

Физические процессы в области главного ионосферного провала

Сборник статей семинара проектов №5 и 6 КАПГ
Прага, 28. - 31. марта 1983

Physical processes in the main ionospheric trough region

Proceedings of the Symposium organized by KAPG projects 5 and 6
Praha, 28 - 31 March 1983

РЕДАКЦИЯ:

Проф. д-р ф.м.н. Н.П.ВЕНЬКОВА
Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР

Prof. Dr C.-U.WAGNER
Zentralinstitut für Solar-Terrestrische
Physik AdW der DDR

Ing. L. TRÍSKOVÁ, CSc
Geofyzikální ústav ČSAV

**Geofyzikální ústav ČSAV
141 31 PRAHA 4- Spriřilov**

ПОВЫШЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В СУБАВРОРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА "ИНТЕРКОСМОС-19"

А.Шмилауэр (ГФН ЧСАН)
В.В.Афонин (ИКИ АН СССР)

Резюме: Измерения электронной температуры на спутнике "Интеркосмос-19" с высоким разрешением по времени подвергаются исследованию с точки зрения субаврооральных повышений температуры. На основе 1837 проходов субаврооральной областью с хорошим глобальным распределением в ЗЕМ построены таблицы повышений электронной температуры, которые исследуются статистическими методами. Выведены морфологические заключения, на основе которых предлагаются возможные причины повышений электронной температуры.

1. Введение

Повышения электронной температуры (T_e) в субаврооральной области привлекают внимание с самого начала спутниковых измерений. С одной стороны их исследование дополняет картину исследования электронной плотности в области главного ионосферного провала, раскрывая энергетическую сторону явлений, с другой стороны, присутствие повышений, сопровождаемое незначительными изменениями электронной плотности, показывает наличие и морфологию притоков энергии к ионосферной плазме. Исследования провала в электронной плотности вызывают много до сих пор нерешенных вопросов, и тем больше неясных пунктов содержит природа субаврооральных повышений T_e . По этой причине мы считали крайне желательным использовать обширный материал по электронной температуре, полученный на спутнике "Интеркосмос-19", для морфологических исследований с целью уточнения механизмов, порождающих субаврооральные повышения T_e .

2. Методика обработки

Измерение T_e на спутнике ИК-19 проводилось методом ВЧ зонда прибором КМ-3 [1], обеспечивавшим достаточно высокое разрешение по времени. Сам прибор обладает разрешением 0,1 с, полностью обеспеченным телеметрией во всех режимах за исключением режима суточного запоминания, в котором понижается разрешение до 0,64 с. Прибор использует плоский датчик, расположенный впереди спутника; нормаль его плоскости направлена вдоль вектора скорости.

Настоящая работа основана на части материала, полученного в период с начала марта до начала августа 1979г. Высоты, на которых проводились измерения, охватывают диапазон с 500 до 1000 км. Исходным материалом для обработки являются вычисленные значения T_e вместе с полной геофизической привязкой (т. наз. магнитные ленты ELTE). Первый шаг обработки состоит в создании таблиц на магнитном диске (дискетных файлах), в которых осуществлена сортировка значений T_e для отдельных проходов субаврооральной областью в зависимости от инвариантной широты. Данные усредняются в ящиках по $0,2^\circ$ в диапазоне от 34° до 74° инвариантной широты. Каждая из таблиц оснащена временной привязкой и значениями высоты, геомагнитного времени, локального и магнито-сопряженного зенитного угла Солнца с шагом по 2° , и значениями числа солнечных пятен, тока солнечной радиации на длине 10,7 см, Dst , K_p и суммы K_p из предшествующих 24-ех часов, относящихся к времени пересечения спутником инвариантной широты 60° . К тому же времени присоединены и значения географической долготы, углов направления скорости спутника относительно локального геомагнитного поля

и направления к Солнцу, и, наконец, значение деклинации орбиты спутника.

Вторым шагом обработки является вычисление базисного широтного хода электронной температуры с предпочтением низких значений температуры. Использована регрессия полиномом третьей степени, требуемое "отсеивание" повышений T_e получается с помощью последующих приближений за исключением значений, превышающих на 100 К предшествующее приближение. Пример графика широтного хода вместе с вычисленным базисным ходом показан на рис. 1.

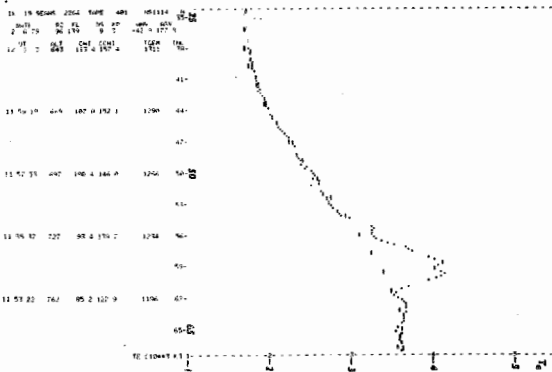


Рис. 1

Пример широтного хода T_e в зависимости от инвариантной широты (пунктир) и вычисленного хода (штрих).

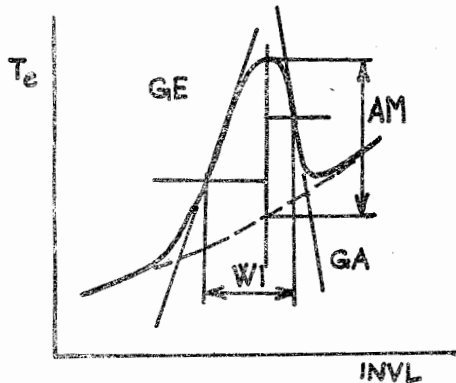


Рис. 2.

Схематическое изображение основных параметров пика: AM - амплитуда, WI - ширина, GE, GA - экваториальная и авроральная крутизна бока. Штрихованной линией показан базисный ход T_e .

1837 проходов 1163, т.е. 63,3% показывает присутствие одного или больше пиков с амплитудой > 50 К. В дальнейшем обсудим именно поведение главных пиков, представляющих большинство наблюдаемых повышений. С точки зрения их природы важны в первую очередь широтная зависимость их появления и распределение их амплитуд в разных секторах.

Первым обсуждаемым вопросом является широтное распределение главных пиков и зависимость усредненной широты их появления от геомагнитного времени. Разделив наблюдаемые главные пики при спокойных условиях ($\Sigma K_p \leq 15$ и $Dst > -15$ nT) в достаточно узкие и достаточно заселенные ($N \geq 30$) участки по геомагнитному времени и получив широтное распре-

Основным пунктом обработки является поиск повышений (пиков) T_e и определение их параметров. Поиск проводится с помощью корреляционного анализа относительных значений T_e - т.е. разности абсолютного значения температуры и базисного хода - и гауссовской кривой $y_0 = a_0 \cdot \exp\{-b_0 \cdot x^2\}$. После отождествления пика постепенно проводится определение его вершины и амплитуды и с помощью одностороннего приближения кривой $y_{1,2} = a_{1,2} \exp\{-b_{1,2} \cdot x^2\}$, где для y_1 $x < 0$ и для y_2 $x > 0$, определяются крутизны экваториального и аврорального боков пика. При этом одновременно определяются и полуширины пика, сумма которых составляет ширину пика; полуширины определяются для точек перегиба боков. Схематическое изображение отдельных параметров пика дано на рис. 2.

Все определенные таким способом пики записываются для отдельных проходов в таблицу на диске вместе со всей необходимой сопровождающей информацией. В случае присутствия в проходе более одного пика пики оцениваются по следующим признакам: амплитуда, инвариантная широта, взаимное положение с предшествующими пиками. По этой оценке выбирается из них т.наз главный пик, который записывается первым, максимальное число пиков для одного прохода - четыре. Для главного пика дополнительно вычисляется ширина пика вблизи базисного хода с помощью линейной регрессии боков пика.

3. Результаты обработки

Таблицы пиков, определенных в отдельных проходах спутника субавроральной области, служат уже непосредственно для построения требуемых зависимостей. Из имеющихся

деление в отдельных участках, можно определить, что распределение пиков стремится к гауссовскому. По этой причине можно в дальнейшем строить широтную зависимость их среднего значения. Таким способом построены зависимости средней широты появления пиков от геомагнитного времени при разделении значений на спокойные или слабо возмущенные и на возмущенные значения для трех параметров, характеризующих возмущение: K_p , ΣK_p и D_{st} . Для D_{st} и ΣK_p получается довольно заметное разделение средней широты повышений T_e по возмущенности (Рис. 3,4), но для параметра K_p такое разделение не имеет места. Это показывает

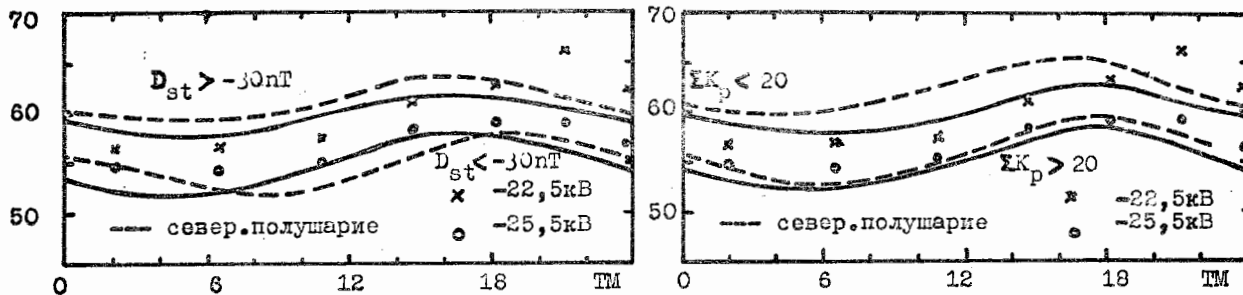


Рис. 3, 4

Зависимость широты центра зоны субавроральных повышений от геомагнитного времени для слабо возмущенных и возмущенных условий. Кружки и крестики - точки линий конвекции для потенциальных поверхностей -22,5 и -25,5 кВ [3].

на непригодность текущего значения K_p для статистической оценки роли возмущения на положение субаврорального пика T_e . Более подходящим параметром является сумма восьми предшествующих времени прохода трехчасовых значений K_p .

Зависимость широты главных пиков от геомагнитного времени показывает характерный ход для спокойных и возмущенных условий. В ночное время этот ход достаточно хорошо совпадает с характерным ходом главного ионосферного провала [2], но в дневное время средняя широта повышений T_e заметно экваториальнее провала электронной плотности. С другой стороны, этот ход неплохо соответствует ходу линий конвекции плазмы по модели [3], из которой заимствованы на рисунке приведенные значения широты для двух линий конвекции плазмы, соответствующих потенциальным поверхностям -22,5 кВ и -25,5 кВ. Заметим, что в этой модели предполагается совпадение потенциальной поверхности -23,2 кВ с плазмопаузой.

Вторым интересующим нас вопросом является зависимость амплитуды пиков (т.е. относительной амплитуды) от геомагнитного времени. Из рис. 5 видно, что максимальные значения

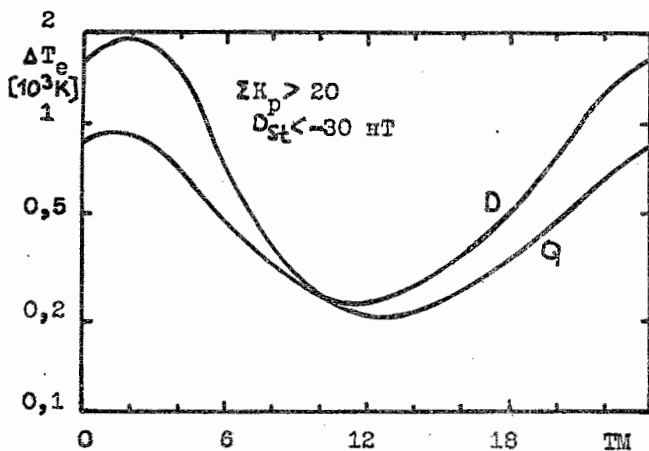


Рис. 5

Зависимость усредненной амплитуды пиков от геомагнитного времени для слабо возмущенных ($\Sigma K_p \leq 20$, $D_{st} > -30$ нТ) - Q и возмущенных условий - P.

Целью является раскрытие зависимостей основных параметров пика (его

с амплитудой порядка 1000 К наблюдаются после полуночи, что совпадает с максимальным понижением электронной плотности в провале, дневные амплитуды имеют средние значения только около 250 К. Очевидно, что механизм, приводящий к дневным повышениям, менее эффективен чем механизм ночных повышений. В возмущенных условиях ночные амплитуды пиков достигает 2000 К, причем дневные амплитуды не очень отличаются от значений при спокойных условиях.

До сих пор мы занимались только распределением пиков T_e в геомагнитных координатах и зависимостью средней амплитуды от геомагнитного времени. Для более детального анализа параметров пиков необходимо использовать методику гистограмм.

относительной амплитуды AM, ширины WI и крутизны экваториального и аврорального боков (GE, GA) от параметров характеризующих некоторые внешние условия: возмущенность (Dst , K_p , ΣK_p), высоты AL, геомагнитное время MT. Видимо, список независимых переменных можно расширить. Пики сортируются по выбранным признакам, и внутри каждой группы определяется распределение по величине параметра пика. При этом для амплитуды и крутизны используются логарифмические шкалы:

$$X (AM) = 5,477 \cdot \ln(AM/50) \quad \begin{matrix} [K] \\ [K/^\circ] \end{matrix}$$

$$X (GR) = 6,135 \cdot \ln(GR/100)$$

Для ширины пиков применяется шкала линейная, в градусах инвариантной широты. Из построенных гистограмм приведем только важнейшие. Сначала обратимся к общим гистограммам ширины и амплитуды пиков и склона их боков. Из рис. 6 вытекает, что субавроральные по-

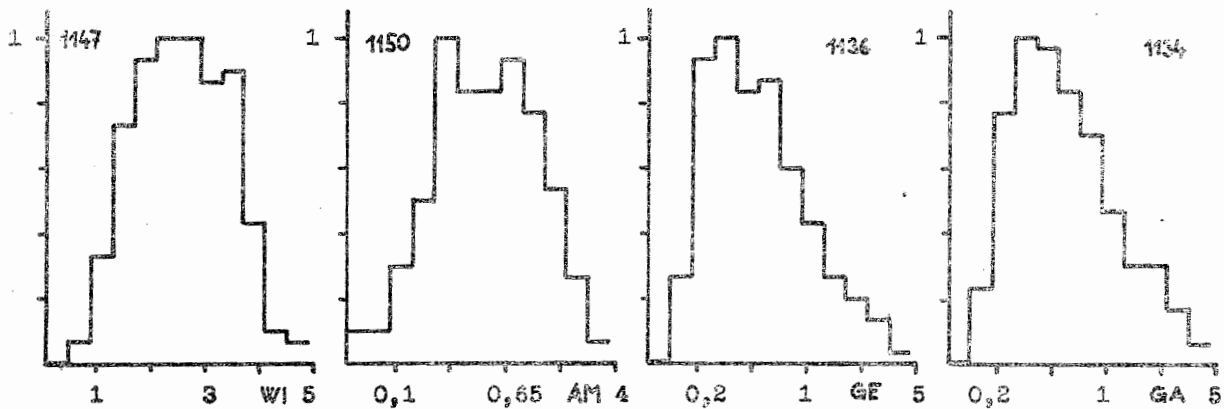


Рис. 6

Общие гистограммы ширины и амплитуды пиков, крутизны экваториального и аврорального боков (E и A соответственно) на рисунках даны суммарные числа случаев. Шкалы амплитуд и крутизны логарифмические.

шения имеют ширину 1,0 - 4,2 градусов инвариантной широты (чаще всего 1,5° - 3,6°), амплитуды от 100 K до 2500 K (чаще всего от 200 K до 1500 K). Склон их боков изменяется в диапазоне от 150 K на градус инвариантной широты до 4500 K/°, причем наиболее вероятный склон составляет 3500 K/°. Характерные склоны экваториального и аврорального боков мало отличаются друг от друга, что является важным отклонением от характеристик склонов провала в электронной концентрации.

Некоторым дополнением вышеприведенных зависимостей является гистограммы амплитуд для разных уровней магнитной возмущенности, в данном случае представленной ΣK_p на рис.7.

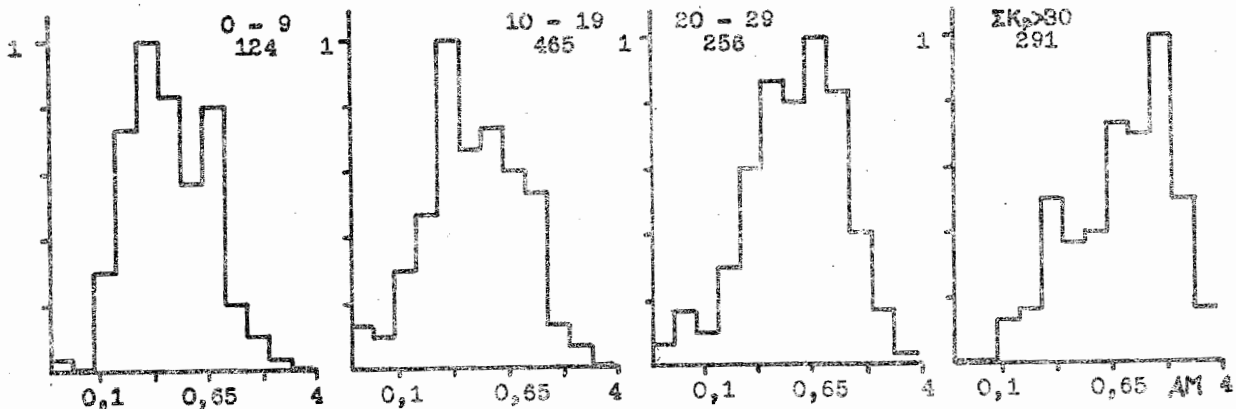


Рис. 7

Гистограммы амплитуды для разных интервалов ΣK_p

Явное повышение амплитуд при повышении возмущенности (максимум распределения при $\Sigma K_p > 30$ находится на амплитуде 1600 K) подтверждает усиленный приток энергии и/или более глубокое понижение N_e при возмущениях. Рис. 8 на котором показана гистограмма амплитуд в раз-

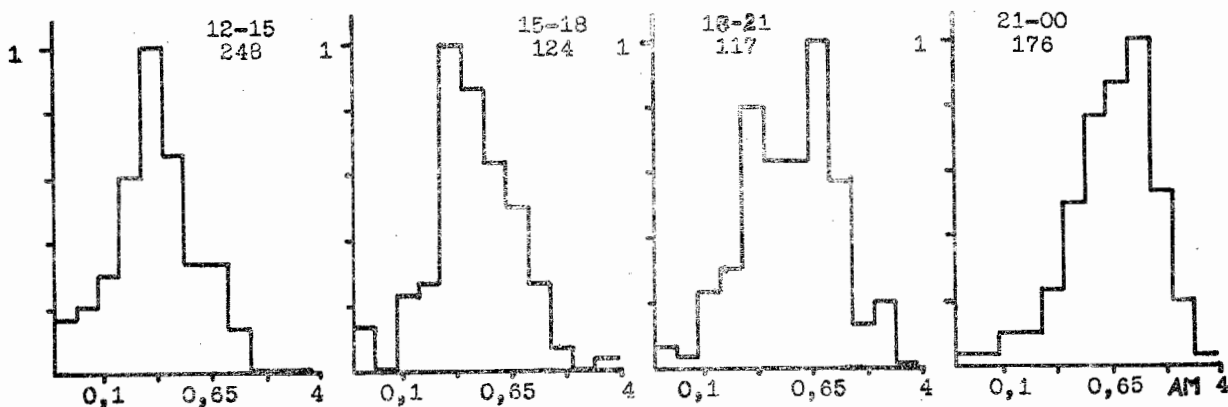


Рис. 8

Гистограммы амплитуды для разных интервалов геомагнитного времени

ных интервалах геомагнитного времени, уточняет рис. 5. В секторе 12 - 15 MT наблюдается максимум амплитуд 250 K, а в секторе 21 - 00 MT около 1000 K в согласии с рис. 5, но в секторе 18 - 21 MT видно, что присутствуют оба типа распределения. Это приводит к предложению существования двух разных механизмов повышения T_e , смена которых происходит в секторе 18 - 21 MT.

Рис. 9 и 10 более детально показывают зависимости спада боков повышений T_e от степени геомагнитной возмущенности и от геомагнитного времени. С одной стороны видно, что

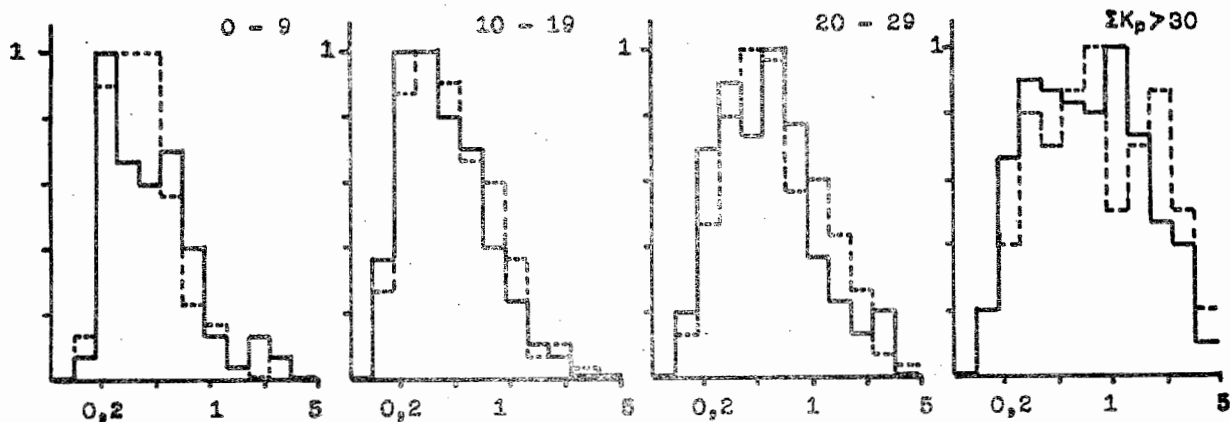


Рис. 9

Гистограммы крутизны боков для разных интервалов ΣK_p . Жирная линия - экваториальный бок, штрихованная линия - авроральный бок.

при спокойных условиях склоны небольшие ($\sim 250 K/^\circ$), но с повышением активности крутизна склонов повышается до $1200/^\circ$, т.е. при повышенной активности более четко выражены границы возмущенной зоны. Повидимому, повышение склона при возмущениях частично связано с увеличением амплитуд пиков, но рост крутизны превалирует над ростом амплитуды. С другой стороны рис. 10 показывает пологие бока повышений в дневном секторе (порядка $250 K/^\circ$), причем в ночном секторе 00 - 03 MT наблюдается самая разная крутизна от $200 K/^\circ$ до $3500 K/^\circ$.

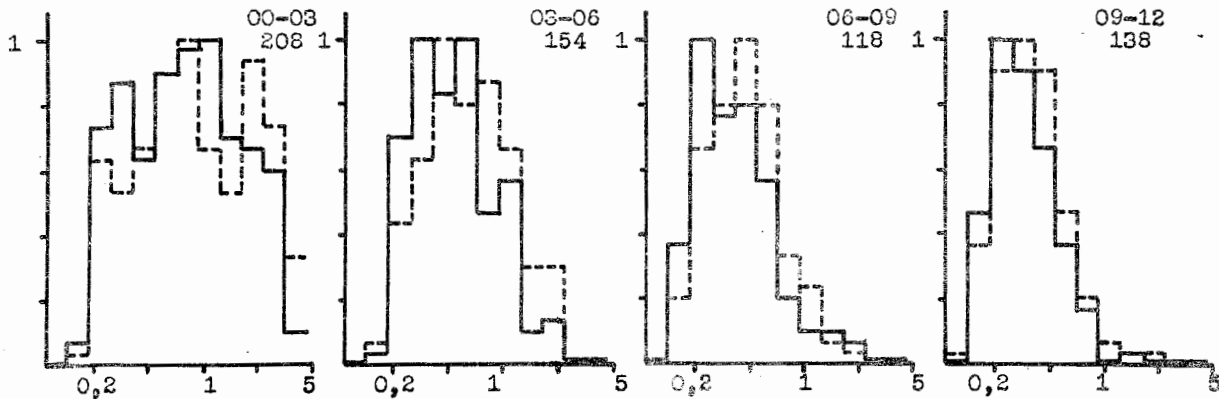


Рис. 10

Гистограммы крутизны боков для разных интервалов геомагнитного времени

4. Дискуссия

В начале этого абзаца необходимо упомянуть вышеприведенный факт, что все измерения проводились плоским датчиком, направленным с точностью до $\pm 15^\circ$ вдоль вектора скорости. Для субавроральной зоны это означает, что в случае анизотропии T_e прибор предпочтительно измеряет перпендикулярную составляющую $T_{e\perp}$. Так как исследования ведутся в небольшом диапазоне широт, т.е. и наклонений, возможно ожидать достаточную однородность измерений и считать все результаты представительными.

Показанные результаты далеко не исчерпывают данный материал. Предполагается его существенное расширение и, возможно, вытекающее из этого уточнение некоторых зависимостей. Кроме этого, придется еще найти пока не замеченные взаимосвязи. Но даже с этими оговорками на основе имеющейся информации можно сделать некоторые предложения о природе субавроральных повышений T_e . Возвращаясь к рис. 3 и 4, остановимся на взаимном положении зоны повышений T_e и линии конвекции. На основе их согласного хода именно для высших потенциалов можно предположить, что повышения T_e связаны с определенной потенциальной поверхностью, и начиная вечерним сектором (около 19 - 20 МТ), где начинается застой конвекции [3] и где, согласно рис. 8, действуют оба механизма, ведущие к повышениям T_e , зона повышений T_e в ночном секторе совпадает с главным ионосферным провалом. Это обстоятельство, т.е. антикорреляция широтных ходов N_e и T_e , наблюдалось в секторе 20 - 04 МТ в многих экспериментах и можно предположить, что здесь самым важным механизмом повышения T_e является понижение электронной концентрации.

Наоборот, в окрестности полудня, где главный ионосферный провал достигает широт порядка 75° [2], зона повышений T_e в спокойных условиях располагается около широты 60° . При этом в данном секторе наблюдается совсем другой характер самих повышений: пологий склон боков, низкие значения амплитуд. Здесь необходимо подчеркнуть, что эти низкие значения имеют выделяющийся максимум (сравни рис. 8, первое табло слева). Таким образом для этой области напрашивается другой механизм, связанный с притоком энергии - например потоки мягких электронов.

5. Заключение

На основе анализа субавроральных повышений T_e , наблюдаемых на спутнике "Интеркосмос-19" в диапазоне высот 500 - 1000 км в период с начала марта до начала августа 1979г, определены основные характеристики повышений T_e : ширина 1 - 4 градуса инвариантной широты, относительная амплитуда (в сравнении с базисным широтным ходом T_e) 200 К - 1500 К, диапазон крутизны склонов боков от 150 К/° до 4500 К/° с наиболее вероятной крутизной 350 К/°. Повышения T_e расположены в диапазоне инвариантных широт $57^\circ - 63^\circ$ с минимальным

значением около 06 часов и с максимальным значением около 16 часов МТ. С повышением уровня геомагнитных возмущений зона повышений T_e смещается к экватору на $5^\circ - 8^\circ$. При этом со статистической точки зрения сумма восьми предшествующих значений K_p является параметром, лучше отображающим условия возмущенности, чем текущий индекс K_p . Амплитуды дневных повышений T_e составляют ~ 250 К, амплитуды повышений в ночном секторе достигают 1000 - 2000 К, в зависимости от уровня геомагнитной возмущенности.

- [1] К.Кубат, Я.Клас, Я.Шмиллауер, В.В.Афонин, Аппаратура для исследования внешней ионосферы, ИЗМИРАН СССР, Москва 1980, 120.
- [2] J.M.Grebowsky, H.A.Taylor Jr., Planet. Space Sci., 1983, 31, 99.
- [3] S.Quegan, G.J.Bailey, R.J.Moffett, R.A.Heelis, T.J.Fuller-Rowell, D.Rees, R.W.Spiro, J.Attn.Terr.Phys, 1982, 44, 619.