

---

---

МЕЖДУВЕДОМСТВЕННЫЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМИТЕТ  
ПРИ ПРЕЗИДИУМЕ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR  
SOVIET GEOPHYSICAL COMMITTEE

---

---



*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ПО МЕЖДУНАРОДНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ПРОЕКТАМ*

# ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ И СВЕЧЕНИЕ НОЧНОГО НЕБА

№ 25

СОВЕТСКОЕ РАДИО  
МОСКВА 1977

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ НЕЙТРАЛЬНЫХ ВЕТРОВ НА ВЫСОТЕ МАКСИМУМА СЛОЯ $F$ С КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ

Одной из важнейших задач физики верхней атмосферы является изучение ее динамики, в частности картины ветров на ионосферных высотах. Тепловое расширение атмосферы порождает горизонтальные градиенты давления — одну из главных сил, приводящих в движение большие объемы нейтрального газа. Возникающие при этом ветры направлены в основном от подсолнечной области термосферы к антисолнечной примерно вдоль меридианов в полярных областях и зонально вокруг Земли на низких широтах [1]. Существенными отличиями этих ветров от ветров нижней атмосферы, циркулирующих вокруг областей высокого и низкого давлений, являются малое влияние вязкости и наличие значительной силы трения между нейтральными частицами и ионами. Следствие этого одним из важнейших дополнительных источников нейтрального ветра является крупномасштабное электрическое поле магнитосферной конвекции, приводящее в движение электроны и ионы, которые благодаря «ионному торможению» [2] увлекают за собой нейтральные частицы. В полярной шапке средние направления конвекции ионов и движения нейтральных атомов в общем совпадают. В овале полярных сияний около местной полуночи в области так называемого «разрыва Харанга» [3], как показывают эксперименты [4, 5], направление дрейфа и ионов меняется — ионы движутся к Солнцу, т. е. к западу и востоку вдоль овала. В вечернем секторе нейтральные частицы примерно следуют за ионами на запад вдоль овала, в утреннем секторе совпадение направлений движения несколько худшее [6, 7]. В районе местного полудня на инвариантных широтах  $70-80^\circ$ , где по измерениям Дж. Хеппнера [4] наблюдается турбулентность электрического поля, поведение нейтрального ветра непостоянно и пока плохо изучено.

Согласно измерениям нейтрального ветра в  $E$ -области с помощью радара [8], во время магнитной бури наблюдалось сильное ослабление нейтральных ветров (и даже ветры противоположного направления) на инвариантной широте  $65^\circ$  около местного полудня. Вследствие недостатка экспериментальных данных картина взаимодействия нейтральных ветров и дрейфов ионосферной плазмы еще далеко не выяснена [4, 9]. Очевидно, реальная картина ветров определяется соотношением всех основных процессов в высокоширотной верхней атмосфере, т. е. дрейфом ионов, вызываемым магнитосферной конвекцией, градиентами давления, обусловленными нагревом атмосферы солнечным излучением, локальным корпускулярным и джоулевым разогревом на высоких широтах, диссипацией энергии гравитационных волн и т. п., а также относительно более регулярных динамических процессов в верхней атмосфере средних и низких широт. Картина нейтрального ветра в  $F$ -области этих широт более регулярна и относительно лучше изучена.



Скорость и направление ветров в верхней атмосфере измеряются несколькими способами. К прямым способам относятся, в частности, оптические наблюдения движения искусственных облаков [6] и измерения доплеровских смещений линий излучения [10—12]. Эти наземные способы являются прямыми, потому что измеряют непосредственно скорость движения частиц в верхней атмосфере. Существуют и косвенные способы оценки скорости и направления нейтральных ветров, например анализ планетарной картины распределения электронной концентрации в ионосфере [13, 14], анализ данных по некогерентному обратному рассеянию [5, 7, 8]. В настоящее время ясно, что достоверную модель ионосферы нельзя построить без учета нейтральных ветров и дрейфовых движений ионосферной плазмы. Влияние ветров на распределение электронной концентрации в ионосфере, например, играет важную роль в образовании экваториальной ионосферной аномалии.

В настоящем сообщении рассматривается возможность измерения скорости ветров в F-области путем интерферометрического измерения доплеровского смещения красной кислородной линии 6300 Å с борта космического корабля. В принципе эксперимент аналогичен подобным наземным измерениям [10, 11]. В обоих случаях измерение контура производится с помощью интерферометра Фабри—Перо, сканирование — путем подачи на пьезокерамику переменного напряжения, регистрация свечения — с помощью фотоумножителя. При наземных измерениях обычно сравниваются положения эмиссионной линии при наблюдении в зените (это дает несмещенный контур) и на зенитном расстоянии 60—70° (это позволяет оценить составляющую скорости ветра по лучу зрения в точке измерений без впечатления стандарта длины волны от лабораторного источника). Со спутника целесообразно измерять относительное смещение контуров при наблюдении в двух противоположных направлениях. В результате вдоль траектории измеряется алгебраическая разность проекций скорости ветра на направление визирования (влияние переносной скорости спутника можно учесть с достаточной степенью точности). Таким образом, в течение одного витка могут быть получены данные о заметной части планетарной картины распределения скорости ветра. При регистрации на последовательных орбитах, поскольку при измерениях со спутника местное время для одинаковых широт не меняется, появляется возможность наблюдать динамику развития планетарной картины циркуляции во время магнитной бури и притом, что особенно наглядно, в системе координат, связанной с Солнцем. Получение такой планетарной картины и ее динамики является существенным преимуществом эксперимента на спутнике, поскольку при наземных измерениях с одной или даже нескольких станций получить планетарную картину и развитие ее во времени невозможно.

Ограничением метода интерферометрических измерений скорости ветра со спутника является тот факт, что при наблюдении вдоль слоя происходит интегрирование интенсивности вдоль заметной длины. Кроме того, расстояние до наблюдаемой области излучающего слоя растет с увеличением высоты. Однако при наблюдениях со спутников, имеющих низкие круговые орбиты (до 320 км), это расстояние не превышает 300 км, т. е. при наблюдении в двух противоположных направлениях сравниваются излучающие области, удаленные друг от друга меньше чем на 600 км.

На рис. 1 и 2 показан дрейф плазмы и ветров над полярными широтами для спокойных геомагнитных условий согласно работам [4] и [9], соответственно. Из сравнения рисунков ясно, что окончательная картина нейтральных ветров еще далеко не установлена. На рис. 1 направ-

ление дрейфа плазмы показано контурами линий конвекции (эквипотенциалей), направление нейтрального ветра — стрелками. Величина скорости ветра в работе [4] не приводится. Примем, что максимальная скорость ветра на этом рисунке равна 250 м/сек, а длина стрелки показывает величину скорости ветра. На рис. 2 направление дрейфа плазмы не дается, так как оно в общем совпадает с приведенным на рис. 1. Направление ветра обозначено стрелками; величина этой скорости пропорциональна длине стрелки (масштаб см. на рисунке). Штриховая линия на рисунках — произвольная орбита спутника. Пусть интерферометрические измерения 6300 Å проводятся в двух противоположных направлениях, перпендикулярных к плоскости орбиты. При этом будут регистрироваться контуры, смещенные один относительно другого. Если проекция скорости ветра на луч зрения составляет 240 м/сек, каждый контур будет смещен относительно центрального положения на 0,005 Å и относительный сдвиг контуров составит 0,01 Å. Такое смещение можно уверенно измерить, поскольку минимальная скорость, измеряемая с помощью приборов, аналогичных использованным в работе [15], составляет примерно 50 м/сек. Дальнейшее понижение порога чувствительности прибора можно осуществить, используя методику, изложенную в работе [16].

На рис. 1 и 2 вдоль орбит отложены относительные смещения контуров красной линии, которые соответствуют приведенным скоростям ветра.

Из сказанного выше ясно, что если луч зрения прибора пересекает область нерегулярных скоростей ветра, в поле зрения могут попадать участки с различными направлениями ветра. Такие неоднородности крупномасштабного движения нейтрального газа приведут к

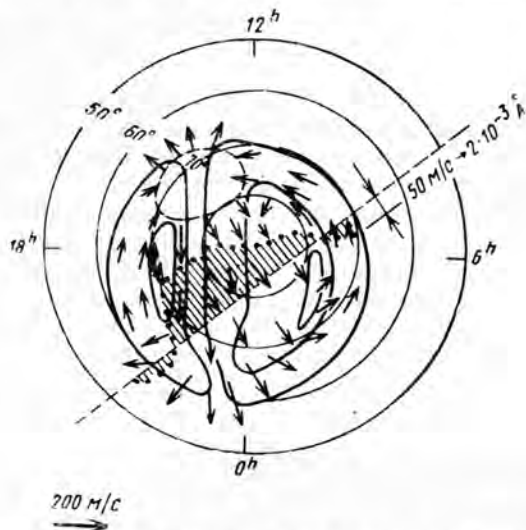


Рис. 1. Картина дрейфа ионов (сплошные линии) и ветров (стрелки) над полярными широтами в соответствии с работой [4]

Координаты — местное геомагнитное время (MLT) и инвариантная широта ( $\Lambda_0$ ). Штриховая линия — пример орбиты спутника, вдоль которой отложено (в сторону, противоположную направлению ветра) относительное смещение контуров красной линии, соответствующее приведенным ветрам

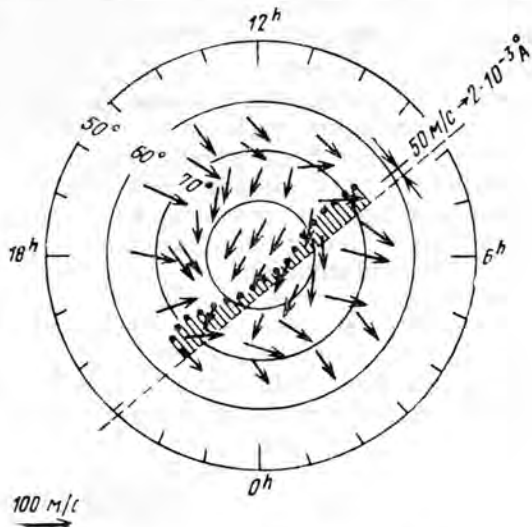


Рис. 2. Картина ветров (стрелки) над полярными широтами, согласно работе [9]

Координаты — местное геомагнитное время (MLT) и инвариантная широта ( $\Lambda_0$ ). Штриховая линия — орбита спутника, вдоль нее отложено относительное смещение контуров красной линии, соответствующее приведенным ветрам

дополнительному уширению наблюдаемого контура линии, и если его не учитывать, определяемая по контуру линия температура окажется завышенной. Максимального возможного уширения можно ожидать, когда вдоль луча зрения наблюдаются скорости в диапазоне от  $+240$  м/сек до  $-240$  м/сек. В этом случае уширение контура составит  $0,03 \text{ \AA}$ , т. е. будет соизмеримо с тепловым уширением красной линии (температуре  $T_{\text{кин}} = 1100^\circ \text{ K}$  соответствует уширение  $0,036 \text{ \AA}$ , а  $T_{\text{кин}} = 2000^\circ \text{ K} - 0,049 \text{ \AA}$ ). При диапазоне скоростей вдоль луча зрения от  $+50$  м/сек до  $-50$  м/сек уширение контура составит  $0,002 \text{ \AA}$ , т. е. внесет ошибку в определение полуширины порядка 5%, а температуры 10%. Таким образом, при интерпретации интерферометрических измерений температуры со спутника в высоких широтах необходимо принимать во внимание наличие областей, где происходит резкая перемена направления ветра (на участках протяженностью 1000—1500 км). На средних широтах, где ветры значительно более регулярны, они практически не вносят дополнительного уширения в контур линии.

Опыт работы на орбитальной станции «Салют-4» показал возможность построения конфокального интерферометра со сканированием посредством пьезокерамики и с фотоэлектрической регистрацией контуров линии  $6300 \text{ \AA}$ , способного измерять относительные смещения контуров красной линии примерно до  $0,002 \text{ \AA}$  в дневное время и в сумерки. Для измерения полного вектора скорости нейтрального ветра в слое, излучающем красную линию (высота 270 км), целесообразно сравнивать две пары контуров, наблюдаемых вдоль двух взаимно перпендикулярных линий визирования с кругловой орбиты спутника на высоте 300—350 км.

#### А B S T R A C T

The possibility of spectroscopic investigation of the planetary neutral wind velocity pattern at the F-region heights is discussed. It is proposed to measure the neutral wind velocity from a satellite by means of the Doppler shift of  $\lambda 6300 \text{ \AA}$  [OI] taking into account the satellite's velocity by comparing red line profiles observed in two opposite directions. Principally such kind of interferometric measurements can be performed also from ground stations or from an aircraft and several experiments have already been conducted in this direction. But measurements of upper atmospheric winds from manned spacecraft have several advantages over ground observations. Satellite measurements allow to obtain the information on significant part of wind velocity planetary pattern on one orbit, besides that during the registration on sequential orbits the local time for equal latitudes remains constant, and it gives the possibility to observe the development of variations of the planetary circulation pattern during magnetic disturbances in the nonrotating coordinate system (local time frame), which is preferable from physical reasons.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. H. Rishbeth. Thermosphere winds and the F-region.—J. Atmosph. Terr. Phys., 1972, 34, N 1, 1—47.
2. J. A. Fedder, P. M. Banks. Convection electric fields and polar thermospheric winds.—J. Geophys. Res., 1972, 77, N 13, 2328—2340.
3. J. P. Heppner. The Harang discontinuity in auroral belt ionospheric currents.—Geophys. Publ., 1972, 29, N 1, 105—117.

4. **J. P. Heppner.** High latitude ionospheric winds related to solar — interplanetary conditions. — Preprint X—645—73—354.
5. **A. F. Nagy, R. I. Cicerone, P. B. Hays, K. D. McWatters, J. W. Meriwether, A. E. Belon, C. L. Rino.** Simultaneous measurements of ion and neutral motions by radar and optical technique. — *Radio Sci.*, 9, N 2, 1974, 315—321.
6. **J. W. Meriwether, J. P. Heppner, J. D. Stolarik, E. M. Wescott.** Neutral winds above 200 km at high latitudes. — *J. Geophys. Res.*, 1973, 78, N 28, 6643—6661.
7. **A. Brekke, J. R. Douppnic, P. M. Banks.** A preliminary study of the neutral wind in the auroral *E*-region. — *J. Geophys. Res.*, 1973, 78, N 34, 8235—8250.
8. **A. Brekke, J. R. Douppnic, P. M. Banks.** Observation of neutral winds in the auroral *E*-region during the magnetospheric storm of August 3—9, 1972. — *J. Geophys. Res.*, 1974, 79, N 16, 2448—2456.
9. **H. Maeda.** Neutral winds and ion drifts in the polar ionosphere caused by convection electric fields. — *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 1976, 38, N 1, 197—205.
10. **E. B. Armstrong.** Doppler shifts in the wavelength of the OI 6300 line in the night airglow. — *Planet. Space Sci.*, 1969, 17, N 5, 957—974.
11. **J. W. Meriwether, P. B. Hays, K. D. McWatters, A. F. Nagy.** Interferometric measurements of the 7319 Å doublet emissions of OII. — *Planet. Space Sci.*, 1974, 22, N 4, 636—638.
12. **I. Nakamura.** On the Zeeman photometer observing upper atmospheric winds in the daytime. — *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 1974, 36, N 11, 1877—1881.
13. **S. Chandra, P. Stuble.** The development of a theoretical model of atmosphere and ionosphere. — *J. Atmosph. Terr. Phys.*, 1972, 34, N 10, 1627—1633.
14. **D. E. Baran.** Neutral winds and electric fields from model studies using reduced ionograms. — Scientific report 431, PSU, IRL — Sci — 431, 1974.
15. **В. А. Гладышев, Л. И. Графова, А. К. Кузьмин, Т. М. Мулярчик, Ю. Ф. Ермолаев, Ш. Я. Мамин, В. А. Ноткин, А. В. Скаргин, С. Р. Табалдыев.** Прибор для измерения контура красной кислородной линии 6300 Å OI и ее интенсивности с орбитальной станции. — В сб.: Приборы для исследования космоса. М., «Наука», 1977.
16. **H. F. Döbele, J. H. Massing.** Application of a Fabry — Perot spectrometer to the measurement of spectral line shift much smaller than line width. — *Appl. Opt.*, 1976, 15, N 1, 69—72.