

УДК 550.385.41

*В. В. Афонин, В. М. Филиппов, Л. В. Шестакова,
В. Н. Алексеев*

**УЗКИЕ ПРОВАЛЫ ИОНИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ F
ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СО СПУТНИКА «КОСМОС-900»
И ИХ СОПОСТАВЛЕНИЕ С НАЗЕМНЫМИ ИОНОСФЕРНЫМИ
НАБЛЮДЕНИЯМИ**

Приведены результаты измерений параметров узких провалов в ионизации области F ионосферы со спутника «Космос-900». Обнаружено, что регистрация узких провалов ионизации всегда сопровождается резким повышением электронной температуры в таких же узких широтных областях. По одновременным наземным и спутниковым измерениям при пролетах спутника вблизи меридиана Якутской цепочки станции показано, что в моменты регистрации спутником узких провалов ионизации на ионограммах наземной ионосферы станции появляются дополнительные следы отражений от области F. Эти дополнительные следы интерпретируются как образование узкого провала ионизации в области F, регистрируемого по данным наземных ионосферных измерений.

О случаях регистрации на спутниках узких провалов ионизации на высотах области F, пространственно совпадающих с полосой быстрого дрейфа ионов к западу, сообщалось в [1, 2]. Появились также сообщения [3, 4] о регистрации узких струй быстрого западного дрейфа по другим спутниковым измерениям. В работах [5, 6] по одновременным измерениям на спутниках и наземных станциях ионосферного радиозондирования были обнаружены характерные изменения в структуре высокоширотной ионосферы (F₃-отражения), которые свидетельствуют об образовании узких (~100–200 км) и глубоких (~2÷5·10⁴ эл/см³) провалов в широтном распределении электронной плотности N_e на высотах области F в моменты регистрации на спутниках узких струй быстрого дрейфа ионов к западу, обусловленных развитием интенсивных (до ~300 мВ/м), направленных к полюсу, электрических полей вблизи зенита станции наблюдения. Образование таких узких провалов ионизации в [5, 6] связывалось с изменением скоростей некоторых фотохимических реакций, приводящих к ускорению рекомбинационных процессов на этих высотах в условиях сильных электрических полей, и с выносом ионизации области F на дневную сторону. Следует отметить, что до настоящего времени узкие провалы в N_e, зарегистрированные спутником на высотах области F, еще не сопоставлялись с результатами наземного ионосферного радиозондирования.

В настоящей работе будут рассмотрены некоторые случаи регистрации узких провалов ионизации на спутнике «Космос-900» и сопоставлены с данными вертикального (ВЗ) и возвратно-наклонного (ВНЗ) зондирования ионосферы на Якутской меридиональной цепочке станций. При этом наземные ионосферные наблюдения анализируются в те моменты времени, когда спутник регистрирует узкие провалы в широтном распределении электронной концентрации вблизи меридиана наземных станций ионосферного радиозондирования. Мы предполагаем, что если регистрируемые

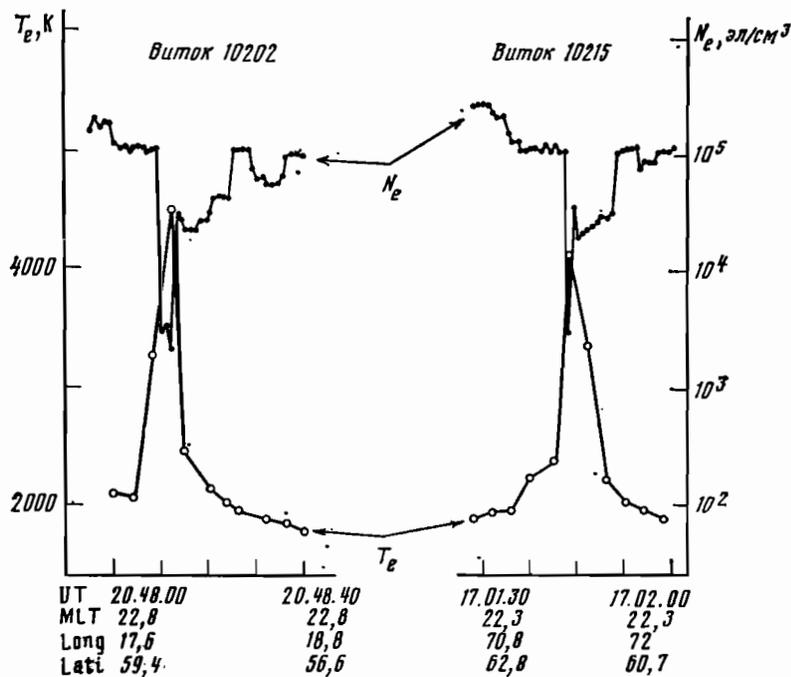


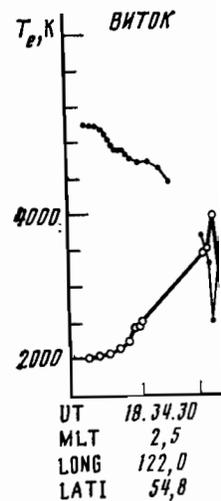
Рис. 1

на ИСЗ «Космос-900» узкие провалы в N_e обусловлены образованием быстрых ионных дрейфов к западу, т.е. развитием локальных интенсивных, направленных к полюсу электрических полей вблизи ионосферной проекции плазмопаузы, то на ионограммах наземной ионосферной станции, над которой в это время пролетает спутник, должны появиться дополнительные следы отражений от области F, свидетельствующие об образовании над станцией наблюдений узких провалов ионизации [5, 6].

Кроме того, наблюдения N_e в данном эксперименте были существенно дополнены данными измерений электронной температуры T_e на борту спутника. В результате выборки узких провалов ионизации по следующим критериям: ширина провала $1 \div 2^\circ$, перепад электронной концентрации на полпорядка величины и более — обнаружено, что электронная температура имеет очень резкий максимум в периоды наблюдений узких провалов.

Спутник «Космос-900» был выведен на близкую к круговой орбиту в диапазоне высот $h \approx 500$ км с накоплением $83^\circ 30'$ III.1977 г. Период обращения спутника составляет ~ 95 мин. Электронная концентрация на борту спутника измерялась при помощи ионных ловушек [7], а электронная температура — высокочастотным зондом, который является видоизмененным ленгмюровским зондом [8].

На рис. 1 приведены типичные примеры регистрации узких провалов ионизации в области F, сопровождавшихся резкими пиками в значениях электронной температуры за 25.I.1979 г. на витке 10 202 и за 26.I.1979 г. на витке 10 215. Значения N_e обозначены темными кружками, а T_e — светлыми. В нижней части рисунка указаны моменты измерений в мировом и местном времени и координаты спутника в географической системе координат. Как видно из рисунка, в обоих случаях наблюдаются очень узкие по широте (~ 30 км) и глубокие (скачок от фоновой концентрации электронов до минимального значения в узком провале составляет $\sim 1,5$ порядка) провалы в широтном ходе ионизации области F. Отметим, что на витке 10 215 узкий провал регистрируется вблизи хорошо выраженной



полярной стенки глянщие узким провалам пространственно точн максимальной T_e сос изученные нами случ валов в N_e и резких м глубже узкий провал

На рис. 2 приведен мос-900» за 2.IV.1979 кий узкий (~ 100 км) провала, что особенн наблюдается обычны но в области узкого п

Рассмотрим резул рений на ст. Якутск,

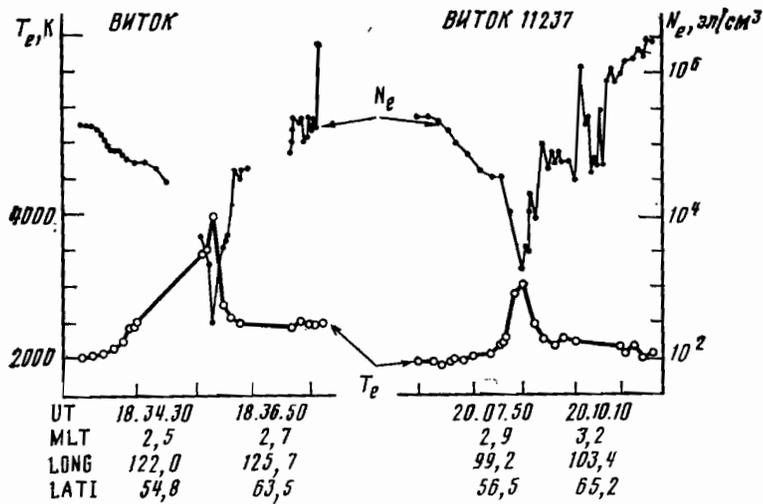


Рис. 2

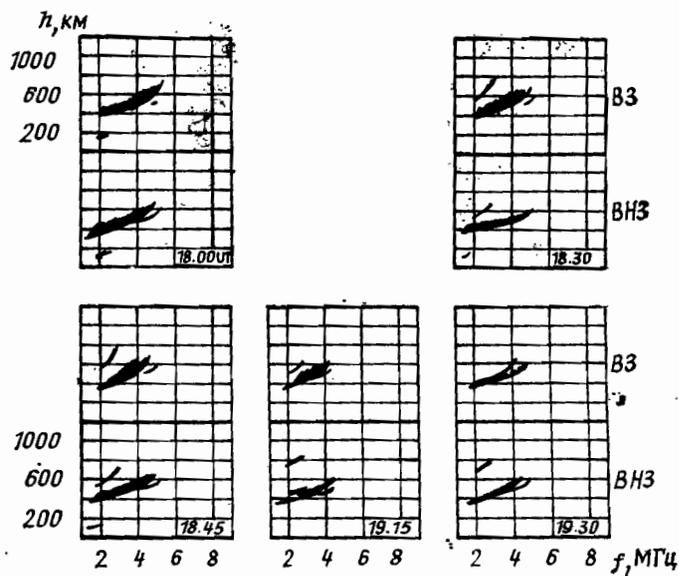


Рис. 3

полярной стенки главного ионосферного провала (ГИП). Соответствующие узким провалам ионизации резкие пики электронной температуры пространственно точно совпадают с ними, а разность между фоновой и максимальной T_e составляет ~ 2000 К. При этом следует заметить, что изученные нами случаи измерений на спутнике «Космос-900» узких провалов в N_e и резких максимумов в T_e показывают такую зависимость: чем глубже узкий провал ионизации, тем больше скачок T_e .

На рис. 2 приведены результаты измерений N_e и T_e на спутнике «Космос-900» за 2.IV.1979 г. Как видно из рисунка, спутник регистрирует резкий узкий (~ 100 км) провал ионизации вблизи полярной стенки главного провала, что особенно четко видно на витке 11 237. На витке 11 236 наблюдается обычный плавный подъем T_e в области главного провала, но в области узкого провала ионизации регистрирует скачок T_e на ~ 800 К.

Рассмотрим результаты одновременных наземных ионосферных измерений на ст. Якутск, когда спутник пролетал на $\sim 4^\circ$ западнее меридиана

станции наблюдения и зарегистрировал узкий провал ионизации. На рис. 3 приведены данные ионосферной станции за пять сроков наблюдений в виде ионограмм ВЗ и ВНЗ. Использовалась антенна типа «горизонтальный ромб», которая позволяет получать информацию о структуре отражающей области с северного направления. Из рис. 3 видно, что дополнительная отражающая структура (F3_s-отражения по терминологии [5, 6]), свидетельствующая о развитии узкого провала ионизации, появляется в 18.30UT, т. е. вблизи момента пролета спутника, а во время предшествующего наблюдения в 18.15UT этот след не регистрировался. F3_s-Отражения наблюдаются до 19.15UT, постепенно уменьшая свою высоту и сливаясь с регулярным F2-слоем.

В это же время ВНЗ показывает кратное отражение от F2-слоя, которое обычно характеризуется удвоенной дальностью F2-отражения. В 19.30UT остаются только регулярное и кратное F2-отражения. Следовательно, основываясь на результатах [5, 6], можно предполагать, что узкие провалы ионизации, регистрируемые спутником «Космос-900», также обусловлены развитием «поляризованного джета».

В работе [9] по одновременным измерениям на ракетах и на установке некогерентного рассеяния радиоволн в Чатанике было показано, что в сильных электрических полях (>60 мВ/м) увеличивается высотный уровень перехода от молекулярных составляющих к атомным (на ~50 км) и резко возрастает скорость реакции $N_2 + O^+ \rightarrow NO^+ + N$, а рост концентрации NO^+ способствует быстрому уменьшению N_e из-за диссоциативной рекомбинации. В [10] по измерениям на радаре некогерентного рассеяния в Миллстоун-Хилле температуры электронов и ионов, концентрации и скорости дрейфа ионизации было также показано, что области быстрых западных ионных дрейфов, увеличения электронной и ионной температур, и сильной депрессии N_e пространственно совпадают и для объяснения образования узких провалов в послеполуденном секторе авторы [10] привлекают вышеописанный механизм. В работе [11] по наблюдениям на Европейском радаре некогерентного рассеяния также было обнаружено пространственное совпадение областей понижения N_e и увеличения T_e . Этот факт автор [11] объясняет тем, что при постоянстве поступающей энергии на высоты области F (в условиях отсутствия выпадения частиц) рост T_e влечет за собой уменьшение N_e . В [12] по данным этого же радара делается вывод, что увеличение T_e без роста N_e может быть вызвано интенсивными электростатическими волнами, генерируемыми при нелинейном взаимодействии быстрых авроральных электронов с плазмой области F.

Таким образом, можно считать, что пространственно-временное совпадение узких провалов в N_e с резкими пиками величин T_e объясняется достаточно сложными физическими явлениями в верхней ионосфере и для их понимания необходимы дальнейшие исследования.

В итоге по результатам данной работы можно сделать следующие выводы:

1. Узкие провалы (~100 км) в широтном распределении электронной концентрации по измерениям со спутника «Космос-900» пространственно совпадают с резким увеличением электронной температуры. Величина скачка электронной температуры зависит от разности между значением электронной плотности в узком провале и фоном и составляет обычно 500–3000 К.

2. Сопоставление спутниковых измерений узких провалов ионизации с наземными ионосферными измерениями показало, что на ионограммах ВЗ и ВНЗ появляются характерные следы, свидетельствующие о появлении над станцией наблюдения узкой струи быстрого западного ионного дрейфа. Следовательно, основываясь на результатах [5, 6], можно считать, что узкие провалы в N_e , наблюдаемые со спутника «Космос-900», также обусловлены этим механизмом.

3. Резкие возрастания, по-видимому, с высоты F. Для понимания которые вызывают такие туры, необходимы дан

1. Smiddy M., Burke W. near the Ionospheric. № 11. P. 543.
2. Spiro R. W., Heelis R. Atmospheric Explorer
3. Maynard N. C. On Large Geophys. Res. Lett. 19
4. Rich F. J., Burke W., in Association with S. J. Geophys. Res. 1980.
5. Филиппов В. М., Га. ионов в субавроральном ионосфере // Космич.
6. Galperin Yu. I., Khalit Drifts in the High-Lat P. 145.
7. Грингауз К. И., Гда. «Космос-378». 1. Задач Т. 14. № 6. С. 937.
8. Шмиллауэр Я., Афонии температуры в субавроральном «ИК-14» // Труды Меа сфери Земли и солн С. 215.
9. Mikkelsen I. S., Jorger Fields in the Dusk A. № A3. P. 1513.
10. Evans J. V., Holt J. M. High-Latitude F-Region
11. Schlegel K. A Case Study // J. Atmos. Terr. 1
12. Maehlum B. N., Hans F-Region Heating dur Phys. 1984. V. 46. № 6

3. Резкие возрастания T_e в области узких провалов ионизации связаны, по-видимому, с влиянием сильных электрических полей на плазму области F. Для понимания природы сложных физических механизмов, которые вызывают такой резкий и локальный скачок электронной температуры, необходимы дальнейшие исследования этих процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Smiddy M., Burke W., Sagalyn E. et al.* Intense Poleward Directed Electric Fields near the Ionospheric Projection of the Plasmapause // *Geophys. Res. Zett.* 1977. V. 4. № 11. P. 543.
2. *Spiro R. W., Heelis R. A., Hanson W. B.* Rapid Subauroral Ion Drifts Observed by Atmospheric Explorer C. // *Geophys. Res. Lett.* 1979. V. 6. № 10. P. 660.
3. *Maynard N. C.* On Large Poleward Directed Electric Fields at Subauroral Latitudes // *Geophys. Res. Lett.* 1978. V. 5. № 7. P. 617.
4. *Rich F. J., Burke W., Kelley M., Smiddy M.* Observation of Field-Aligned Currents in Association with Strong Convection Electric Fields at Subauroral Latitudes // *J. Geophys. Res.* 1980. V. 85. A5. P. 2335.
5. *Филиппов В. М., Гальперин Ю. И., Шестакова Л. В.* Полоса строгого дрейфа ионов в субавроральной F-области и ее проявление в структуре высокоширотной ионосферы // *Космич. исслед.* 1984. Т. 22. № 4. С. 557.
6. *Galperin Yu. I., Khalipov V. L., Filippov V. M.* Signature of Rapid Subauroral Ion Drifts in the High-Latitude Ionosphere Structure // *Ann. Geophys.* 1986. V. 4. № A2. P. 145.
7. *Грингауз К. И., Гдалевич Г. Л.* Исследования в ионосфере при помощи ИСЗ «Космос-378». 1. Задачи и методы исследований // *Геомagnetизм и аэрoномия.* 1974. Т. 14. № 6. С. 937.
8. *Шмиллауэр Я., Афонин В. В.* Некоторые особенности поведения электронной температуры в субавроральной и в средних областях по измерениям на спутнике «ИК-14» // *Труды Международного симпозиума по физике ионосферы и магнитосферы Земли и солнечного ветра.* Калуга. 1976. М.: ИКИ АН СССР, 1977. Т. 2. С. 215.
9. *Mikkelsen I. S., Jorgensen T. S., Kellzy M. C. et al.* Neutral Winds and Electric Fields in the Dusk Auroral Oval. I. Measurements // *J. Geophys. Res.* 1981. V. 86. № A3. P. 1513.
10. *Evans J. V., Holt J. M., Oliver W. L., Wand R. H.* The Fossil Theory of Night-time High-Latitude F-Region Trough // *J. Geophys. Res.* 1983. V. 88. № A10. P. 7769.
11. *Schlegel K.* A Case Study of a High Latitude Ionospheric Electron Density Depletion // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1984. V. 46. № 6/7. P. 517.
12. *Maehlum B. N., Hansen T., Brekke A.* Preliminary Results from a Study of the F-Region Heating during an Intense Aurora Observed by EISCAT // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1984. V. 46. № 6/7. P. 619.

Поступила в редакцию
19.VI.1987