

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ЗЕМНОГО МАГНЕТИЗМА, ИОНОСФЕРЫ
И РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

**НИЗКОЧАСТОТНЫЕ
ИЗЛУЧЕНИЯ
В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ**

(материалы VII Всесоюзного семинара
по ОНЧ-излучениям)

Ответственные редакторы
доктор физ.-мат.наук Я.И.ЛИХТЕР
кандидат физ.-мат.наук В.И.ЛАРКИНА

МОСКВА 1986

УДК 551.594.6

О критерий захвата ОНЧ волн в геомагнитные волноводы в магнитосфере Земли. В.И.Аксенов, А.В.Можков. - В кн.: Низкочастотные излучения в магнитосфере Земли. М.: ИЗМИРАН, 1986, с. 204 - 208.

Получен критерий захвата ОНЧ волн в геомагнитные волноводы в магнитосфере Земли, в которой учтено влияние кривизны геомагнитных силовых линий и показано существование нижней широтной границы области захвата. Численное интегрирование уравнений лучевых траекторий подтвердило правильность критерия. В результате расчетов установлено, что на частотах $f > 10$ кГц ОНЧ-сигналы, излученные с поверхности Земли, захватываются в геомагнитные волноводы на высотах 500 + 2000 км в тех случаях, когда концентрация электронов N_e в волноводе не менее, чем на 10% превышает значение N_e в окружающей плазме.

Илл. 1, табл. 1, библи. 8 назв.

12

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Утверждено к печати секцией по солнечно-земной физике Ученого совета Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР.

Зав.редакцией И.Г. Симаков

Редактор А.Л.Ермикова

Книга отпечатана на ротапринте.

Подписано к печати 26.08.86. Т - 12140 . Формат 60x90 1/16.

Бумага офс.№1. Печать офсетная. Усл.печ. л. 13,50. Уч.-изд. л. 11,0.

Тираж 301 экз. Цена 1 экз. 1 р.35 к. Тип.заказ 945

Издание ИЗМИРАН, 142092, Троицк, Московская обл.
Офсетное производство 3-ей типографии изд. "Наука".
103045, Москва, Жданова, 12/1.

the transmitter signal and
at ground-based chain sta-
- J. Geophys. Res., 1982,

Kelley M.C. et al. In situ
eric VLF wave injection.-
38, p. 7065-7073.

Rare ground based obser-
vations of VLF transmitter
signals outside the
- J. Geophys. Res., 1983, v. A88, N 12,

Properties of duct-
propagation from the new VLF transmitter
- J. Geophys. Res., 1983, v. A88,

Experiments.- In : ELF-VLF
waves, 1974, p. 335-348.

Well R.A. Nonducted cohere-
ntly triggered emission observed
- J. Geophys. Res., 1981, v.

U.S. et al. The apparent
transmitter signals during
- J. Geophys. Res., 1983

Ф. и др. Уширение спек-
тров в верхней ионосфере.-
- т. 24, № 6, с. 935-943.

Е. Взаимодействие монохро-
матической ионосферой.- Гео-
- т. 25, № 1, с. 89-96.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В ОБЛАСТИ F² ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Г.Л.Гdaleвич (ИКИ АН СССР)
М.Г.Гельберг (ИФИА)

Крупномасштабные неоднородности в области F² с характерными размерами более 5 км постоянно присутствуют в высоких широтах и определяют условия распространения коротких радиоволн и волноводного распространения волн КНЧ-ОНЧ диапазона. Регулярная структура ионосферы на высоких широтах тоже неоднородна. В самом деле, в геомагнитно-спокойное время (особенно четко ночью в северном полушарии зимой) легко просматриваются следующие структурные образования:

- а) главный ионосферный провал с минимумом на инвариантной широте $\Lambda \sim 60^\circ$ и размером 400-600 км;
- б) авроральный пик ионизации на $\Lambda \sim 62-64^\circ$;
- в) авроральный провал ионизации на широтах $\Lambda \sim 63-68^\circ$ с размером 500-600 км;
- г) полярный пик ионизации на широтах $\Lambda \sim 68-70^\circ$;
- д) полярный провал ионизации на широтах выше 70° с размером 2000-4000 км.

Размеры авроральной зоны 400-1200 км, размеры полярной шапки 2000-4000 км.

Рассматриваемые крупномасштабные неоднородности существуют на фоне этой регулярной структуры, а иногда замазывают регулярную структуру во время возмущений.

Сведения о параметрах крупномасштабных ($l > 5$ км) неоднородностей области F² высокоширотной ионосферы получены по результатам измерений концентрации и температуры плазмы с помощью космических аппаратов, по данным регистрации изменений интенсивности свечения (в основном в линии 630 км), а также радиофизическими методами вертикального (ВЗ), наклонного (НЗ) и возвратно-наклонного (ВНЗ) зондирования и методом некогерентного рассеяния радиоволн (НРР).

Прямые измерения электронной концентрации и температуры плазмы на ИСЗ позволяют определить масштабы и относительные амплитуды неоднородностей N_1/n_0 и их пространственно-временное распределение. Оптические наблюдения и методы ВЗ, НЗ и ВНЗ долгот дают возможность проследить динамику отдельных крупномасштабных образований типа перемещающихся возмущений (ПВ). Детальная пространственная и временная картина неоднородной структуры получена методом НРР. В настоящей статье приводятся сведения о пространственно-

но-временном распределении крупномасштабных неоднородностей, механизмы образования крупномасштабных неоднородностей, приводятся оценки относительных градиентов крупномасштабных неоднородностей по экспериментальным данным спутника "Космос-900".

Пространственно-временное распределение неоднородностей

Результаты измерений концентрации плазмы на ИСЗ "Космос-900" показаны на рис. 1. На рис. 1 видно, что в ночные часы магнитосферные

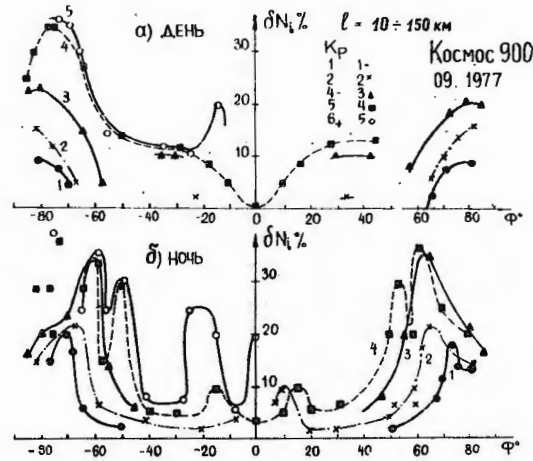


Рис. 1. Зависимость амплитуды неоднородностей в процентах от широты, усредненная по долготам для размеров неоднородностей $l = 10 - 150$ км. при различных K_p .

кольных периодов ($K_p=1$) максимальная амплитуда $\delta N_i = \left(\frac{\Delta \bar{n}^2}{\bar{n}^2}\right)^{1/2}$ неоднородностей с размерами $10 - 150$ км наблюдается на широтах полярной границы авроральной зоны. В дневные часы амплитуда была максимальной на широтах дневного каспа. С ростом магнитной возмущенности максимум в широтном распределении неоднородностей смещается к экватору. В ночные часы магнитовозмущенных периодов ($K_p \geq 5$) в широтном распределении интенсивности неоднородностей появляется второй максимум приходящийся на субавроральные широты. Спектр мощности $P(f)$ крупномасштабных неоднородностей можно аппроксимировать степенной зависимостью с показателем от 1 до 2.

Локальные максимумы от преимущественным масштабом со спутника "Космос-900" неоднородностей при слабых часах порядка 30 км, в дневные

В магнитовозмущенные данным некогерентного распределения колебания концентрации плазмы в масштабом 50 км и от отличие от среднеширотной вдоль геомагнитного поля и мера [2].

По результатам вертикальных маневров были определены характерных параметров ионосферной критическая частота $f_o(F_2)$ характерными периодами 40-50 мкс и вечерние часы с периодом квазипериодические колебания концентрации с периодами 5-10 мкс время при измерении углов наклона видно на рис. 4 [4].

Анализ данных вертикальных станций [5] и измерений мощности нескольких разнесенных пунктов обнаруживаются возмущения генерируемые в авроральной зоне и распространяются в оптических, радиометрических и радиотелескопических диапазонах оказалось, что каждой бурей сопровождалось возмущением с внезапным началом в "поле зрения" радиометров и радиотелескопов в виде этого сияния [7]. Согласно исследованиям возмущений распространения ВГВ от места генерации перемещении на 2000 км периодом 140 мкс [9].

Механизм образования

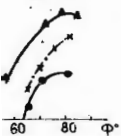
Образование крупномасштабных неоднородностей ионосферы связывают с процессами перемещения энергичных частиц, с перераспределением энергии в ионосфере.

ых неоднородностей, приводящих к неоднородностям неоднородностей "Космос-900".

ие неоднородностей

змы на ИСЗ "Космос-3" в ночные часы магн

150 км
Космос 900
09. 1977



тей в процентах от измерений неоднородно

амплитуда $\delta N_i = \left(\frac{\Delta R^2}{R^2}\right)$ на широтах

амплитуда была магнитной возмущенности смещается

периодов ($K_p \geq 5$)

одностей появляется на широты. Спектр

можно аппроксимировать по 2.

Локальные максимумы на кривых спектров $P(f)$ соответствуют преимущественным масштабам. На рис. 2,3 по данным, полученным со спутника "Космос-900" [1], видно, что преимущественный размер неоднородностей при слабой возмущенности ($K_p = 2$) был в ночные часы порядка 30 км, в дневные - около 20 км.

В магнитовозмущенное время в ночной авроральной ионосфере по данным некогерентного рассеяния наблюдаются квазипериодические колебания концентрации плазмы (складчатые структуры) с характерным масштабом 50 км и относительной амплитудой $N/N_0 \sim 1-5$. В отличие от среднеширотной ионосферы размер таких неоднородностей вдоль геомагнитного поля в несколько раз больше поперечного размера [2].

По результатам вертикального зондирования ионосферы в Мурманске были определены характерные времена периодических изменений параметров ионосферных слоев F_1 и F_2 [3]. Показано, что критическая частота $f_o(F_2)$ в дневные часы менялась с характерными периодами 40-50, 20-30 и 15 мин, а в ранние утренние и вечерние часы с периодами 60-80, 25-30 и 15 мин. Слабые квазипериодические колебания уровней равной электронной концентрации с периодами 5-10 мин наблюдались в магнитоспокойное время при измерении углов прихода отраженных радиоволн. Это хорошо видно на рис. 4 [4].

Анализ данных вертикального зондирования на сети ионосферных станций [5] и измерений модуляции сигналов радиомаяков ИСЗ в нескольких разнесенных пунктах [6] показал, что крупномасштабные перемещающиеся возмущения генерируются во время суббури в авроральной зоне и распространяются к экватору от нее. При сопоставлении оптических, риометрических и ионосферных возмущений в ходе суббури оказалось, что каждой бухте риометрического поглощения соответствовало перемещающееся возмущение. С другой стороны, бухта поглощения с внезапным началом регистрировалась в тех случаях, когда в "поле зрения" риометров попадал движущийся к западу изгиб полярного сияния [7]. Согласно результатам [5,6] источник ВГВ и перемещающихся возмущений расположен на широтах $\sim 70^\circ$. По мере удаления ВГВ от места генерации период волны возрастает [8]. При перемещении на 2000 км период измерялся примерно в 2 раза от 70 до 140 мин [9].

Механизм образования крупномасштабных неоднородностей

Образование крупномасштабных неоднородностей высокоширотной ионосферы связывают с пространственной неоднородностью высыпаний энергичных частиц, с перераспределением ионосферной плазмы струя

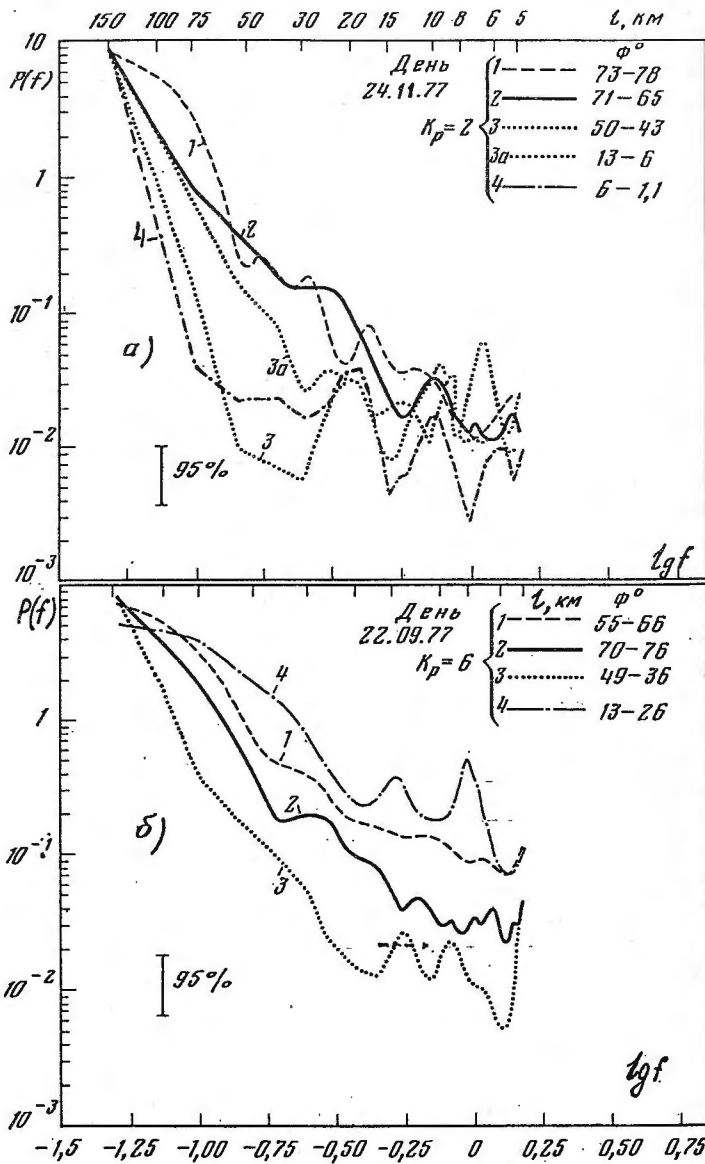


Рис. 2. Спектры мощности неоднородностей с размером 5-150 км для различных широтных зон и K_p в дневное время

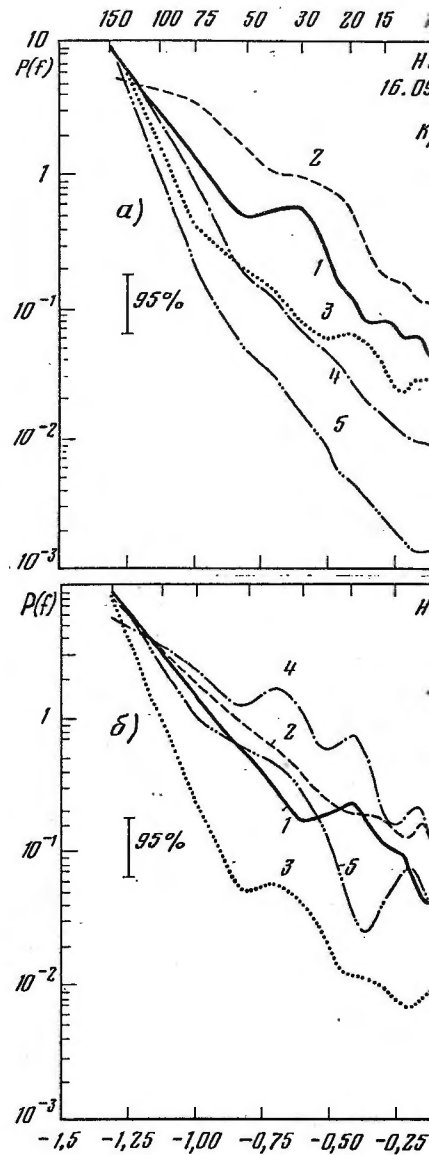
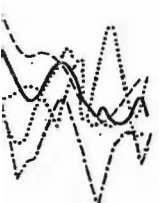
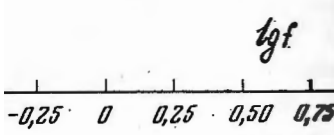


Рис. 3. Спектры мощности неоднородностей для различных зон и K_p в ночное время

15	10	8	6	5	$l, \text{км}$
День					φ°
4.11.77					1 --- 73-78
					2 --- 71-65
$K_p=2$					3 --- 50-43
					3a --- 13-6
					4 --- 5-1,1



		$l, \text{км}$	φ°
День			
2.09.77		1 --- 55-56	
		2 --- 70-76	
$K_p=6$		3 --- 49-36	
		4 --- 13-26	



неоднородностей с размером 5-150 км зон и K_p в дневное время

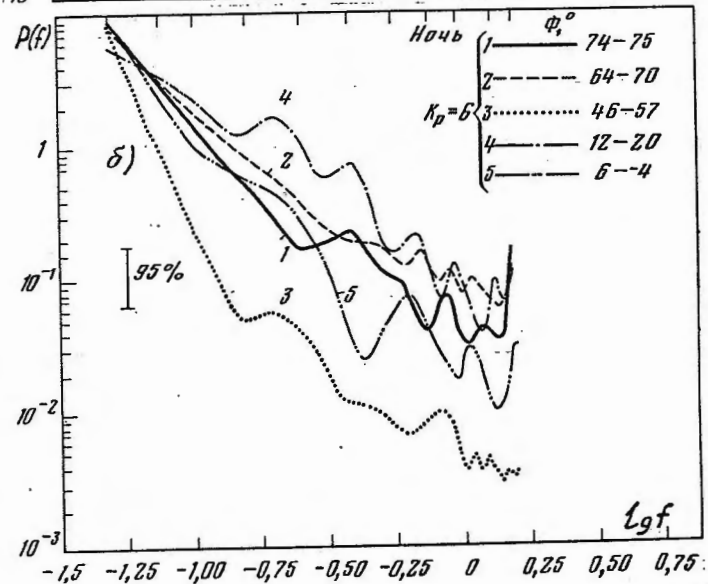
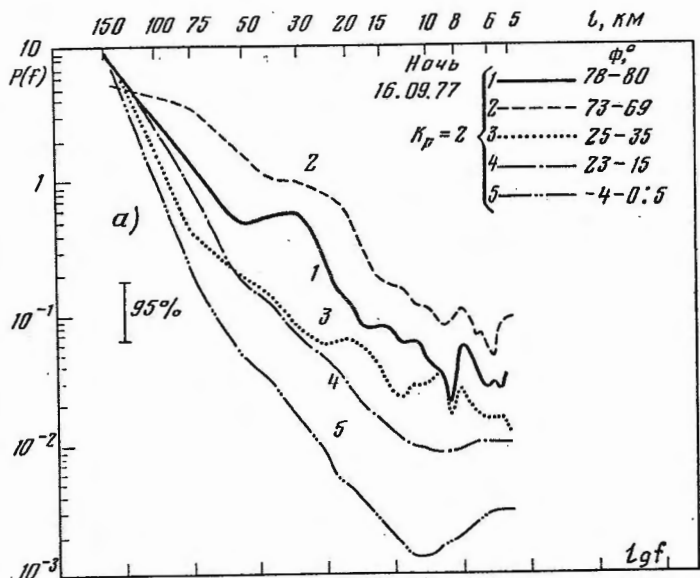


Рис. 3. Спектры мощности неоднородностей с размерами 5-150 км для различных зон и K_p в ночное время

12-6-945

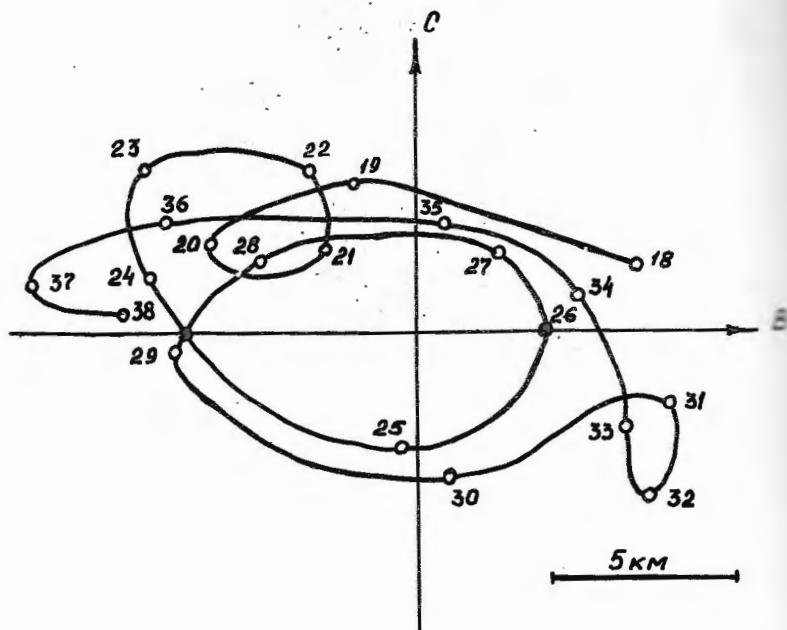


Рис. 4. Траектория точки отражения на поверхности Земли по результатам регистрации углов прихода радиоволн при вертикальном излучении в Лопарской. Цифра у кривой - время в минутах от 20 ч UT, с - направление на север, в - на восток

ми продольных токов и волнами нейтральной атмосферы.

Вопрос образования крупномасштабных неоднородностей за счет неравномерности выпадений энергичных частиц неоднократно обсуждался в литературе (см., например, [2]). Эксперименты показывают, что появление неоднородностей в верхней ионосфере хорошо коррелирует с увеличением потока электронов с энергией меньше 0,8 кэВ [10, 11]. Однако механизмы пространственной модуляции потоков энергичных частиц и отражение этой модуляции в пространственных изменениях концентрации ионосферной плазмы мало исследованы. Примером протяженных пространственно-модулированных выпадений электронов являются волокнистые полярные сияния. В работе [2] предложен следующий сценарий появления крупномасштабных неоднородностей F-области высокоширотной ионосферы: в области выпадений мягких элект-

ронов структурированные потоки ионизации нейтралы и образовавшиеся неоднородности вдоль линий конвекции по мере удаления от областей образования за счет диффузии и рекомбинации возмущенности скорости дрейфа от мест образования, поэтому с большей амплитудой основные закономерности прослеживаются в крупномасштабных неоднородностях потоков выпадения частиц поперек линий конвекции и образования неоднородностей типа и скорости дрейфа в каждой области. Если можно считать оправданным расслоение потоков энергичных частиц вдоль, чем поперек линии конвекции, то в основном поперек конвекции процесс образования неоднородностей можно рассматривать как стабильный. В таком случае на границах плазмы будут определяться в основном процессами рекомбинации. В таком случае на границах плазмы будут определяться в основном процессами рекомбинации.

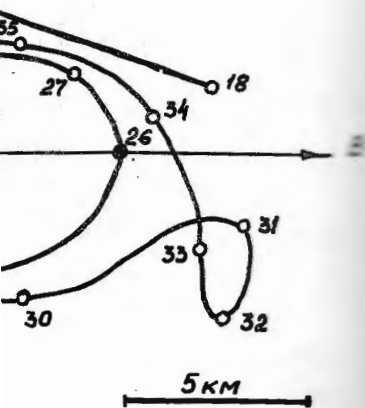
$$q(z) - \beta$$

где q - функция ионизации

$$\beta(z) \cong \alpha_1$$

β - коэффициент рекомбинации
 E - внешнее электрическое поле
 Положим возмущение всех параметров δ
 средние значения параметров, δ
 концентрация плазмы в области F
 плотности в области F больше
 в области F пропорционально δ
 то

$$E_1 \sim$$



на поверхности Земли по ре-
в прихода радиоволн при зе-
ой. Цифра у кривой - время
с - направление на север.

льной атмосферы.
онных неоднородностей за счет
частиц неоднократно обсу-
2]. Эксперименты показыва-
верхней ионосфере хорошо
энов с энергией меньше 0,5
ранственной модуляции потоков
модуляции в пространстве
плазмы мало исследованы. При
дулированных высыпаний эки-
ияния. В работе [2] предполо-
мштабных неоднородностей
области высыпаний мягких

ронов структурированные потоки заряженных частиц вызывают нерав-
номерную ионизацию нейтральной атмосферы на высотах области
и образовавшиеся неоднородности разносятся дрейфующей плазмой
вдоль линий конвекции по всей высокоширотной ионосфере. По мере
удаления от областей образования амплитуда неоднородностей убыва-
ет за счет диффузии и рекомбинации. С увеличением магнитной
возмущенности скорость дрейфа плазмы возрастает и в области, уда-
ленные от мест образования, неоднородности приходят быстрее и
поэтому с большей амплитудой. Этот сценарий позволяет объяснить
основные закономерности пространственно-временного распределения
крупномасштабных неоднородностей. Однако неявные предположения,
что потоки высыпавшихся частиц промодулированы преимущественно
поперек линий конвекции и ионизация в верхней ионосфере вне мест
образования неоднородностей не зависит от потоков заряженных час-
тиц и скорости дрейфа в каждой точке вдоль линий конвекции вряд
ли можно считать оправданными. В действительности наблюдается
расслоение потоков энергичных частиц на полосы, вытянутые скорее
вдоль, чем поперек линии конвекции. Скорость дрейфа плазмы также
меняется в основном поперек линий движения. Поэтому в первом при-
ближении процесс образования неоднородностей за счет высыпаний
можно рассматривать как стационарный. Изменения концентрации
плазмы будут определяться в основном процессами ионизации и реком-
бинации. В таком случае на высотах более 250 км при ионизации
мягкими электронами

$$q(z) - \beta(z)/n(z) = 0, \quad (1)$$

где q - функция ионизации,

$$\beta(z) \cong \alpha_1 (T_n + \alpha_2 E^2) \quad (2)$$

β - коэффициент рекомбинации в реакции $O^+ + NO \rightarrow NO^+ + O$,
 E - внешнее электрическое поле, T_n - температура нейтралов.
Положим возмущение всех параметров малыми и обозначим индексом 0
средние значения параметров, а индексом 1 - их возмущения. Если
концентрация плазмы в области E мала, так что интегральные прово-
димости в области F больше, чем в E-слое или отношение n_1/n_0
в области F пропорционально $\Sigma \rho_1 / \Sigma \rho_0$ для всей ионосферы,
то

$$E_1 \sim -E_0 n_1/n_0; \quad (3)$$

тогда из (1), (3) следует,

$$q_0(1 + q_1/q_0) - \beta n_0(1 + \frac{n_1}{n_0}) [1 - (2\alpha_1 \frac{E_0^2}{T_R}) \frac{n_1}{n_0}]^2 = 0, \quad (4)$$

где $T_R = T_n + \alpha_2 E_0^2$.

Из (4) следует

$$1 + \frac{q_1}{q_0} = (1 + \frac{n_1}{n_0}) (1 - \delta \frac{n_1}{n_0})^2, \quad (5)$$

где $\delta = 2\alpha_2 \frac{E_0^2}{T_R}$.

Из уравнения (5) следует, что при больших электрических полях E_0 , когда $\delta \ll 1/2$ амплитуда неоднородностей n_1/n_0 существенно больше глубины модуляции потока частиц. Более того возможно расслоение плазмы при отсутствии модуляции потока ($q_1/q_0 = 0$) энергичных частиц.

При $\delta \ll 1$, $q_1/q_0 < 1$ из уравнения (5) находим

$$n_1/n_0 \approx q_1/q_0 / (1 - 2\delta), \quad (6)$$

Важной причиной образования неоднородностей ионосферы является перераспределение плазмы токовыми струями. Это явление связано с различием в анизотропии электронной и ионной проводимостей. Вследствие этого концентрация плазмы возрастает в области вытекающих из ионосферы струй продольных потоков и уменьшается в области вытекающих струй, что приводит к появлению неоднородностей с масштабом токовых слоев [12].

Много внимания уделялось исследованию ионосферного отклика на прохождение акустико-гравитационных волн (АГВ). Образование перемещающихся ионосферных возмущений объясняют увлечением ионов вдоль геомагнитного поля Земли периодическим движением нейтральных молекул. Показано (см., например, [13]), что относительная амплитуда неоднородностей

$$n_1/n_0 \sim \sin 2\chi, \quad (7)$$

χ - угол между волновым вектором АГВ и геомагнитным полем. Из выражения (7) следует этот механизм наиболее эффективен в средних широтах. В высоких широтах при внешних электрических полях более

40 мВм⁻¹ возможно электродирижабельной атмосферы с ионосферой нейтральной атмосферы и температур и проводимость плазмы. ти вызывает перераспределение

Эволюция крупномасштабных

Крупномасштабные неоднородности в процессе движения изменяют свою структуру и диффузионного распределения

Выше упоминалось, что с перемещающихся ионосферных волн изменений параметров слоев в результате затухания коротких волн от источника генерации.

Движения АГВ-увеличение крутизны профиля этого эффекта естественно ожидать

энта $L_{min} = \frac{1}{n_0} \frac{\partial n_1}{\partial \chi}$ на заднем. Поэтому перемещающиеся

во время суббури от центральных экватору должны быть асимметричными L_{min} со стороны авроральной

на переднем фронте.

Эволюция крупномасштабных неоднородностей вместе с ионосферной неоднородностью зависит от электропроводимости слоев, точнее от соотношения (персеновской) Σ_p и Σ_n ионосферы.

В тех случаях, когда $\Sigma_p \ll \Sigma_n$ и $\Sigma_n \ll \Sigma_p$, поляризации крупномасштабной неоднородности E , что приводит к "усиленной" области [17]. Дрейф неоднородности в геомагнитном полях не сопровождается изменением формы.

В противном случае, когда $\Sigma_p \approx \Sigma_n$, интегральные проводимости слоев зависят от поля поляризации неоднородности и формы неоднородностей [13, 16, 17].

с повышенной концентрацией плазмы

$$\left(2\alpha_1 \frac{E_0^2}{T_R} \frac{n_1}{n_0} \right)^2 = 0, \quad (4)$$

$$\delta \left(\frac{n_1}{n_0} \right)^2, \quad (5)$$

больших электрических полях неоднородностей n_1/n_0 суммарная частота. Более того, возмущение модуляции потока ($q_1/q_0 = 0$)

из уравнения (5) находим

$$(1 - 2\delta)^{-1}, \quad (6)$$

неоднородностей ионосферы является групповыми. Это явление связано с ионной проводимостью. Оно возрастает в области возмущения потоков и уменьшается в области появления неоднородностей

возникновению ионосферного отклика волн (АГВ). Образование неоднородностей объясняется увлечением ионными дрейфовыми движениями нейтральных частиц [13], что относительно

$$2 \cdot 2 \times, \quad (7)$$

АГВ и геомагнитным полем. Наиболее эффективен в средних широтах их электрических полях

40 мВм⁻¹ возможно электродинамическое взаимодействие волн нейтральной атмосферы с ионосферной плазмой. АГВ модулирует плотность нейтральной атмосферы и тем самым частоту ион-нейтральных соударений и проводимость плазмы. Периодическое изменение проводимости вызывает перераспределение концентрации заряженных частиц [14].

Эволюция крупномасштабных неоднородностей

Крупномасштабные неоднородности F-области ионосферы в процессе движения изменяют свою форму и амплитуду за счет дисперсионного и диффузионного расплывания [14, 16].

Выше упоминалось, что с увеличением расстояния от источника перемещающихся ионосферных возмущений увеличивается период временных изменений параметров слоя F₂. Увеличение периода является следствием затухания коротковолновых АГВ по мере их распространения от источника генерации. Другой ожидаемый эффект распространения АГВ-увеличение крутизны переднего фронта волны. Вследствие этого эффекта естественно ожидать, что минимальный масштаб градиента $L_{min} = \frac{1}{n_0} \frac{\partial n_1}{\partial x}$ на переднем фронте ПВ будет меньше, чем на заднем. Поэтому перемещающиеся возмущения, распространяющиеся во время суббури от центральной части авроральной зоны к полюсу и экватору должны быть асимметричными в широтном разрезе. Значения L_{min} со стороны авроральной зоны у них должны быть больше, чем на переднем фронте.

Эволюция крупномасштабных неоднородностей F-области, дрейфующих вместе с ионосферной плазмой вдоль линий конвекции существенно образом зависит от электродинамической связи между ионосферными слоями, точнее от соотношений между интегральными проводимостями (педерсеновской Σ_p и холловской Σ_H) E и F-областей ионосферы.

В тех случаях, когда интегральные проводимости Σ_p^F и Σ_H^F много меньше Σ_p^E и Σ_H^E , соответственно, электрическое поле поляризации крупномасштабной неоднородности закорачивается в слое E, что приводит к "усиленной" диффузии неоднородностей F-области [17]. Дрейф неоднородности в скрещенном электрическом и магнитном полях не сопровождается при этом дисперсионным искажением формы.

В противном случае, когда ионизация в E-области низкая и интегральные проводимости слоя F больше, чем Σ_p^E и Σ_H^E , поля поляризации неоднородностей вызывают нелинейные искажения формы неоднородностей [13, 16, 18, 19]. В этом случае в областях с повышенной концентрацией плазмы электрическое поле меньше сред-

него и эти области дрейфуют с меньшей скоростью. Это приводит к увеличению крутизны фронтов неоднородностей задних относительно скорости дрейфа плазмы $E \times B$ [13, 17, 18]. В работе [19] показано, что нелинейные эффекты в плотных крупномасштабных образованиях приводят к появлению крутых градиентов также на передних относительно электрического поля E фронтах неоднородностей. Таким образом, теория нелинейной эволюции крупномасштабных образований предсказывает возможные различия в масштабах L_{min} в зависимости от ориентации электрического поля, механизма образования неоднородностей и соотношения интегральных проводимостей E и F областей ионосферы. Эти различия можно использовать для интерпретации экспериментального материала о неоднородностях F -области, полученных по результатам прямых измерений концентрации плазмы на ИСЗ.

Оценка относительных градиентов крупномасштабных неоднородностей

Спутник "Космос-900", имеющий близкую к круговой орбиту на высотах 400 - 500 км в зависимости от времени старта представляет прекрасную возможность для исследования относительных градиентов крупномасштабных неоднородностей. Поскольку пролеты спутника практически проходили вдоль меридиана, возможно на основе исследования "передних" и "задних" фронтов относительных градиентов исследовать механизм, связанный с AGB и $E \times B$ дрейфом плазмы.

В настоящей статье мы приведем анализ относительных градиентов крупномасштабных неоднородностей лишь с целью выяснения возможностей поиска механизмов их возникновения в дальнейшем. Для того, чтобы показать каким образом определяются относительные градиенты на рис. 5, показаны результаты измерения концентрации положительных ионов, полученные при помощи спутника "Космос-900" 10.03.1978 г. Из рис. 5 видно, что наблюдается квазипериодическая структура относительных изменений концентрации, в которой то передний фронт круче, чем "задний", то наоборот. Поэтому в таблице приведены статистические данные о наблюдении относительных изменений концентрации на 10 пролетах высокоширотной зоны спутником "Космос - 900".

Из таблицы видно, что в дневное время на геомагнитных широтах ниже 80° примерно в два раза чаще наблюдается более крутой экваториальная сторона, а на широтах более 80° в два раза чаще наблюдается более крутой полярная сторона крупномасштабных неоднород-

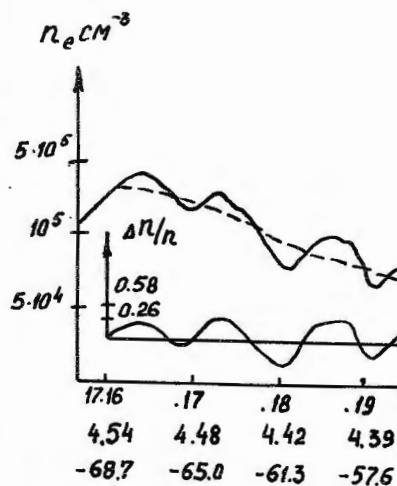


Рис. 5. Крупномасштабные неоднородности по результатам регистрации по результатам регистрации
1. Концентрация плазмы
2. Сглаженные значения
3. Относительные изменения вычитанием

Интервал геом. широт	На экваторе
	50-75
75-90	4
	Дальнейше
50-80	1
80-90	2

скорости. Это приводит к
 ностей задних относительно
 17, 18]. В работе [19] по
 нных крупномасштабных образо-
 градиентов также на передних
 фронтах неоднородностей. Та-
 ции крупномасштабных образо-
 ая в масштабах L_{min} в зави-
 поля, механизма образования
 альных проводимостей E и F
 но использовать для интерпре-
 неоднородностях F-области,
 ериной концентрации плазмы

крупномасштабных

близкую к круговой орбиту на
 от времени старта предс-
 исследования относительных
 одностей. Поскольку пролеты
 в меридиана, возможно на осно-
 к" фронтов относительных гра-
 нный с АГВ и E * B дрейфом

анализ относительных градиен-
 й лишь с целью выяснения воз-
 икновения в дальнейшем. Для
 определяют относительные
 таты измерения концентрации по-
 о помощи спутника "Космос-900"
 наблюдается квазипериодическая
 концентрация, в которой то пе-
 го наоборот. Поэтому в таблице
 наблюдения относительных изме-
 высокоширотной зоны спутником

е время на геомагнитных широт-
 аще наблюдается более крутой за-
 более 80° в два раза чаще наб-
 зона крупномасштабных неоднород-

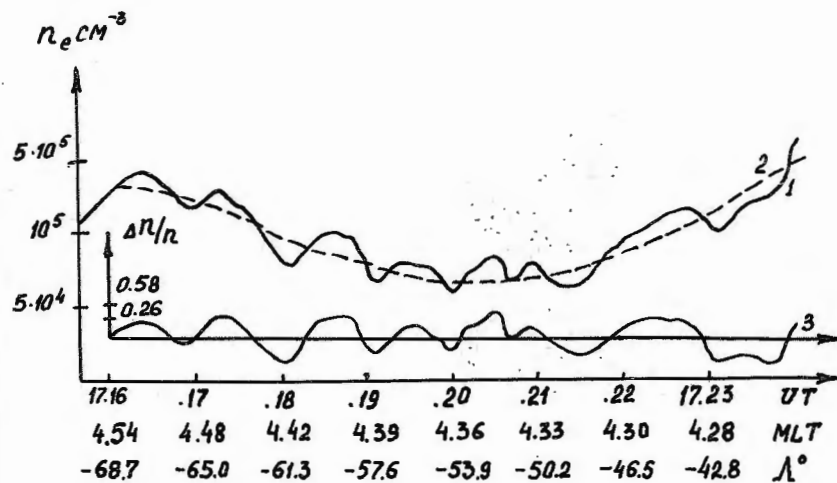


Рис. 5. Крупномасштабные неоднородности в высокоширотной ионосфере по результатам регистрации 10.03.1978:

1. Концентрация плазмы вдоль траектории спутника.
2. Сглаженные значения концентрации.
3. Относительные изменения концентрации $\Delta n/n$, полученные вычитанием кривой 2 из данных графика 1

Таблица

Интервал геом. широт	Н о ч ь 18-24-06	
	На экватор. стороне	На полярной стороне
50-75	9	7
75-90	4	3
	Д е н ь 18-12-06	
50-80	9	5
80-90	2	4

ностей. Можно высказать предположение, что источник АГВ находится вблизи 80° и крупномасштабные неоднородности в значительной части могут создаваться АГВ. Однако окончательное заключение может быть сделано лишь на основе анализа большого числа пролетов. В дальнейшем авторы надеются провести такой статистический анализ.

Список использованных источников

1. Гдалевич Г.Л., Озеров В.Д., Всехвятская И.С., Новикова Л.Н., Соболева Т.Н. Исследование изменчивости ионосферы на высоте 500 км по данным ИСЗ "Космос-900". - Геомagnetизм и аэрoнoмия, 1980, т. 20, с. 809-816.
2. Kelley M.C., Vickrey L.V., Carlson C.N., Torbert R. On the origin and spatial extent of high-latitude F-region irregularities. - J. Geophys. Res., 1982, v. 87, p. 4469-4475.
3. Фрейзон И.А., Потапова Н.И. Исследование волновых процессов по данным высокоширотной станции Мурманск. - В кн.: Ионосферно-магнитосферные возмущения и их прогнозирование. М.: Наука, 1984, с. 44-51.
4. Волков Н.Н., Кукушкин Р.С., Ройзен А.М., Гельберг М.Г. Определение параметров неоднородностей по измерениям углов прихода. - В кн.: Распространение радиоволн в полярной ионосфере. Апатиты: КФАН, 1977, с. 61-69.
5. Шашунькина В.М. Ионосферный эффект внезапного начала магнитной бури в годы максимума и минимума солнечной активности. Геом. аэрoн. 1968, т. VIII, №1, с. 184-187.
6. Davis M.J., Da Rose A.V. Travelling Ionospheric Disturbances Originated in the Auroral Oval during Polar Substorm. J. Geophys. Res. 1969, v. 74, p. 5721-5735.
7. Hajkowicz L.A. Auroral riometer absorption and the F-region disturbances observed over wide range of latitude. - J. Atmos. Terr. Phys. 1983, v. 45, N 1, 175 - 179.
8. Row R.V. Acoustic-gravity waves in the upper atmosphere due to a nuclear detonation and an earthquake. - Geophys. Res., 1967, v. 72, p. 1599-1610.
9. Климов Н.Н., Шашунькина В.М., Юдович Л.А. Перемещающиеся ионосферные возмущения в период магнитосферной суббури. - В кн.: Ионосферные исследования, №30, М.: Сов. радио, 1980, с. 69-74.
10. Kayzer S.F., Maier F.J., Brace L.H. Quiet-time plasma irregularities at 1400 km in the cleft region. - J. Geophys. Res., 1978, v. 83, p. 2533-2542.
11. Kelley M.C., Backer K.D., Ulw. Simultaneous rocket probe, scatter observations of irregularities in the ionosphere. Radio Sci., 1978, v. 13, p. 101-104.
12. Ляцкая А.М., Ляцкий В.Б., Мухоморов В.И. Исследования потоков на профиль электронной аэрoнoмия, 1987, т. 18, №2, с. 101-104.
13. Lloyd K.H., Haerendel G. Numerical simulation of ionospheric and deformation of ionospheric irregularities in connection with other layers of ionosphere. - J. Geophys. Res., 1978, v. 83, p. 7389-7415.
14. Гершман Б.Н. Динамика ионосферных неоднородностей. - В кн.: Ионосферно-магнитосферные возмущения и их прогнозирование. М.: Наука, 1984, с. 256.
15. Гельберг М.Г. Образование неоднородностей ионосферы. Геомagnetизм и аэрoнoмия, №2, с. 271-274.
16. Жилинский А.П., Цендин Л.Д. Структура неоднородностей ионизированной плазмы в магнитосфере. - В кн.: Ионосферно-магнитосферные возмущения и их прогнозирование, №26, М.: Сов. радио, 1980, с. 101-104.
17. Vickrey L.F., Kelley M.C. The structure of irregularities in the F-layer on classical F-region irregularities. - J. Geophys. Res., 1982, v. 87, p. 101-104.
18. Perkins F.W., Labisky N.L., et al. Ionospheric irregularities in the auroral region. - J. Geophys. Res., 1973, v. 78, p. 697-724.
19. Рожанский В.А., Цендин Л.Д. Структура неоднородностей ионосферной плазмы. - В кн.: Ионосферно-магнитосферные возмущения и их прогнозирование, №30, М.: Сов. радио, 1980, с. 916-921.

нение, что источник АГВ находится в неоднородности в значительной мере. Однако окончательное заключение можно сделать только на основании анализа большего числа пролетов. Провести такой статистический анализ

источников

Святская И.С., Новикова Л.Н., Изменчивости ионосферы на высоте 900". - Геомагнетизм и аэронавтика

Olson C.N., Torbert R. On the origin of high-latitude F-region irregularities. - J. Geophys. Res., 1977, p. 4469-4475.

Исследование волновых процессов в ионосфере Мурманск. - В кн.: Ионосфера и ее прогнозирование. М.: Наука

Войзен А.М., Гельберг М.Г. Определены по измерениям углов прихода радиоволн в полярной ионосфере. - Геомагнетизм и аэронавтика, 1979, с. 184-187.

Travelling Ionospheric Disturbances in the Polar Oval during Polar Substorms. - J. Geophys. Res., 1975, p. 5721-5735.

Travelling Ionospheric Disturbances in the Polar Oval during Polar Substorms. - J. Geophys. Res., 1975, p. 5721-5735.

Travelling Ionospheric Disturbances in the Polar Oval during Polar Substorms. - J. Geophys. Res., 1975, p. 5721-5735.

Travelling Ionospheric Disturbances in the Polar Oval during Polar Substorms. - J. Geophys. Res., 1975, p. 5721-5735.

Юдович Л.А. Перемещающиеся неоднородности магнитосферной суббури. - В кн.: Геомагнетизм и аэронавтика, №30, М.: Сов. радио, 1980, с. 602, ч. III №16, с. 916-921.

Travelling Ionospheric Disturbances in the Polar Oval during Polar Substorms. - J. Geophys. Res., 1975, p. 5721-5735.

11. Kelley M.C., Backer K.D., Ulwick S.C., Rino C.L., Baron M.J. Simultaneous rocket probe, scintillation and incoherent scatter observations of irregularities in the auroral zone ionosphere. Radio Sci., 1980, v. 15, p. 491-505.
12. Ляцкая А.М., Ляцкий В.Б., Мальцев Ю.П. Влияние продольных токов на профиль электронной концентрации. Геомагнетизм и аэронавтика, 1987, т. 18, №2, с. 229-234.
13. Lloyd K.H., Haerendel G. Numerical modeling of the drift and deformation of ionospheric clouds and their interaction with other layers of ionosphere. - J. Geophys. Res., 1973, v. 78, p. 7389-7415.
14. Гершман Б.Н. Динамика ионосферной плазмы. М.: Наука, 1974, 256 с.
15. Гельберг М.Г. Образование слабых крупномасштабных неоднородностей ионосферы. Геомагнетизм и аэронавтика, 1980, т. 20, №2, с. 271-274.
16. Жилинский А.П., Цендин Л.Д. Столкновительная диффузия слабоионизированной плазмы в магнитном поле - В кн.: Геомагнитные исследования, №26, М.: Сов. радио, 1979, с. 5-39.
17. Viekrej L.F., Kelley M.C. The effects of a conducting F-layer on classical F-region cross-field plasma diffusion. J. Geophys. Res., 1982, v. 87, p. 4276-4284.
18. Perkins F.W., Labisky N.L., Doles J.H. Deformation and striation plasma clouds in the ionosphere. - J. Geophys. Res., 1973, v. 78, p. 697-724.
19. Рожанский В.А., Цендин Л.Д. Эволюция сильных ионосферных неоднородностей ионосферной плазмы. Геомагнетизм и аэронавтика, 1984, т. 24, и I, №3, с. 414-419, ч. II, №81, с. 598-602, ч. III №16, с. 916-921.