

Наблюдения магнитосферных волн, распространяющихся в направлении дрейфа электронов, с помощью Екатеринбургского радара

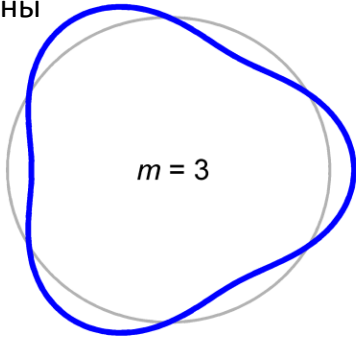
М.А. Челпанов, П.Н. Магер, Д.Ю. Климушкин, О.В. Магер

ИСЗФ
Иркутск

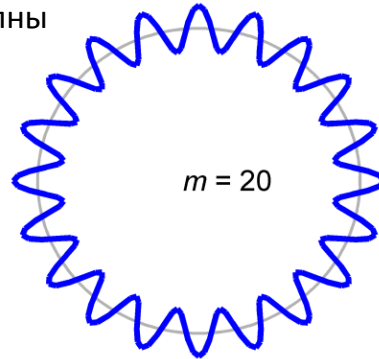


УНЧ-волны в МАГНИТОСФЕРЕ

Крупномасштабные в азимутальном направлении волны



Мелкомасштабные в азимутальном направлении волны



Экваториальная плоскость

- Тороидальные альфвеновские моды (малые m)

- Полоидальные альфвеновские моды (большие m)

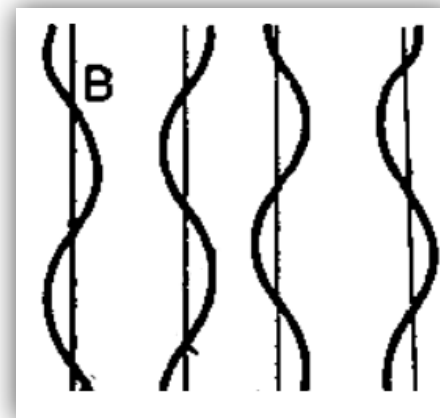
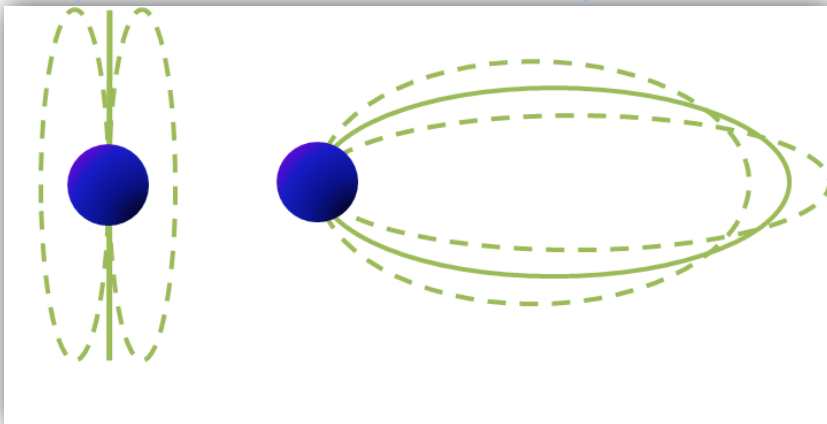
- Буревые компрессионные моды (большие m)

Дрейфово-компрессионная мода? ↖

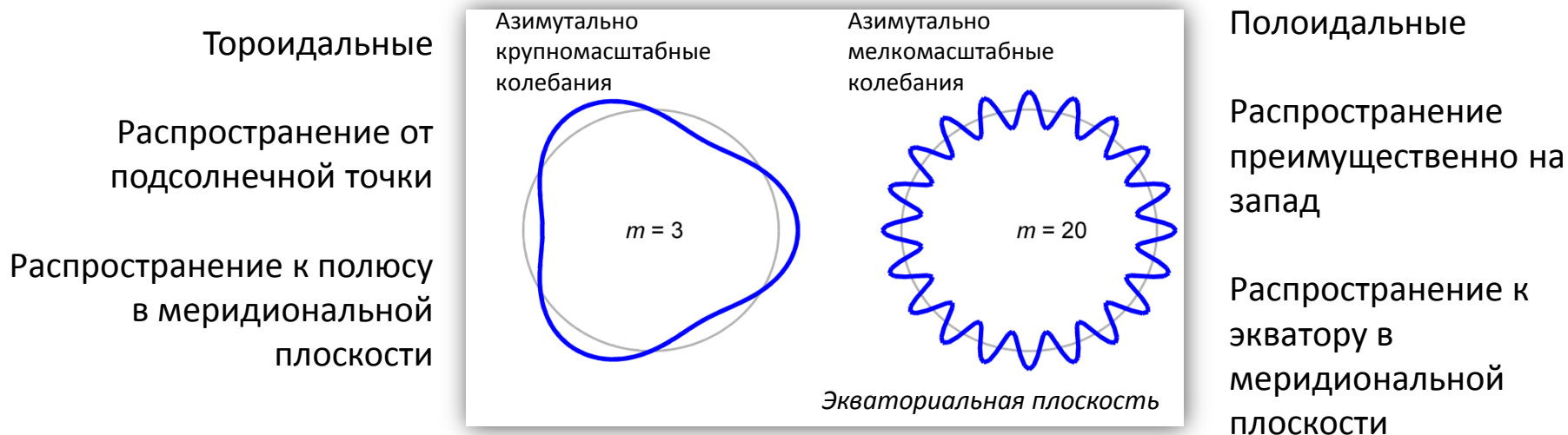
Тороидальные колебания

Полоидальные колебания

Компрессионные колебания



Волны с промежуточными значениями m



Волны с промежуточными значениями азимутального волнового числа m могут быть как продолжением спектра волн с большими m в область меньших значений m , так и наоборот:

- [Yeoman et al., 2010]: Полоидально поляризованы, распространение к экватору в меридиональной плоскости, $m=10$;
- [Hao et al., 2014]: Генерация ударной волной на магнитопаузе, $m = 14$.

ЕКАТЕРИНБУРГСКИЙ РАДАР

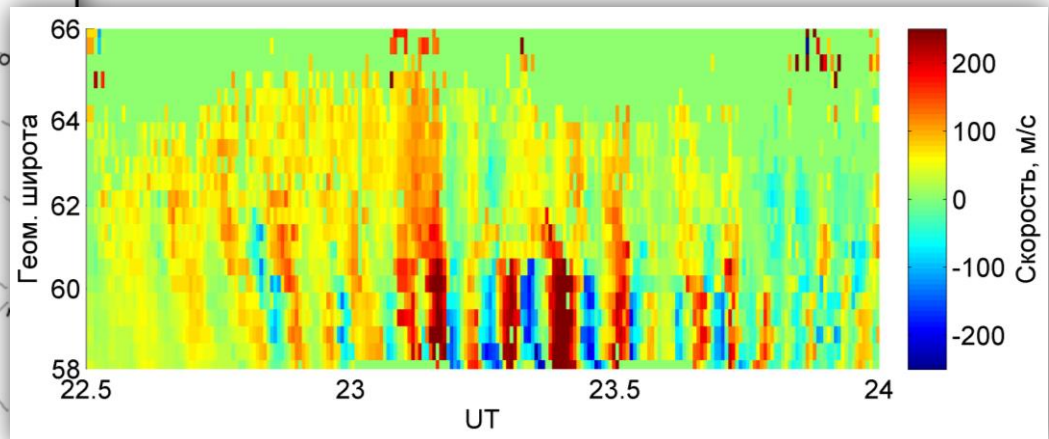
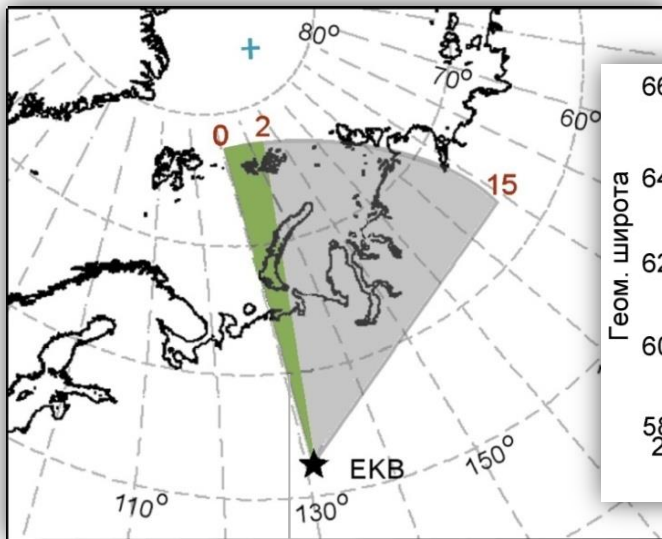
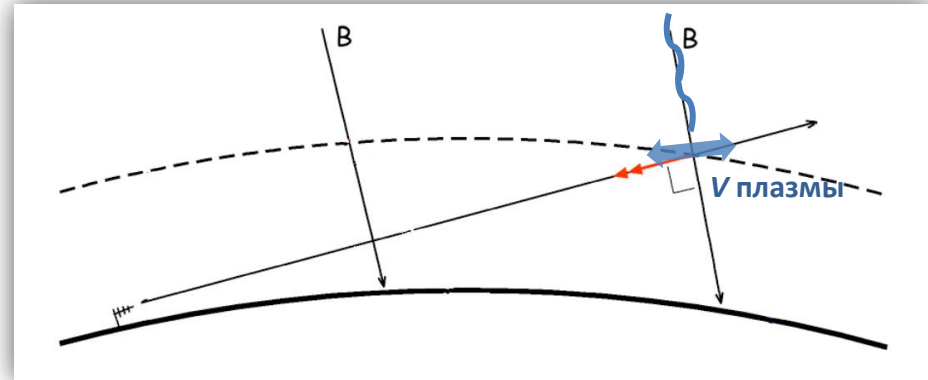
УНЧ-волны в магнитосфере





ExB дрейф мелкомасштабных
ионосферных неоднородностей

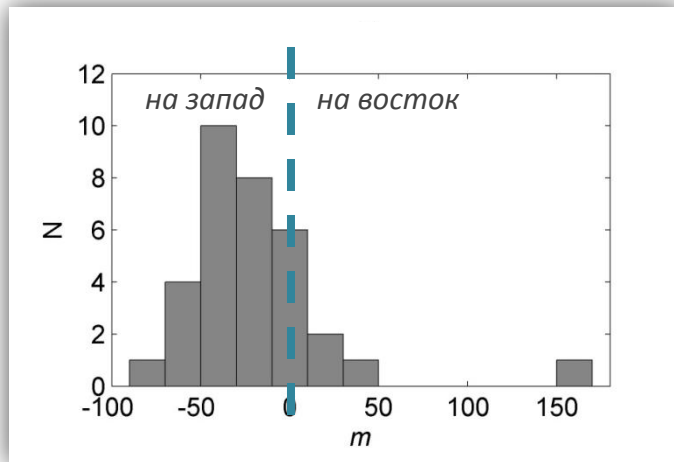


Колебания скорости плазмы



-  Лучи 0-2: 18-секундное разрешение
-  Лучи 3-15: стандартное 96-секундное разрешение

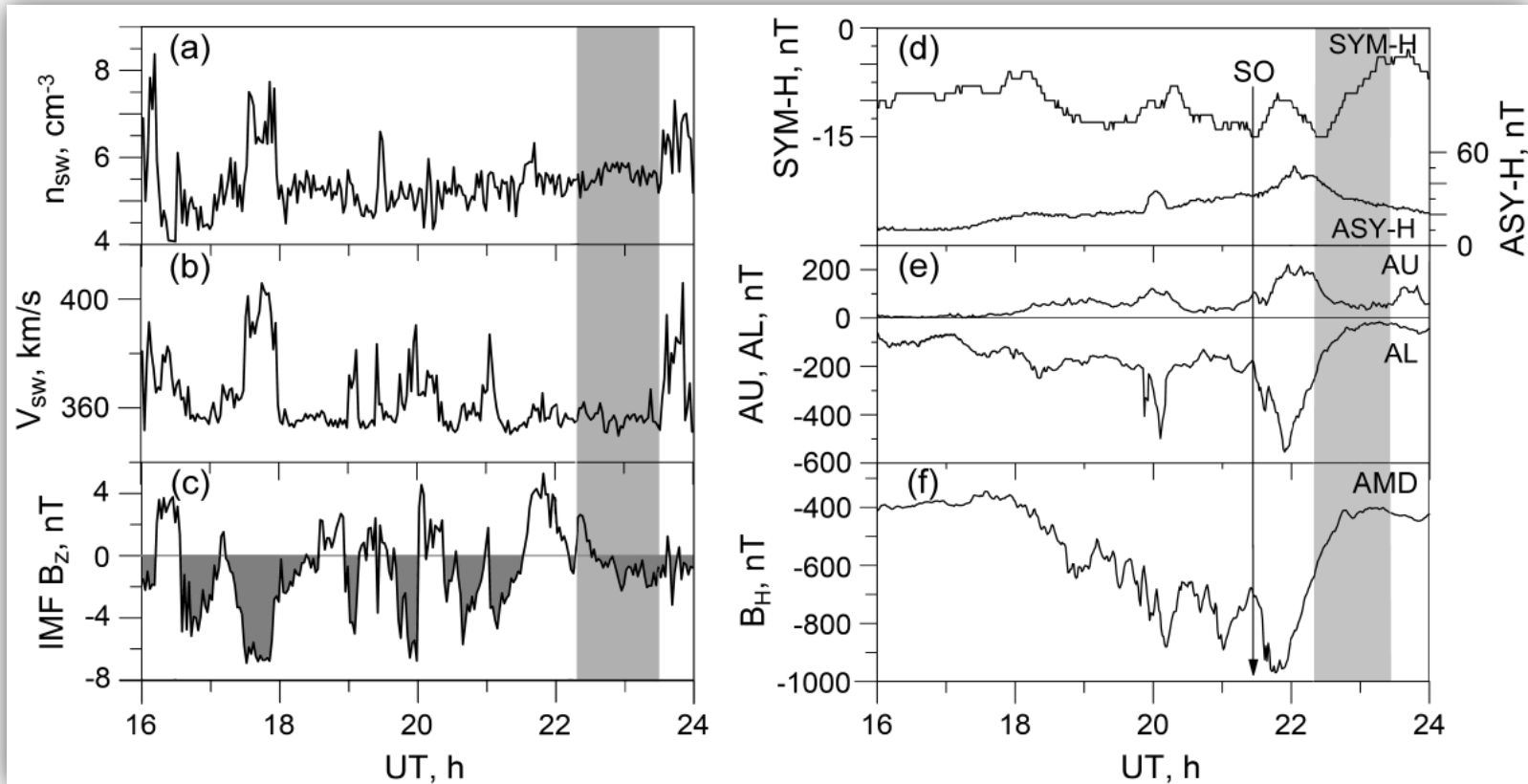
Волны с положительными m



Дата	Время UT	m	f
21.02.2014	0145–0215	4	3,0
18.04.2014	2100–2120	22	3,7
04.09.2014	2240–2300	25	4,8
17.09.2014	2020–2045	5	2,5
21.09.2014	2025–2050	27	3,0
19.10.2014	0245–0300	17	3,4
09.12.2014	2035–2055	37	3,3
09.12.2014	2020–2045	143	2,4
30.12.2014	2030–2100	6	3,4
14.03.2015	1950–2010	6	3,1
14.03.2015	2030–2050	2	2,1

- Время наблюдений январь 2014 г. — март 2015 г.
- Большинство азимутально мелкомасштабных волн распространяются на запад
- Около 13 % волн распространяются на восток — имеют положительные m

ГЕОМАГНИТНЫЕ УСЛОВИЯ



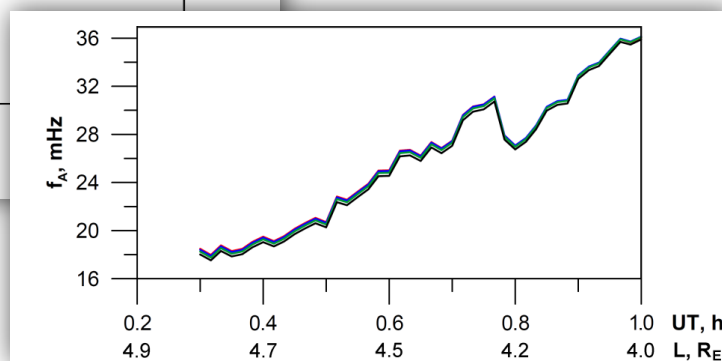
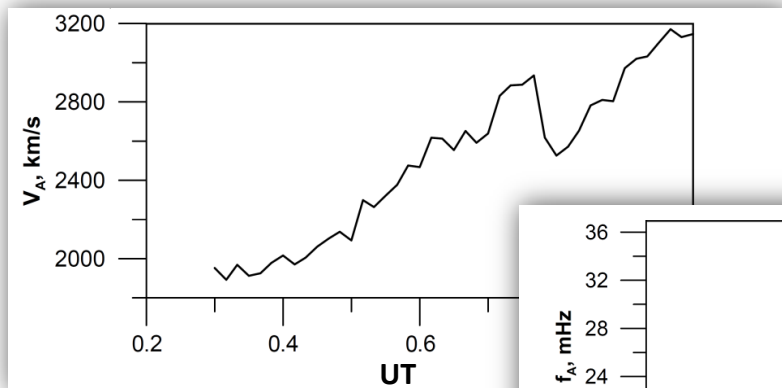
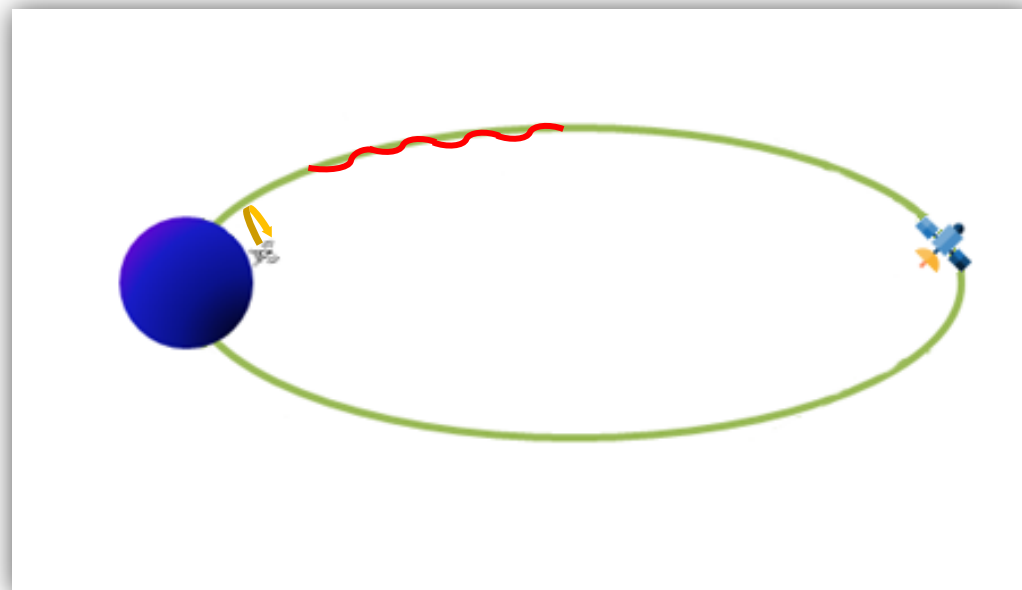
СРАВНЕНИЕ С ЧАСТОТАМИ АЛЬФВЕНОВСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН

Спутники

RBSP A,B THEMIS D,E
(Van Allen Probes)

Данные:

Плотность частиц ρ
Магнитное поле B



Альфвеновская скорость
вблизи спутника

$$V_A = \frac{B}{\sqrt{4\pi\rho}}$$

СРАВНЕНИЕ С ЧАСТОТАМИ АЛЬФВЕНОВСКИХ СТОЯЧИХ ВОЛН

Дата	Время UT	m	f	
21.02.2014	0145–0215	4	3,0	
18.04.2014	2100–2120	22	3,7	
04.09.2014	2240–2300	25	4,8	$f_A = 4,1$ мГц
17.09.2014	2020–2045	5	2,5	
21.09.2014	2025–2050	27	3,0	$f_A = 2,7$ мГц
19.10.2014	0245–0300	17	3,4	$f_A = 18$ мГц
09.12.2014	2035–2055	37	3,3	$f_A = 15$ мГц
09.12.2014	2020–2045	143	2,4	$f_A = 15$ мГц
30.12.2014	2030–2100	6	3,4	
14.03.2015	1950–2010	6	3,1	$f_A = 10$ мГц
14.03.2015	2030–2050	2	2,1	$f_A = 10$ мГц

Два случая: частота волны примерно равна частоте стоячей альфвеновской волны

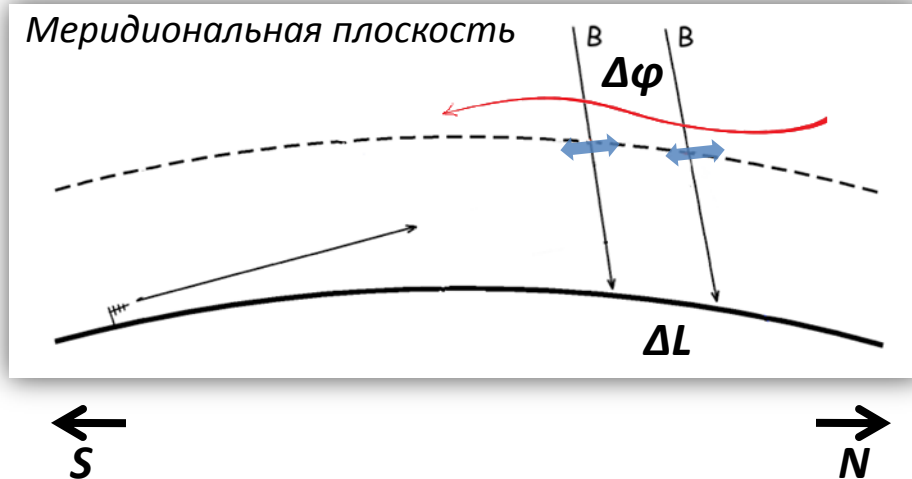
Пять случаев: частота волны в несколько раз ниже частоты стоячей альфвеновской волны: маловероятно, что они могут относиться к альфвеновским волнам.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ В АЗИМУТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

$$k_r = \frac{2\pi\Delta\varphi_x}{\Delta L}$$

$$k_a = \frac{m}{L}$$

Волновые числа в радиальном и азимутальном направлении



Дата	k_r	k_a	m
18.04.2014	1,4	4,3	22
17.09.2014	0,9	1	5
19.10.2014	3,9/-0,2	2,6	17
14.03.2015	1	0,8	6

> 0 — распространение к полюсу
 < 0 — распространение к экватору

РАСПРОСТРАНЕНИЕ В АЗИМУТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

$$k_r = \frac{2\pi\Delta\varphi_x}{\Delta L}$$

$$k_a = \frac{m}{L}$$

Волновые числа в радиальном и азимутальном направлении

Малые m ,
смешанная поляризация,
распространение к полюсу

Большие (промежуточные) m ,
полоидальная поляризация,
Распространение - ?

Дата	k_r	k_a	m
18.04.2014	1,4	4,3	22
17.09.2014	0,9	1	5
19.10.2014	3,9/-0,2	2,6	17
14.03.2015	1	0,8	6



> 0 — распространение к полюсу
 < 0 — распространение к экватору

Выводы

Около 13% зарегистрированных с помощью радара волн имеют положительные азимутальные волновые числа (распространяются на восток)

В значительной части случаев частота колебаний, наблюдавшихся с помощью радара, существенно ниже, чем частота стоячих альфвеновских волн на силовых линиях, в области проекций которых зарегистрированы отражения сигнала радара; альфвеновская частота была оценена по данным спутников о величине магнитного поля и концентрации частиц в магнитосфере.

Волнам с малыми m (2 случая) свойственна смешанная поляризация и распространение в направлении полюса. Это соответствует результатам других работ. Изменение направления распространения в азимутальном направлении волны с большим m также укладывается в существующие представления. В еще одном случае колебания имеют свойства альфвеновской моды, взаимодействующей с энергичными частицами или с компрессионной модой.

Волны, имеющие частоты ниже альфвеновских могут относиться к дрейфово-компрессионной моде [Костарев, Магер, 2017].

Спасибо за внимание.

ДРЕЙФОВО-КОМПРЕССИОННАЯ МОДА

$$\Omega_M = \frac{m}{L} \frac{\frac{2}{3} \frac{L_b}{\beta_{eq}} \Lambda_N V_d + V_n^* + V_T^*}{1 - \frac{V_T^*}{V_d}}$$