотности и скорости солнечного ветра, так и "попаданием" в Землю "хвостов" протуберанцев с увеличенной плотностью СКИ. В основном выделяются характерные две формы динамического изменения магнитосферы.

**1. Магнитосферная буря.** Наблюдается в случае столкновения с магнитосферой Земли облака однородной солнечной плазмы. *Начальная фаза I:* ударная волна, идущая впереди облака солнечной плазмы, резко сжимает магнитосферу Земли. При этом на поверхности Земли фиксируется внезапное кратковременное увеличение магнитного поля. В продолжение нескольких часов магнитное поле Земли сохраняется большим, чем в спокойных условиях. *Фаза развития II* (главная фаза – около 10 часов): облако плазмы, пересекая магнитосферу, усиливает и раскручивает кольцевой ток радиационных поясов. Магнитное поле радиационных поясов направлено противоположно земному и вычитается из магнитного момента ядра планеты. На поверхности Земли фиксируется резкое уменьшение напряженности магнитного поля. Амплитуда колебания магнитной напряженности составляет диапазон 0,01 ... 1,0 мкТл. *Восстановительная фаза III:* после окончания прохождения плазмы внешнее воздействие на кольцевой ток радиационных поясов прекращается и они постепенно тормозятся до своего невозмущенного состоя-



ния. Магнитное поле на поверхности Земли постепенно восстанавливается до нормального значения 30 мкТл.

**2. Магнитосферная суббуря.** Наблюдается при столкновении с магнитосферой Земли намагниченного облака солнечной плазмы с магнитным моментом, противоположным земному полю. Сопровождается не только дестабилизацией, но и разрушением части магнитосферы Земли. Амплитуда колебания магнитной напряженности составляет диапазон 0,01 ... 3,0 мкТл. *Начальная фаза I* (зарождение, 1 ... 1,5 часа): сначала в результате сжатия магнитосферы регистрируется усиление магнитного поля. Однако за счёт проникновения части плазмы в кольцевой ток в последующем происходит снижение магнитного поля. Часть плазмы устремляется в полярные каспы, образуя полярные сияния. В заключение фазы в хвосте магнитосферы происходит разрыв части силовых линий, а полярные сияния исчезают (затишье перед суббурей). *Фаза развития II* (фаза взрыва): часть пришедшей от Солнца плазмы "прорывается" на теневой стороне во внутреннюю часть магнитосферы и проникает в радиационные пояса Земли. В итоге на ночной стороне происходит асимметричный впрыск плазмы в кольцевой ток, причём электроны начинают дрейфовать на восток, а протоны на запад. Часть плазмы устремляется в каспы, и восстанавливаются полярные сияния. В результате частичного "разрушения" внешней границы кольцевого тока радиационных поясов начинается постепенная перестройка магнитосферы, приводящая к долговременному увеличению магнитного поля на Земле. На поверхности Земли фиксируется волнообразное усиление магнитного поля по направлению от ночной к дневной стороне. *Восстановительная фаза III*: деформация кольцевого тока ослабляется за счёт "рассасывания" уловленной плазмы на дневную сторону. Пойманная в радиационные пояса плазма увеличивает плотность и массу кольцевого тока, восстанавливая его магнитное поле. "Залечив" раны после взрыва, кольцевой ток постепенно снижает "возбуждённое" магнитное поле Земли до спокойного состояния.