

# Одновременное изменение электронной концентрации в области D высоких широт в обоих полушариях

Л.Б. Ванина-Дарт, Т.В. Меланина

*ФГУП «Научный центр космических информационных систем и технологий наблюдения» РКА  
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32  
E-mail: [vandart@iki.rssi.ru](mailto:vandart@iki.rssi.ru); [melanina@tochka.ru](mailto:melanina@tochka.ru)*

Целью данной работы является выявление различий практически одновременного высотного распределения электронной концентрации высокоширотной ионосферной области D обоих полушарий в «почти» магнито-сопряженных пунктах в период равноденствия, когда сезонные различия должны быть минимальными. Морфологическое рассмотрение и сопоставление данных обоих полушарий позволило сделать несколько выводов о различном воздействии вспыхивающего излучения на нижнюю область ионосферы. При этом в анализ брались как данные ракетного, так и спутникового зондирования.

## Введение

Поведение основного ионосферного параметра [e], электронной концентрации, в высоких широтах с точки зрения асимметрии различных полушарий (северного и южного) до сих пор представляет интерес для физики околоземного космического пространства.

Именно в высоких широтах наблюдается целый комплекс уникальных физических явлений, связанных с конфигурацией магнитного поля Земли и проникновением в верхнюю атмосферу плазмы солнечного ветра и энергичных заряженных частиц. Полярные сияния, случаи поглощения в полярной шапке (ППШ), высыпания высокоэнергичных протонов и электронов в равной мере интересны для физики (в виду комплексности протекающих физических процессов) и важны для практики (возможность прогнозирования различных последствий прикладного характера).

Для высокоширотной области D, являющейся нижней частью ионосферы, проблему существования асимметрии высокоширотных областей ([1-4]) необходимо рассматривать с двух сторон, как с точки зрения магнито-ионосферных, так и аэрономических различий (на высотах 50-90 км плотность нейтральной атмосферы достаточно высока). Ценную информацию об ионосферных процессах можно получить при сопоставлении экспериментальных данных, полученных на магнито-сопряженных высокоширотных областях (Арктика- Антарктика).

К выявлению собственно магнитосферных различий в определенный момент времени приходится относиться осторожно, поскольку слишком велико влияние сезонных вариаций [e] в обоих полушариях.

Если в работах [5-7] уже отмечалось существование различия в поведении нижней ионосферы (область D) высоких широт в разных полушариях, то в работе [8] авторы впервые попытались рассмотреть этот факт на более глубоком уровне при систематизации данных уникального банка ЦАО (Центральной аэрологической обсерватории Росгидромета).

Целью данной работы является выявление различий практически одновременного высотного распределения электронной концентрации высокоширотной ионосферной области D обоих полушарий в период равноденствия, когда сезонные различия должны быть минимальными.

## Данные

Измерения, рассмотренные в настоящей работе, проводились ЦАО Росгидромета на станциях ракетного зондирования о. Хейса (Арктика) и Молодежная (Антарктика) и являются частью базы данных, описание которой можно найти в [9-11]. Данные банка, являющегося основой базы ЦАО, измерялись на метеорологических ракетах М100-Б зондовым методом.

В сравнение взяты результаты зондирования на двух станциях, географические и исправленные геомагнитные координаты которых таковы: о.Хейса - 80,5° с.ш и 58,0 °в.д.; 74,3° с.ш. и 144,1° в.д.; Молодежной - 67,7° ю.ш. и 45,9° в.д.; 69,2° ю.ш. и 81,4° в.д.

Более детальное уточнение геомагнитных координат будет представлено в дальнейшем по дате и состоянию магнитного поля Земли.

В описанном выше банке данных имеется в наличие серия пусков, проведенных на обеих станциях за период равноденствия (и около него) 1989 г. (информация он них представлена в табл.1).

Таблица 1. Информация о пусках, проведенных на ст. Молодежная и о.Хейса

ст.	Дата проведения пуска	Время проведения пуска в UT	$\lambda$ в гр.	$\Sigma Kp$	$F_{10,7}$	Дата в UT и интенсивность всплесков жесткого рентгена	Поток протонов с $E > 5$ МэВ, $см^{-2} с^{-1}$	Форбуш-эффект, %
М	06.09.1989	14.07	91	21	288	00.47 МЗ	50	-3
Х	-	15.05	88	-	-	-	-	-
М	20.09.1989	14.07	88	12	173			-6
Х	-	15.05	92	-	-			-
М	04.10.1989	14.07	84	13	234		500	0
Х	-	15.05	98	-	-		-	-

### Гелиогеомагнитная обстановка в сентябре 1989 г.

В целом сентябрь 1989 г. нельзя отнести к сильно возмущенному периоду, когда гелиогеомагнитная активность была столь же высока, как, например, в октябре того же года [12]. Тем не менее, как видно из таблиц, представленных выше, в дни проведения большинства пусков  $\Sigma Kp$  (суммарный за сутки Кр-индекс) был более 15 (в то время, как в пусках [12]  $\Sigma Kp$  более 25). На рис.1 и 2 представлены изменения  $\Sigma Kp$  и интенсивность потока жестких рентгеновских лучей с  $\lambda=1-10 \text{ \AA}$  за период 1 сентября – 4 октября 1989 г.

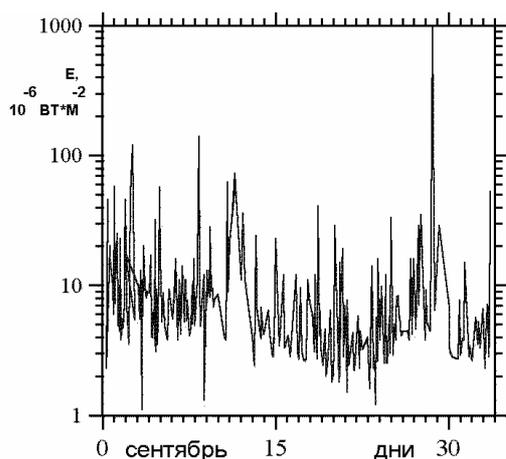


Рис. 1

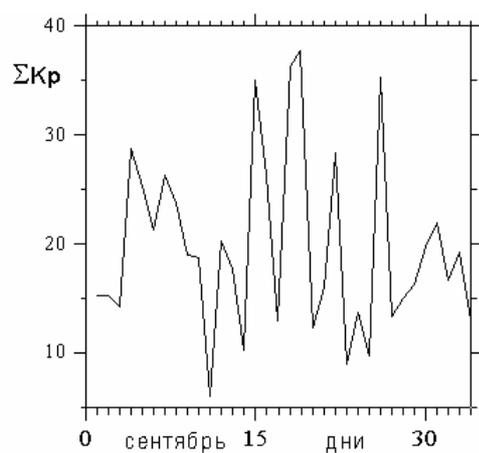


Рис. 2

Солнечная активность для 3 пар пусков, которые мы рассмотрим в дальнейшем, была следующей: поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см – индекс  $F_{10,7}$ , 6 сентября составлял 288, 20 сентября – 173, 4 октября – 234. Временной ряд этого индекса здесь не имеет смысла приводить. Но стоит отметить, что 1989 год был годом высокой солнечной активности.

Солнечные протонные вспышки проявляются в излучении солнечной водородной линии  $H\alpha$ . Так в конце августа – начале октября 1989 г. были зарегистрированы следующие протонные вспышки: балла 2В - 5 сентября в 21.38 UT; балла 3В – 30 сентября в 02.41 UT; балла 1В - 4 октября в 08.34 UT. Как известно, солнечные протонные вспышки обычно сопровождаются рентгеновскими (см. рис.2).

При рассмотрении временных изменений протонного и электронного потоков [13], измеренных с помощью спутника «Метеор» 6 сентября вспышечная активность была умеренная, тогда, как 20 - низкая. Магнитосфера Земли 6 сентября и 20 – неустойчивая.

Стоит отметить, что в эти два дня мы как раз и имеем практически одновременные (с разницей в 1 час) данные высотного изменения  $[e]$  области D над станциями о.Хейса и Молодежная, что нам предстоит детально рассмотреть в дальнейшем. По данным среднеширотных станций СССР магнитное поле 6 сентября являлось неустойчивым, в то время, как 20 – спокойным. С 4 по 6 сентября наблюдалась умеренная буря. Суммарный Kp индекс 6 сентября 1989 г. равнялся 21, а 20 сентября – 12, 4 октября-13. Потоки протонов с энергией более 5 МэВ в высоких широтах отмечались: 6.09 –  $50 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ , а 20 – не было, 4.10 -  $500 \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$ .

Междувспышечные периоды отмечены форбуш-эффектами с уменьшением интенсивности, так 6 сентября – до 3 %, а 20 сентября – до 6%.

Исходя из полученных сведений о состоянии магнитосферы, мы вправе ожидать, что 6 сентября ионосфера и 4 октября являлась возмущенной, а 20 сентября – спокойной.

### **Анализ положения станций относительно границ аврорального овала и полярной шапки согласно модельной обработке**

В качестве исходных данных для модельного анализа используются следующие:

- географические координаты станции и высота измерений;
- геометрия силовой линии геомагнитного поля, с основанием над станцией на высоте измерений;
- максимальное удаление этой силовой линии магнитного поля от центра Земли (если линия является замкнутой);
- уровень геомагнитной возмущенности в данный момент времени;
- эмпирические данные о положении границ структурных областей ОКП при данном уровне геомагнитной активности.

Для расчета координат силовых линий магнитного поля используется модель геомагнитного поля [14, 15] с поправками при расчетах коэффициентов для текущей эпохи.

Силовая линия геомагнитного поля представляется в виде проекции на плоскости солнечно-магнитосферной системы координат:  $YZ, XZ, XY$  (центр системы координат совпадает с центром Земли; ось  $X$  направлена на Солнце; ось  $Z$  лежит в плоскости, содержащей магнитную ось Земли, и направлена на север; ось  $Y$  дополняет систему до правой и направлена против орбитального вращения Земли).

Результаты моделирования представлены на рисунках 3.а)–е).

Анализ результатов моделирования и гелиогеофизической обстановки показывает следующее.

1. На момент проведения измерений состояние магнитосферы можно охарактеризовать для 6.09 как слабозвозмущенное; для 20.09 и 04.10 – спокойное.

2. Силовые линии геомагнитного поля с основанием над станциями имели следующие особенности.

**О. Хейса:** во всех трех вариантах измерений линия вытянута в вечернюю часть хвостовой области магнитосферы; для слабо возмущенных условий – до  $39 R_3$ ; для условий спокойной магнитосферы –  $25 \div 29 R_3$ .

**Ст. Молодежная:** во всех трех вариантах измерений линия вытянута в раннюю вечернюю область и

имеет максимальное удаление от центра Земли порядка  $9 R_3$ .

Таким образом, видно, что при проведении измерений станции находились в области проекции внутренней магнитосферы на ионосферу – в зоне аврорального овала. При этом исследуемые области в южном полушарии (ст. Молодежная) представляют собой проекцию зоны устойчивого захвата, а в северном (о. Хейса) – область внутренней магнитосферы с замкнутыми силовыми линиями, вытянутыми, но еще не достигшими областей, позволяющих относить их к зоне полярной шапки.

В дальнейшем анализ будет строиться как на материале, который автор (Ванина-Дарт Л.Б.) брал за основу в ранних работах, так и с учетом предоставленного материала этого пункта (автором Меланиной Т.В.).

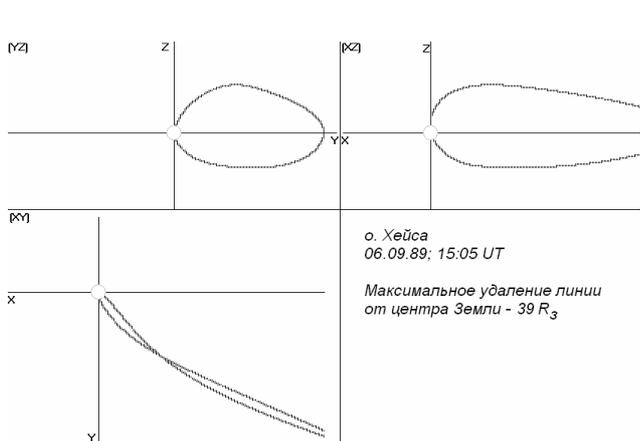


Рис. 3а

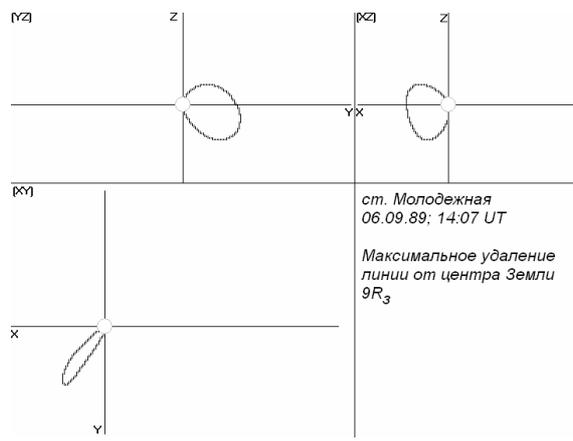


Рис. 3б

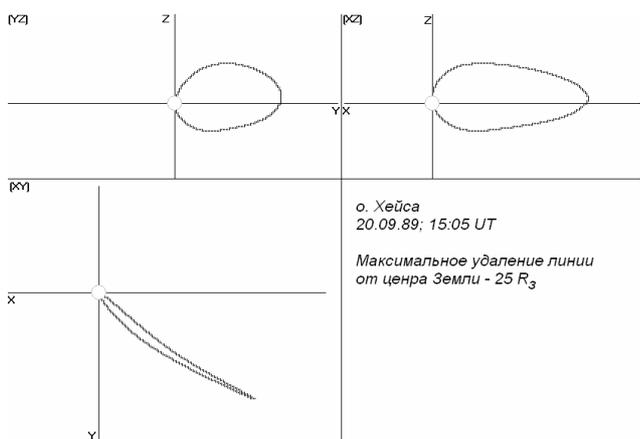


Рис. 3в

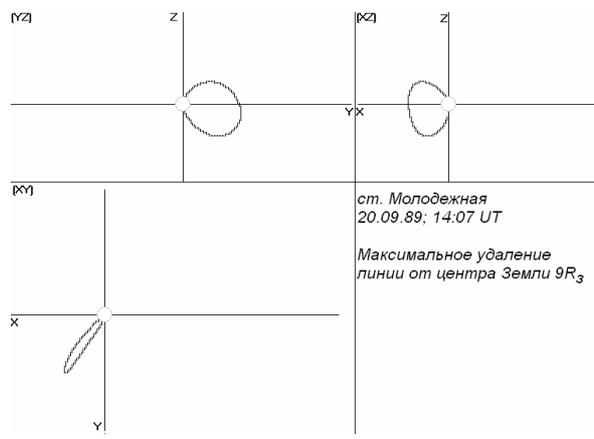


Рис. 3г

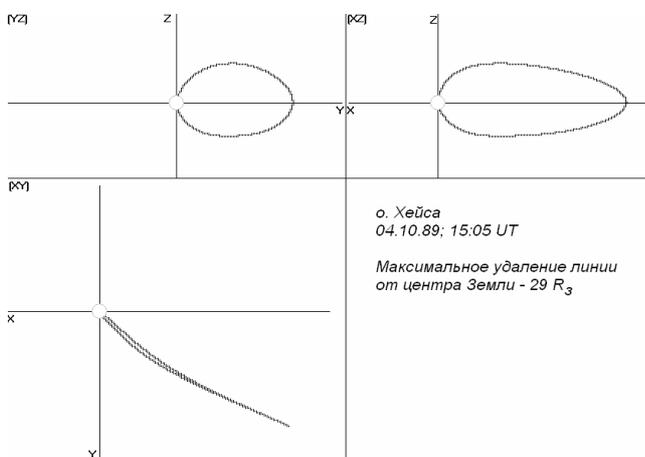


Рис. 3д

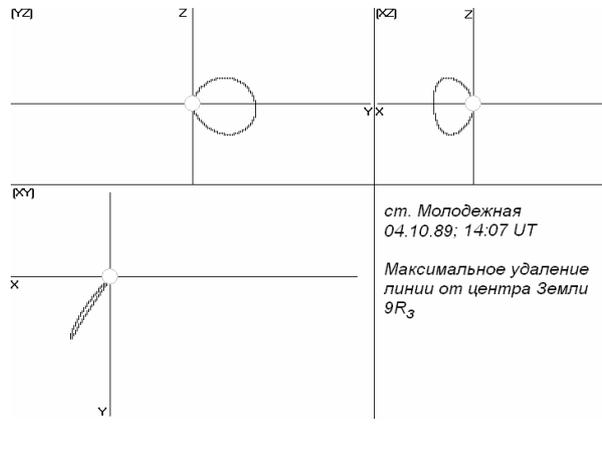


Рис. 3е

## Профили [e](h)

На рис. 4 представлены 3 пары профилей [e](h), 2 которых были измерены в сентябре – 6 и 20, и третья в октябре – 4. Все сентябрьские пуски были проведены, когда на поверхности Земли Солнце уходило за горизонт, но сам слой D еще оставался освещенным.

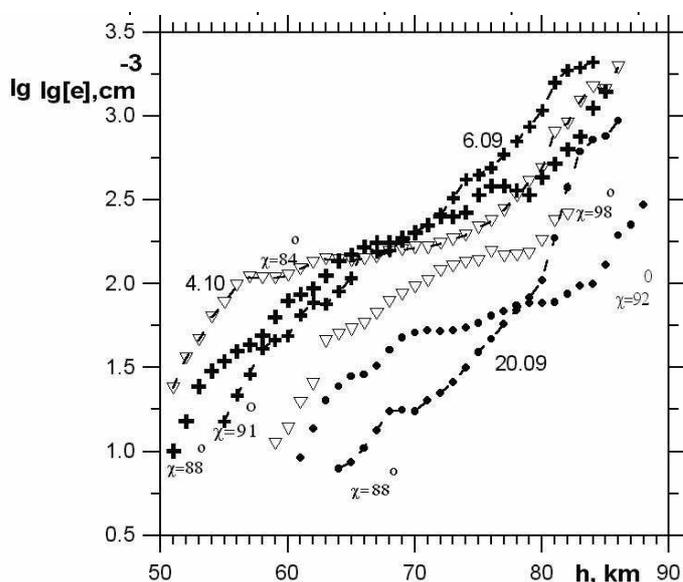


Рис. 4

Сравнивая поведение [e] на обеих станциях в сентябре, отметим следующее, что в обоих полушариях слой D формировался с высоты около 60 км - 20 сентября, и с 50 км - 6 сентября.

К основным отличиям можно отнести следующее: в возмущенной высокоширотной ионосфере 6 сентября на высотах 55-65 км [e] на о.Хейса превосходила [e] на Молодежной в ~ 1,5 раза; на высотах 66-72 км концентрации электронов почти совпадают; на высотах 73-84 в среднем [e] на Молодежной превосходила [e] на о.Хейса в ~ 2 раза. При спокойных условиях 20 сентября отмечено: на высотах 64-71 км [e] на о.Хейса в среднем превосходила [e] на Молодежной в ~ 2,75 раза; на высотах 72-75 км – в ~ 2 раза; на высотах 76-80 км концентрации электронов практически совпадают; на высотах 81-86 км [e] на Молодежной превосходила [e] на о.Хейса в ~ 5 раз. Также необходимо отметить, что на высотах между ~ 65 и 80 км [e] на ст.Молодежная в возмущенных условиях превосходила [e] в невозмущенных на 1 порядок, тогда как [e] на о.Хейса всего лишь в 5 раз, т.е. возмущение [e] на ст.Молодежная в среднем превышало возмущение на о.Хейса в 2 раза на высотах, где в возмущенных условиях ионизация осуществляется посредством высокоэнергичных солнечных частиц. В спокойных «закатных» условиях на высотах 65-80 км ионизация скорее всего вызывается излучением Лайман-α и космическими лучами [16].

Сравнивая поведение [e] на обеих станциях в 4 октября, когда область D на ст.Молодежная формировалась в освещенных условиях, и  $\chi$  при этом равнялся  $84^{\circ}$  (в отличие от неосвещенных условий о.Хейса, при том  $\chi=98^{\circ}$ ), электронная концентрация ст.Молодежная на высотах 59-82 превосходила в среднем в 3 раза [e] о.Хейса. Но если выделить только высоты уровня 71-76 км, то эта различие составляло только 1,5 раза, т.е. «почти» отсутствовало. Сам же профиль [e] на ст.Молодежная был измерен начиная с высоты 51 км, а на о.Хейса с высоты 59 км (что ниже профиля 20 сентября). Т.е. столь несущественное различие (с точки зрения вечерней и ночной ионизации, когда все-таки это различие должно составлять порядок на высоте 80 км [17]), связано с высыпанием высокоэнергичных частиц в авроральные зоны обоих полушарий. Поток протонов с энергией более 5 МэВ в высоких широтах 4 октября составлял –  $500 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Стоит отметить, что в спокойных условиях при неосвещенных условиях на о.Хейса [e] регистрировалась

заведомо выше 70 км. Т.е. мы наблюдаем опущение профиля как минимум на 10 км. Для ст. Молодежная подобного эффекта не наблюдалось, поскольку ионизация, вызванная высокоэнергичными корпускулами, оказалась затушеванной волновым излучением. Сравнивая профили 6 сентября и 4 октября, учитывая факт превосходства величины потока протонов 4 октября, можно заключить следующее, что профиль 4 октября более «тяготит» к профилю ППШ, тогда, как 6 сентября – к АП. Этот вывод следует из того, что на высоте более 75 км [e] 6 сентября начинает явно превышать [e] 4 октября на ст. Молодежная, что и свидетельствует о факте аврорального поглощения.

Как мы видим, сопоставление ионосферного отклика с корпускулярными потоками более «выигрышно», нежели с геомагнитными индексами, которые взяты за основу анализа положения станций относительно границ аврорального овала и полярной шапки согласно модельной обработке.

## Выводы

Сопоставляя вышесказанное вполне очевидно следующее:

- 1) Электронная концентрация, одновременно характеризующая АП в «почти» магнито-сопряженных пунктах, при минимальных сезонных различиях в высокоширотной области D ионосферы в южном полушарии превосходит [e] в северном в ~ 2 раза на высотах 75-85 км;
- 2) В невозмущенных условиях [e] в авроральной зоне больше в южном полушарии в ~ 6 раз [e] в северном при минимальных сезонных различиях в высокоширотной области D на высотах более 60 км;
- 3) В спокойных условиях [e] авроральной зоны северного и южного полушарий равны на высоте от 75 до 80 км, тогда, как при АП это наблюдается на высотах 65-70 км.

Таблица 1. Информация о пусках, проведенных на ст. Молодежная и о. Хейса.

ст.	Дата проведения пуска	Время проведения пуска в UT	$\lambda$ в гр.	$\Sigma Kp$	$F_{10,7}$	Дата в UT и интенсивность всплесков жесткого рентгена	Поток протонов с $E > 5$ МэВ, $см^{-2}с^{-1}$	Форбуш-эффект
М	06.09.1989	14.07	91	21	288	00.47 МЗ	50	-3
Х	-	15.05	88	-	-	-	-	-
М	20.09.1989	14.07	88	12	173			-6
Х	-	15.05	92	-	-			-
М	04.10.1989	14.07	84	13	234		500	0
Х	-	15.05	98	-	-		-	-

## Литература

1. Well P.T., Meng C.I. Hemispherical asymmetry in cusp precipitation near solstices// I. Geophys. Res. 1988. V. 93. N 4, P. 2643.
2. Zatti L.J., Potemra T.A., Doering J.S. et.al. Interplanetary magnetic field control of high-latitude activity on July 29, 1997// J. Geophys. Res. 1982. V.87. P.5963.
3. Suzuki H., Sato. Seasonal and diurnal variations of ELF emission occurrences at 750-Hz band observed at geomagnetically conjugate stations// J. Geophys. Res. 1987. V.92. P.6153.
4. Bythrow P.F., Potemra T.A., Hoffman R.A. Observations of field-aligned currents, particles, and plasma drift in the polar cusps near solstice// J. Geophys. Res. 1982. V.87. P.5131.

5. *Князев А.К., Авдеев В.Н., Ванина Л.Б., Корнеева Л.В.* Ночная зимняя ионизация области D по данным ракетных измерений профилей электронной концентрации // Геомагнетизм и аэрномия. 1995. Т.35. N 5. С.97.
6. *Ванина Л.Б.* Некоторые особенности высотного распределения электронной концентрации [e](h) D-области ионосферы в высоких широтах северного и южного полушарий // Труды конференции молодых ученых. М. ИФА. 1996. С.13.
7. *Ванина Л.Б.* Временные колебания и связь с гелиогеофизическими параметрами электронной концентрации в высокоширотной ионосферной области D // Труды конференции молодых ученых. М. ИФА. 1997. С.35.
8. *Ванина Л.Б., Данилов А.Д.* Высокоширотная область D и асимметрия полушарий// Геомагнетизм и аэрномия. 1998. Т.38. N 4. С.173-176.
9. *Sinelnikov V.M., Lvova G.P., Gulyaeva T.L., Pakhomov S.V., Glotov A.P.* A rocket radio beacon experiment on the electron density profile measurement in the bottom side of the ionosphere// Proc. Satellite Beacon Simp. Warszawa. Poland. 1980. P. 453.
10. *Борисов А.И., Кихтенко В.Н., Пахомов С.В.* Предварительные результаты измерений параметров заряженной компоненты верхней атмосферы на метеоракетах// Труды ЦАО. 1981. вып. 144. С. 3.
11. *Кокин Г.А., Пахомов С.В., Князев А.К., Корнеева Л.В., Авдеев В.Н.* Новая информационная база данных ракетных измерений параметров нижней ионосферы // Третий семинар КАПГ по метеорологическим эффектам в ионосфере: Тезисы докладов. София. 31 октября – 4 ноября 1988. С.55.
12. *Ванина Л.Б., Кокин Г.А., Князев А.К.* Особенности изменения электронной концентрации и метеорологических параметров области D ионосферы над ст. Молодежная во время солнечных протонных событий октября 1989г. // Геомагнетизм и аэрномия. 1995. Т.35. N 1. С.170-174.
13. Еженедельный бюллетень предварительных гелиогеофизических данных. 1987-1991. Москва. ИПГ им. ак. Е.К. Федорова.
14. *Сергеев В.А., Цыганенко Н.А.* Магнитосфера Земли // М.: Наука, 1980. 174 с.
15. *Цыганенко Н.А., Усманов А.В., Патиташвили В.О., Патиташвили Н.Е., Попов В.А.* Пакет программ для расчетов геомагнитного поля и связанных с ним координатных систем. Междуведомственный геофизический комитет при президиуме АН СССР // М.: 1987. 58 с.
16. *Thomas L.* Recent developments and outstanding problems in the theory of the D region // Radio Sci., 1974. N 9. P. 121.
17. *Ванина Л.Б., Данилов А.Д.* Электронная концентрация в верхней области D высоких широт. I. Морфологический анализ измерений // Геомагнетизм и аэрномия. 1998. Т.38. N 6. С.90-99.