
МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE



*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ*

МАГНИТОСФЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 10

МОСКВА 1988

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ В СУБАВРОРАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ВО ВРЕМЯ
СУББУРИ 27-28 ОКТЯБРЯ 1977 г.

В статье рассмотрены особенности формы и широтного расположения субавроральных пиков электронной температуры T_e , измеренных с помощью ВЧ-зондов во время суббури 27.-28.10.77 одновременно на двух спутниках, "Космос-900" и "Интеркосмос-17" (ИК-17), имеющих круговую орбиту радиусом ~ 500 км.

На спутнике ИК-17 проводились измерения потоков высыпающихся и захваченных электронов с энергиями $E \approx 8, 10, 14$ кэВ. Это позволило четко отделить область аврорального нагрева ионосферных электронов, обусловленного высыпающимися электронами, от области субаврорального повышения T_e . На рис.1 приведены сравнительные данные по потокам высыпающихся электронов (1,а,б) и температуре тепловой плазмы, полученные на спутнике ИК-17 в субавроральных областях. Видно, что во всех случаях можно проследить две зоны повышения T_e - субавроральную и авроральную. Повышение T_e в авроральной зоне как правило можно связать с потоками высыпающихся частиц.

Измерения электронной температуры T_e на спутниках "Космос-900" и ИК-17 проводились в вечерних и ночных секторах местного времени: 21.40-23.30 LT ("Космос-900") и 0.20-2.30 LT (ИК-17). Рис.2 иллюстрирует широтные вариации субаврорального повышения T_e по данным измерений на спутнике "Космос-900". Как видно из рисунка, перед началом суббури (21.00-03.00 UT 26.-27.10.77) четко выделить субавроральное повышение T_e в авроральной области невозможно. Наблюдаемые две области увеличения T_e практически сливаются и в диапазоне $\Lambda = 50-68^\circ$ формируется широкий максимум T_e , иногда с изрезанной структурой.

Наиболее интенсивные и ярко выраженные пики T_e в субавроральной области имели место в фазе развития бури. В это время температура субаврорального пика была на 2 000-3 000 К выше, чем в авроральной области, а широтная протяженность этих пиков составляла 2-3° инвариантной широты.

На фазе восстановления широтная протяженность пиков увеличивалась до 8-10°, но значение температуры практически не менялось. Когда $D_{st} = 40$ нТл (субавроральные пики на фоне аврорального), повышение температуры можно различить, несмотря на то, что их форма становится более расплывчатой и они, перемещаясь к полюсу, начинают сливаться с областью аврорального повышения температуры.

На рис.3 приведены несколько случаев одновременных температурных измерений (с точностью 2-7 мин) на спутниках "Космос-900" и ИК-17 в зоне инвариантных широт 40-70° в различные моменты магнитной суббури. В фазе развития бури (рис.3,а,б) $D_{st} \approx 135$ нТл, субавроральная максимальная температура быстро возрастает до значения 3500 К и температурный пик уширяется на 2-4°. Характерно, что на широте $\Lambda \approx 40^\circ$ значения T_e практически одинаковы на всех долготах, тогда как в авроральной области характер изменения температуры быстропере-

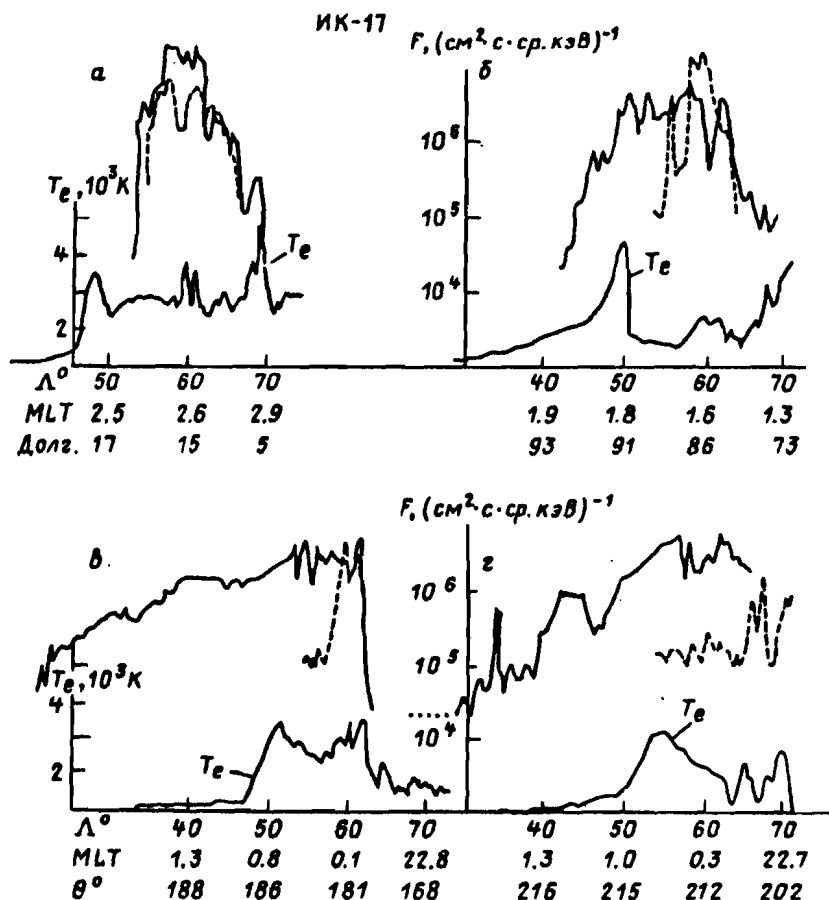


Рис.1. Потоки электронов с $E \approx 8$ кэВ (непрерывная линия - высыпающиеся, штриховая - захваченные) и электронная температура T_e : а-в - 28.10.77: а - 0.21 UT, б - 19.13 UT, в - 13.00 UT, г - 29.10.77, 11.00 UT

менен. Можно отметить, что значение T_e в вечернем секторе были несколько выше, чем в послеполуденном.

По мере развития суббури, к моменту максимума и далее (рис.3,б), значения температуры субавроральных пиков остаются приблизительно одинаковыми, однако разница в значениях T_e на $\Lambda = 40^\circ$ в полуденном и вечернем секторах стала более значительна 900-1000 К. В авроральной области это различие температур при разных MLT (местном магнитном времени) значительно меньше, что свидетельствует о наличии во время суббури эффективного механизма нагрева ночной ионосферы средних широт, действующего в послеполуденном секторе.

После максимума суббури (рис.3,в,г,д) характер субаврорального увеличения T_e меняется со стороны экватора (форма максимума становится более пологой), а с полярной стороны - остается крутой.

Наибольшие значения субавроральных температур наблюдались в фазе развития бури. Например, через 10 ч после суббури значение температуры достигло 3500 К, а через 13 ч - 2500 К. В фазе восстановления амплитуда температурного пика медленно уменьшается.

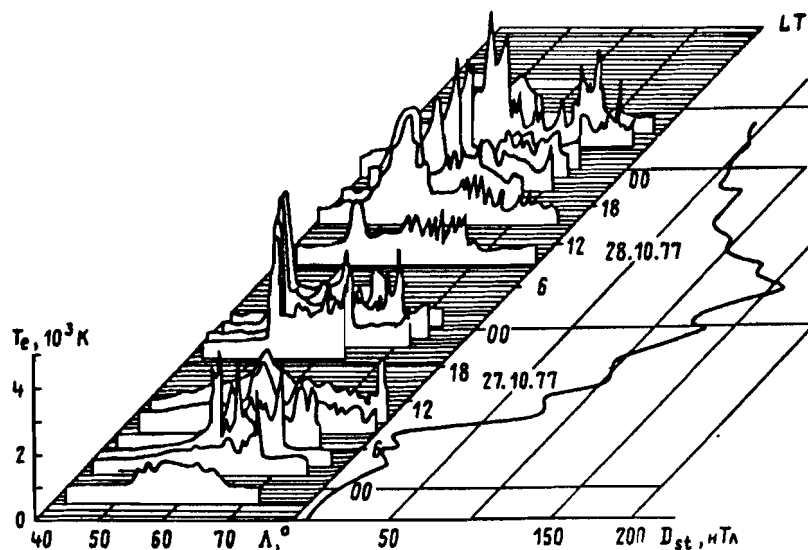


Рис.2. Изменение формы и широтного расположения субаврорального пика T_e в зависимости от фазы магнитосферной суббури (~ 500 км) "Космос-900"

Значения инвариантных широт, соответствующих максимуму субаврорального пика T_e в зависимости от значений D_{st} -вариаций, показаны на рис.4. В фазе развития суббури положение максимума субаврорального пика хорошо согласуется с изменением значения D_{st} -вариаций: с увеличением D_{st} -вариаций максимум субавроральной температуры перемещается к экватору; в период восстановления возвращение максимума в прежнее положение происходит несколько быстрее, чем скорость уменьшения значений D_{st} -вариаций. Этот процесс достаточно сложен и определяется целым рядом факторов: геомагнитной активностью, изменением состава и концентрации ионов, и, соответственно, химическими процессами в ионосфере, происходящими в результате изменения состава и температуры нейтральной атмосферы и т.д.

Полагают, что источником субаврорального нагрева электронов являются частицы кольцевого тока [1,2]. Механизм передачи энергии кольцевого тока на малые высоты, в ионосферу, пока недостаточно ясен. Имеется только несколько гипотез о возможных источниках нагрева электронов в области широт $\lambda = 45-60^\circ$, а именно: в результате развития ионно-циклотронной неустойчивости, способствующей нагреву магнитосферных электронов и передаче тепла вниз [1]; нагрев за счет кулоновских столкновений частиц кольцевого тока с частицами ионосферной плазмы [2]. Результаты измерений высыпавшихся электронов с энергиями $50 \text{ эВ} \leq E \leq 15 \text{ кэВ}$, концентрации и температуры тепловых электронов, потоков супертепловых электронов на спутнике "Injun-5" ($h \approx 2500$ км) позволили высказать гипотезу, согласно которой источником нагрева является протонный кольцевой ток, но которая не нашла подтверждения для меньших высот ($h \approx 1300$ км). Для объяснения нагрева электронов на малых высотах выдвигаются две гипотезы [3]. Согласно одной, тепловая энергия передается из области ее генерации

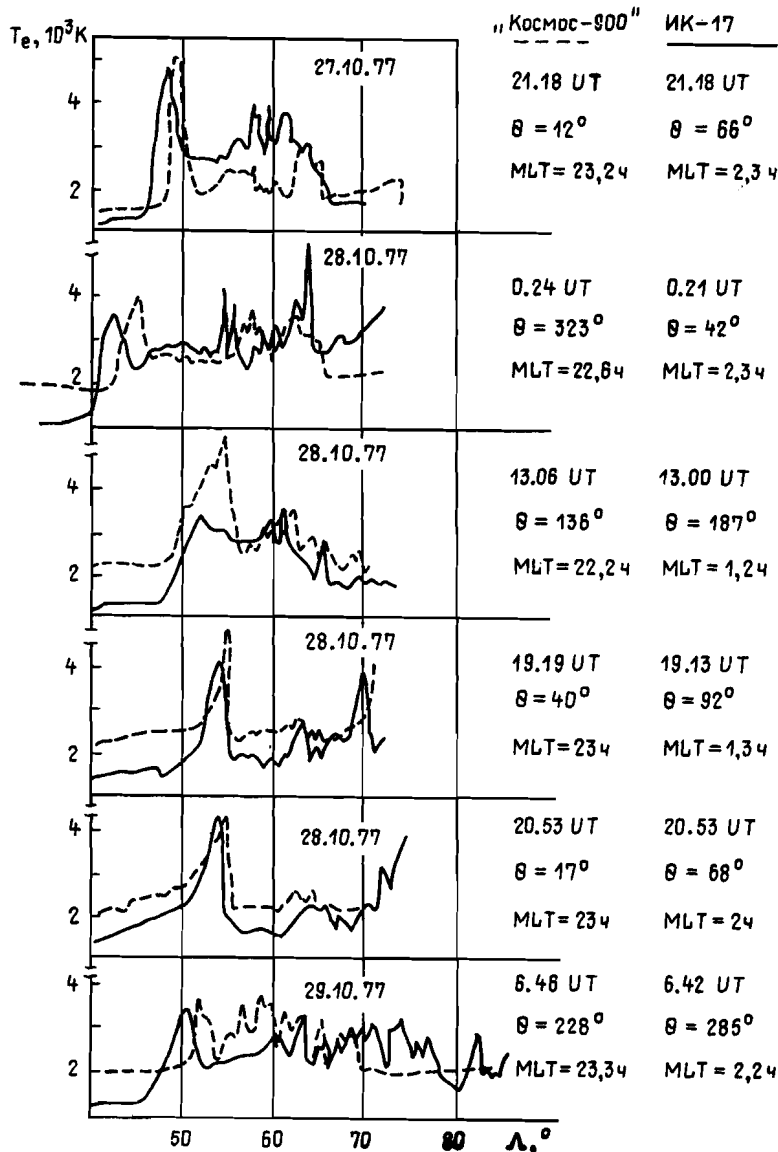


Рис.3. Одновременные измерения T_e на спутниках "Космос-900" и ИК-17 в области инвариантных широт $40-70^\circ$ в различные моменты магнитной суббури

в ионосферу за время, которое требуется силовым линиям магнитного поля для того, чтобы продрейфовать в экваториальном направлении на $5-7^\circ$ (для $h = 1000$ км). Согласно другой гипотезе, нагрев происходит в результате поглощения генерируемых в магнитосфере волн, которые испытывают рефракцию в экваториальном направлении при распространении в плотной ионосфере.

Полученная нами хорошая корреляция между изменением инвариантной широты максимума субаврорального пика и поведением D_{st} -вариаций в фазе развития и в максимуме суббури свидетельствует о влиянии протонного кольцевого тока на повышение субавроральной температуры электронов. Изменение формы температурного максимума от наиболее узкого

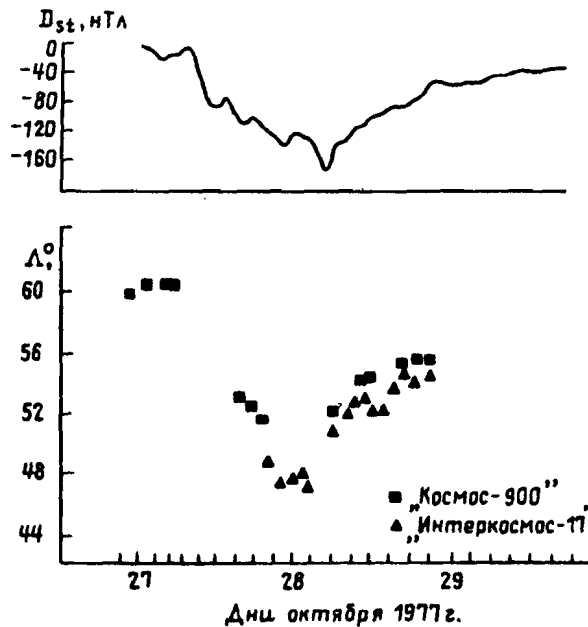


Рис.4. Изменения D_{st} -вариаций во время магнитосферной суббури и инвариантной широты максимума субаврорального пика T_e . В фазе развития суббури положение максимума пика T_e хорошо контролируют изменения D_{st} -вариаций: с увеличением D_{st} -вариаций максимум субаврорального пика перемещается к экватору

($2-3^\circ$) в фазе восстановления, максимальная T_e в пике, наблюдающаяся в фазе развития суббури при сравнительно небольших значениях D_{st} -вариаций, а также одинаковое на разных долготах повышение T_e в субавроральных пиках ($h \approx 500$ км) позволяют судить о механизме нагрева плазмы, действующем в субавроральной области. Очевидно, что источник нагрева плазмы, действующий в субавроральной области, имел большую протяженность по долготе, не менее $70-50^\circ$ (рис.5).

Первоначально формировался узкий субавроральный пик, приблизительно симметричный относительно экваториальной и полюсной сторон. По мере развития суббури пик видоизменялся: уширялся, его экваториальный склон становился пологим и растянутым. Динамика широтного поведения и формы субаврорального пика T_e хорошо согласуется с гипотезой об ионно-циклотронном механизме нагрева и представлениями о том, что этот механизм наиболее эффективен в области пересечения холодной плазмы плазмосферы и горячих частиц кольцевого тока.

Сделаем выводы.

1. Широтная локализация максимума субаврорального пика T_e хорошо соответствует ходу изменения D_{st} -вариаций, особенно в период фазы развития суббури и во время ее максимума.

2. Широтная протяженность субаврорального температурного максимума, измеренная одновременно на двух спутниках, находится в непосредственной зависимости от динамики D_{st} -вариаций. Минимальная ширина ($2-3^\circ$) наблюдается в фазе развития суббури, в фазе восстановления ши-

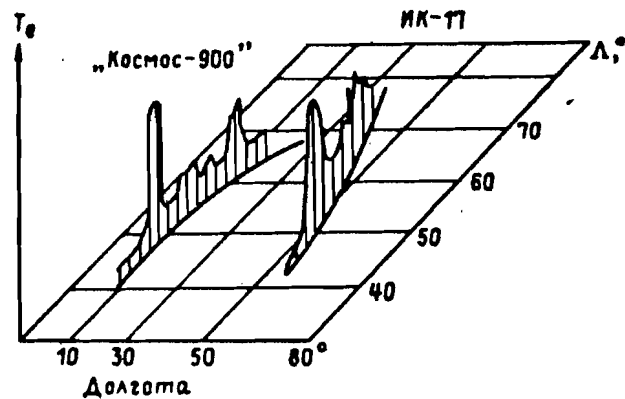


Рис.5. T_e измеренная одновременно на двух спутниках, находящихся на разных долготах

рина пика - 7° . Экваториальная и полярная граница повышения температуры в фазе развития одинаковы. В фазе восстановления экваториальная граница становится более пологой.

3. Максимальные значения температуры субаурального пика наблюдается в фазе развития суббури (около 5 000 К), в это же время значения температуры в ауральной зоне на 1 000-2 000 К меньше.

4. Характер поведения субауральных пиков в дополуночном (22-23 ч MLT) и послеполуночном (01-03 ч MLT) секторах одинаков. Это свидетельствует о том, что источник нагрева имел большую протяженность по долготе (не менее $50-70^\circ$).

Abstract

The character and latitude dependence of the subauroral maxima of the electron temperature T_e measured by HF-probe during the substorm on October 27-28, 1977 simultaneously onboard the "Cosmos-900" and "Intercosmos-19" satellites are presented and discussed.

Список литературы

1. Cornwall J.M., Coronti F.V., Thorne R.M. Unified theory of SAR arc formation at the plasmopause//J.Geophys. Res. 1971. Vol.76. P.4428-4439.
2. Cole K.D. Stable auroral red arcs, sinks for energy of D_{st} main phase//J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70, P. 1689-1697.
3. Burke W.J., Braun H.J., Munch J.W., Sagalin Rita C. Observation concerning the relationship between the quiet time ing current and electron temperatures at trough latitudes//Plan . Space Sci. 1979. Vol. 27, N9. P.1175-1185.