

денных значений f_oF2 над Якутском (б) для случаев искусственной инжекции водяного пара в мезосферу, даты которых приведены в работе [5].

Как видно из фиг. 2а, возрастание геомагнитной активности (в среднем на ~25%) наблюдается со 2-го по 11-й день после инжекции водяного пара. Максимальное уменьшение f_oF2 отмечено на 7–9 день после инжекций (фиг. 2б). К исходному уровню f_oF2 возвращается на 16–18 день. Среднее значение f_oF2 над Якутском (62° N, 129° E) за 15 сут после инжекций на 0,27 МГц ниже среднего значения за 15 сут до инжекций. Этот результат хорошо согласуется с результатом работы [5], хотя пункты измерения f_oF2 разнесены на большое расстояние.

В работе [5] приведены значения f_oF2 для Линдау (51,5° N, 10° E) и по их изменению оценена масса водяного пара, занесенного в результате циркуляции в термосферу над площадью $S=10^{16}$ см² за время $t=10$ сут. По этим оценкам вышеуказанные эффекты были обусловлены появлением в F-слое 36 т водяного пара на инжекцию. Следует заметить, что уменьшение концентрации электронов в термосфере, связанное с появлением в ней водородсодержащих веществ, по-видимому, наиболее заметно на средних широтах. На высоких широтах этот эффект, возможно, будет смазан вследствие дополнительной ионизации, обусловленной возрастанием геомагнитной активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чемберлен Дж.* Теория планетных атмосфер. М.: Мир, 1981. 350 с.
2. *Мак-Ивен М., Филлис Л.* Химия атмосферы. М.: Мир, 1978. 375 с.
3. *Скрябин Н. Г.* В кн.: Динамические процессы и структура полярной ионосферы. Апатиты: 1980, с. 112.
4. *Кершенгольц С. З., Мамруков А. П., Моисеев В. Г., Скрябин Н. Г., Соколов В. Д.* Бюл. НТИ. Якутск, 1983, с. 10.
5. *Красовский В. П., Рапопорт З. Ц.* Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1983, т. 19, с. 659.

Институт космофизических исследований
и аэронавтики Якутского филиала СО АН СССР

Поступила в редакцию
12.VII.1984

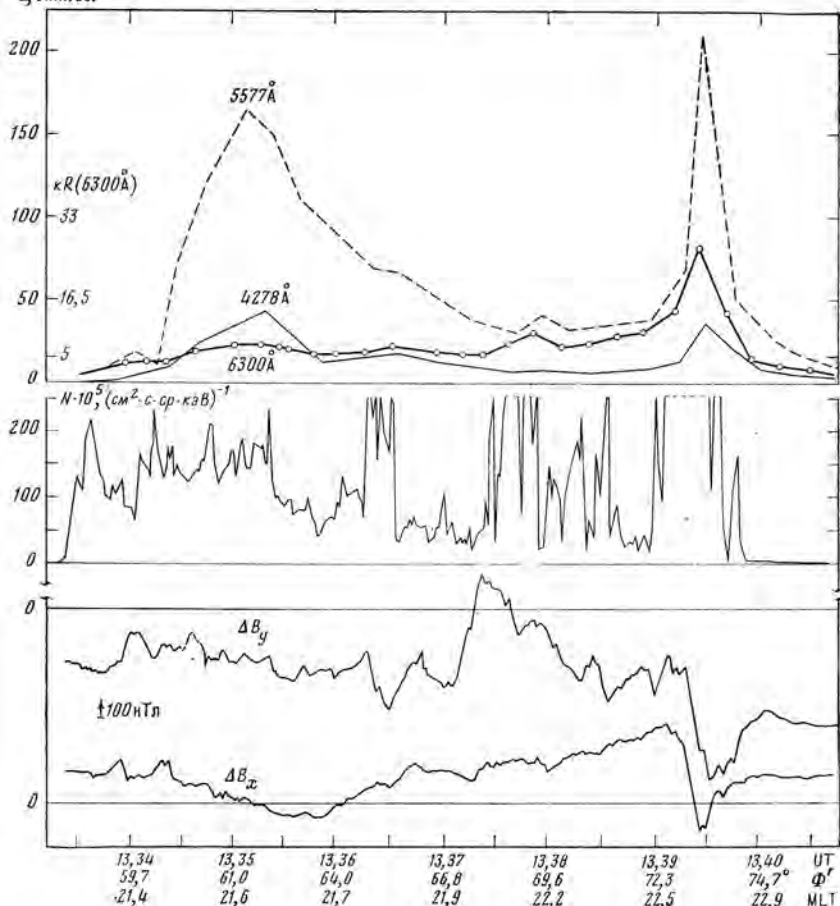
УДК 521,61:550,385.36:550,388,2

ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ТОКОВ, ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И СВЕЧЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ПОЛЯРНОЙ СУББУРИ 30 ДЕКАБРЯ 1981 г. НА ИСЗ «ИНТЕРКОСМОС-БОЛГАРИЯ-1300»

*Жугзов Л. Н., Зайцев А. Н., Кузьмин А. К., Лазарев В. П.,
Папигашвили В. О., Петров В. Г., Тельцов М. В., Тюрмина Л. О.,
Шарова В. А., Школьников С. И.*

1. В многочисленных ракетных и спутниковых экспериментах неоднократно исследовались продольные токи над полярной ионосферой, энергетические характеристики вторгающихся в ионосферу заряженных частиц, а также оптические характеристики, структура и динамика овала полярных сияний. Однако эксперименты, посвященные комплексному изучению этих явлений, до настоящего времени немногочисленны [1–3]. Целью настоящей работы является одновременное изучение продольных токов, потоков вторгающихся в ионосферу заряженных частиц и свечения ионосферы во время полярной суббури 30.XII 1981 г. по результатам наблюдений на ИСЗ «Интеркосмос-Болгария-1300» и их сопоставление с магнитными данными наземных обсерваторий, расположенных в авроральном овале вблизи проекции орбиты спутника. В работах [4–6] приведено детальное описание бортовой аппаратуры, с помощью которой получены нижеописываемые результаты, а по работе [7] взяты координаты и данные измерений вариаций магнитного поля Земли на обсерваториях Белый, Диксон, Челюскин, Тикси и Уэлен. В момент пролета спутника над обс. Тикси местное магнитное время (MLT) на вышеуказанных пунктах было равно 18.36, 19.12, 20.24, 21.48 и 01.00 соответственно.

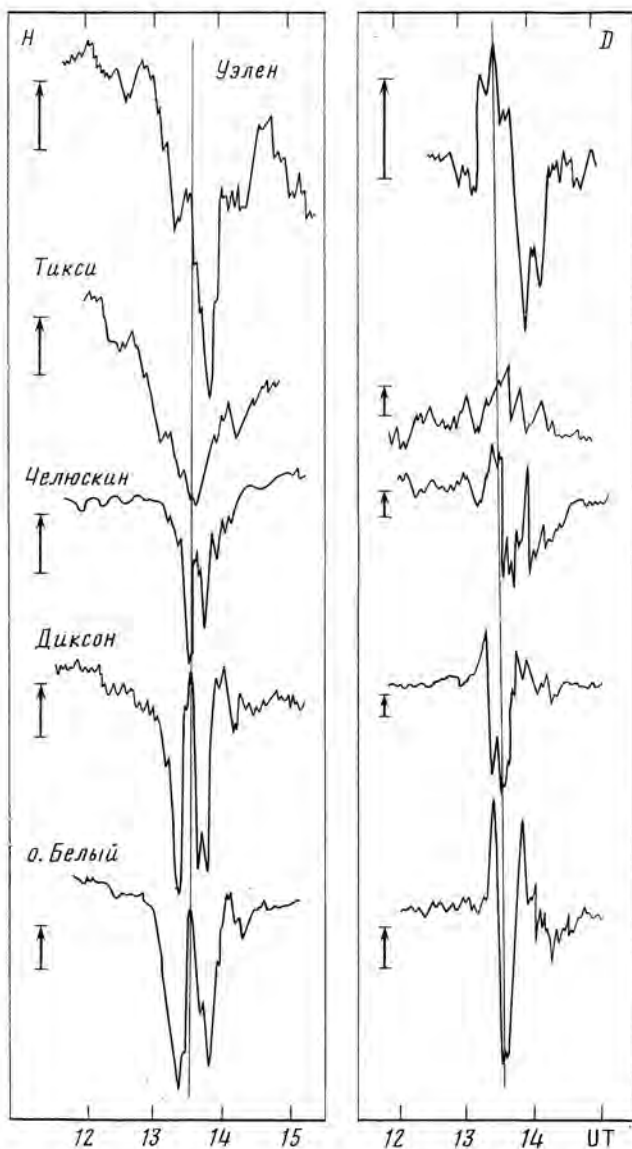
2. На фиг. 1 представлены результаты одновременных измерений на витке 2050 свечения ионосферы в спектральных линиях 6300, 5577 и 4278 Å (в килоэволюх для линии 6300 Å и относительных единицах для остальных), потока высыпавшихся в ионосферу электронов с фиксированной энергией 1 кэВ, а также значения разностей между измеренными и расчетными компонентами геомагнитного поля на уровне орбиты спутника в геомагнитной системе координат. По горизонтальной оси отложены мировое время (UT), инвариантная широта Φ' и местное геомагнитное время (MLT). Спутник пересекал вечерний сектор MLT, двигаясь в полярную шапку под небольшим углом к геомагнитному меридиану.



Фиг. 1

Измерения на спутнике совпали с максимумом развития магнитосферной суббури ($K_p=5-$, $D_{st}=-72$ нТл). В 13.33:25 UT на $\Phi'=56,4^\circ$ спутник пересек экваториальную границу овала полярных сияний, которая отождествляется по резкому увеличению потоков высыпавшихся электронов и усилению свечения ионосферы во всех измеряемых линиях спектра. В интервале 13.34:00÷13.36:20 UT видны многочисленные флуктуации интенсивности потока электронов и мелкомасштабные магнитные возмущения с амплитудой ~ 100 нТл. В этом интервале свечение ионосферы достигает максимума, а оценки относительной величины интенсивности свечения указывают на его диффузный характер. Между 13.36:20 и 13.39:00 UT интенсивность свечения в линии 5577 Å падает в 4 раза, одновременно наблюдаются интенсивные струйные потоки высыпавшихся электронов, хорошо коррелирующие с отрицательными градиентами восточной составляющей магнитного поля, которые соответствуют вытекающим из ионосферы продольным токам. Оценки величины полного потока электронов с $0,4 \leq E \leq 15$ кэВ и сравнение их с наблюдаемыми изменениями магнитного поля позволяют предположить, что вытекающие из ионосферы продольные токи обусловлены потоками высыпавшихся электронов. Продольные токи, втекающие в ионосферу, соответствуют резкому уменьшению потока электронов с энергией 1 кэВ и, вероятно, связаны с холодной плазмой, движущейся из ионосферы. Отметим также, что потоки ионов с $E=0,4 \div 15$ кэВ, высвобождающиеся в ионосферу, в среднем на 1–2 порядка величины меньше потоков электронов.

3. На приполюсном краю аврорального овала (13.39:20÷13.39:40 UT, $\Phi'=73,65 \div 74,35^\circ$) зарегистрировано резкое локальное увеличение интенсивности свечения во всех измеряемых линиях спектра, сопровождающееся интенсивным продольным током, вытекающим из ионосферы (оценка ширины токовой полосы $d \approx 100$ км и плотности тока $j_{\parallel} \approx 10^{-5}$ А/м²), и мощными потоками высыпавшихся электронов. Увеличение светового потока наблюдается на несколько секунд позже, чем появление интенсивных продольных токов и потоков высыпавшихся электронов. Этот эффект можно объяснить тем, что датчик прибора, регистрирующего свечение ионосферы, направлен по вертикали к Земле, тогда как частицы, вызывающие свечение, движутся вдоль силовой линии геомагнитного поля, составляющей на $\Phi'=73^\circ$ угол $\sim 5^\circ$ с вертикалью. Поэтому зона дискретного свечения должна регистрироваться позже,



Фиг. 2

чем интенсивные потоки электронов, что и наблюдается в эксперименте. Вычисленный интегральный поток энергии высыпавшихся электронов в интервале $E=0,4 \div 15$ кэВ в этой зоне превышает $6,5 \cdot 10^{-1}$ эрг/см²·с·ср, а поток энергии ионов в том же интервале составляет $5,6 \cdot 10^{-2}$ эрг/см²·с·ср. Отметим, что полный поток энергии ионов в диффузной зоне сияний ($\Phi' = 57 \div 66^\circ$) составляет $1,1 \cdot 10^{-1}$ эрг/см²·с·ср, а в зоне между диффузным и дискретным свечением менее $3 \cdot 10^{-3}$ эрг/см²·с·ср. Интенсивность свечения в этой узкой зоне превышает ее значение в диффузной зоне, а отношения интенсивностей основных линий 6300, 5577 и 4278 Å характерны для дискретных авроральных дуг. В 13.40 UT спутник вошел в полярную шапку, что регистрируется по одновременному уменьшению потока высыпавшихся электронов и свечения ионосферы во всех измеряемых линиях спектра, а также по исчезновению продольных токов. Отметим, что в момент пролета ширина аврорального овала в его вечернем секторе составила $\sim 20^\circ$ по меридиану и он был смещен к экватору до $\Phi' = 55^\circ$.

4. На фиг. 2 приведены магнитограммы горизонтальных компонент геомагнитного поля на вышеупомянутых обсерваториях (время пролета спутника обозначено вертикальной линией, стрелки характеризуют направление и амплитуду возмущения в 100 нТл). Выбор обсерваторий вдоль геомагнитной параллели обусловлен динамикой развития полярной суббури и сопоставлением ее характерных элементов (западной и восточной электроструй) с данными, полученными во время пролета спутника. В момент пролета указанные обсерватории перекрывают весь вечерний и полуденный секторы MLT, а проекция орбиты спутника совпадает со среднестатисти-

ческим положением разрыва Харанга. Анализ магнитограмм показывает, что суббурия начала развиваться после 12.00 UT на широтах аврорального овала и достигла максимума в Тикси в 13.36 UT, как раз в момент пролета ИСЗ над обсерваторией. Именно в этот момент времени произошло резкое усиление интенсивности западной электроструи над Уэленом и интенсивный положительный всплеск в H -компоненте магнитного поля на всех станциях западнее проекции траектории спутника: знакпеременная бухта.

С учетом расположения обсерваторий по поверхности Земли можно построить следующую схему развития суббурии. В 12.00 UT Уэлен находился в районе полуночи по MLT, а остальные станции — в вечернем секторе. В момент начала суббурии западная электроструя занимает пространство от Уэлена до Белого включительно. В 13.00÷13.15 UT происходит интенсификация западной электроструи над всеми станциями, обусловленная, вероятно, мощным вторжением в ионосферу заряженных частиц. На этом фоне в вечернем секторе развивается довольно сильная восточная электроструя, уходящая под проекцией орбиты спутника южнее Тикси. Более спокойный характер геомагнитных возмущений в Тикси в момент пролета спутника (особенно по D -компоненте) обусловлен, скорее всего, расположением обсерватории в области между восточной и западной электроструями. Резкое увеличение интенсивности свечения ионосферы на $\Phi' = 73 \div 74^\circ$, совпадающее с интенсивным, вытекающим из ионосферы продольным током на приполюсном краю аврорального овала и интенсивными потоками электронов с $E = 1 \div 3$ кэВ, можно интерпретировать в соответствии с характером развития суббурии, определенным по наземным данным, как движущийся к западу изгиб дискретных сияний [8, 9].

5. На основании вышесказанных результатов наблюдений и проведенного анализа динамики развития полярной суббурии можно сделать следующие выводы:

1) существует хорошая согласованность наблюдаемых явлений с имеющимися моделями развития полярной суббурии;

2) во время развития суббурии 30.XII 1981 г. авроральный овал расширился в вечернем секторе MLT до $\sim 20^\circ$ по меридиану и сместился к экватору до $\Phi' \approx 55^\circ$, а крупномасштабная система продольных токов расслоилась, вероятно, за счет взаимного проникновения восточной и западной электроструй;

3) вытекающие из ионосферы токи обусловлены высыпаящимися в ионосферу электронами с $E = 1 \div 3$ кэВ, втекающие токи совпадают с уменьшением потока электронов с $E = 1$ кэВ и не могут создаваться потоками высыпаящихся ионов с $E = 0,4 \div 15$ кэВ;

4) в области движущегося к западу изгиба полярных сияний аппаратурой спутника зафиксированы дискретные авроральные дуги, интенсивный продольный ток с плотностью $j_{\parallel} \approx 10^{-5}$ А/м², направленный из ионосферы, и интенсивные потоки высыпаящихся электронов с характерными «горбатыми» спектрами и максимумом в области энергий $1 \div 3$ кэВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kamide Y., Akasofu S.-I. J. Geophys. Res., 1976, v. 81, p. 3999.
2. Lui A. T. Y., Venkateson D., Anger C. D., Akasofu S.-I., Heikkila W. J., Winningham J., Burrows J. R. J. Geophys. Res., 1977, v. 82, p. 2210.
3. McDiarmid I. B., Burrows J. R., Wilson M. D. J. Geophys. Res., 1979, v. 84, p. 1431.
4. Аршинков И. С., Бочев А. Э., Долгунов Ш. Ш., Жузгов Л. Н. и др. Космич. исслед., 1983, т. 21, с. 710.
5. Лазарев В. И., Марьин Б. В., Тельцов М. В., Дачев Ц., Иванов И., Матвейчук Ю. Тезисы докладов III Международного семинара «Научное космическое приборостроение», Одесса, 1982, с. 52.
6. Петков Н. П., Гогошева Ц. Н., Гогошев М. М., Кузьмин А. К., Ангаров В. Н. Тезисы докладов III Международного семинара «Научное космическое приборостроение», Одесса, 1982, с. 34.
7. Allen J. H., Abston C. C., Kharin E. P., Papitashvili N. E., Papitashvili V. O. International Catalog of Geomagnetic Data. Report UAG-86, WDC-A and WDV-B2, Boulder, Colorado, USA, 1982, p. 191.
8. Акасофу С.-И. Полярные и магнитосферные суббурии. М.: Мир, 1971, с. 43.
9. Петров В. Г., Козелова Т. В., Лазутин Л. Л., Трейко Ж.-П. Геомагнетизм и аэрномия, 1984, т. 24, с. 232.

Институт земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР
Институт космических исследований АН СССР
Московский государственный университет
Научно-исследовательский институт
ядерной физики

Поступила в редакцию
13.VI.1984