

ДИАГНОСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ АВРОРАЛЬНОЙ ИОНОСФЕРЫ ПО ОПТИЧЕСКИМ И НИЗКОЧАСТОТНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДАННЫМ

Д.Б.ЗАЙЦЕВ, Ю.П.НОВИКОВ, В.Р.ТАГИРОВ, С.А.ЧЕРНОУС

Научно-исследовательский институт физики Санкт-Петербургского
государственного университета
Полярный геофизический институт КНЦ РАН

Рассмотрены экспериментальные данные по одновременным телевизионным наблюдениям полярных сияний и измерениям низкочастотных электромагнитных полей. Показана возможность диагностики двумерного пространственно-временного распределения параметров возмущенной полярной ионосферы по оптическим телевизионным наблюдениям. Обсуждена связь пульсирующих авроральных форм с вариациями магнитного поля и ОНЧ излучениями.

Введение. Известные радиофизические методы исследования полярной ионосферы (вертикальное, наклонное и возвратно-наклонное зондирование ионосферы, методы частичных отражений и некогерентного рассеяния радиоволн) при всех своих достоинствах не позволяют, однако, получать значения ионосферных параметров с высоким временным разрешением одновременно на значительной площади. В связи с этим представляется актуальным поиск новых методов косвенной оценки параметров возмущенной полярной ионосферы свободных от указанных ограничений. Одним из возможных методов являются оптические телевизионные наблюдения полярных сияний, дающие двумерное распределение интенсивности свечения в реальном масштабе времени и допускающие переход к пространственно-временному распределению электронной концентрации необходимому при анализе распространения и генерации низкочастотных электромагнитных полей.

СВЯЗЬ ЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В МАКСИМУМЕ Е СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ С ИНТЕНСИВНОСТЬЮ СВЕЧЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Использование оптических методов для определения электронной концентрации в возмущенной полярной ионосфере связано с тем, что часть энергии вторгающихся частиц идет на возбуждение атомов и молекул верхней атмосферы с последующим высвечиванием, при этом электронная концентрация в Е слое ионосферы связана с интенсивностью свечения в различных эмиссиях [1,2]. Соответствующие расчеты достаточно громоздки и требуют детального знания состава атмосферы, характеристик пучков вторгающихся частиц, скоростей протекающих реакций, в связи с чем встает задача практического определения связи интенсивности сияний с параметрами профиля электронной концентрации. При этом наиболее полные сведения о распределении электронной концентрации, температуре и скоростях движения могут быть получены с помощью станций некогерентного рассеяния радиоволн [3], а пространственно-временные характеристики свечений с высокой степенью разрешения - с помощью телевизионной аппаратуры. Сочетание обоих методов и дает возможность исследовать связь электронной концентрации и интенсивности свечения и указать пространственно-временные масштабы корреляции областей повышенной электронной плотности и неоднородностей интенсивности свечения.

Для соответствующего анализа использовались синхронные измерения вертикального профиля электронной концентрации, полученные с помощью станции некогерентного рассеяния EISCAT (Тромсё, Норвегия, ($\varphi = 69.59^\circ N, \lambda = 19.23^\circ E$) с шириной луча $0,6^\circ$, и видеозапись полярных сияний в районе Тромсё [4]. Цифровая обработка видеозаписей полярных сияний [5,6] позволила представить синхронные изменения во времени интенсивности свечения полярных сияний в поле зрения луча радара EISCAT и значений электронной концентрации в максимуме E слоя. По данным цифровой обработки была построена зависимость электронной концентрации в максимуме E слоя от интенсивности сияний, которая оказалась близка к линейной с коэффициентом корреляции 0,94. Линейность, видимо, связана с существенной нестационарностью рассматриваемого процесса, когда в уравнении непрерывности нельзя пренебрегать производной по времени от электронной концентрации. Полученная линейная зависимость является фактической калибровкой, переводящей значения интенсивности свечения в относительных единицах в величину максимальной электронной концентрации E слоя. Если произвести цифровую обработку полного телевизионного кадра, то можно получить пространственное распределение электронной концентрации и его изменение во времени в поле зрения телевизионной установки (400 x 400 км на высоте E слоя ионосферы с объективом типа "рыбий глаз"). Представляется, что рассмотренный метод оптической телевизионной диагностики (в наземном или самолетном варианте) является достаточно эффективным для контроля пространственно-временной структуры E области полярной ионосферы в реальном масштабе времени и, как следствие, условий распространения радиоволн различных диапазонов в высоких широтах в возмущенных условиях.

При отсутствии данных некогерентного рассеяния для проверки моделей распределения электронной концентрации нужны количественные характеристики оптических излучений полярных сияний в отдельных эмиссиях, которые могут быть достаточно просто получены с помощью калиброванных узкоугольных фотометров. Сравнение профилей электронной концентрации, полученных в результате расчетов по фотометрическим данным, и профилей, полученных методом некогерентного рассеяния для различных авроральных форм [7,8], показывает их удовлетворительное согласие, что позволяет использовать спектральные фотометрические данные для получения информации о потоке и спектре вторгающихся частиц. Представляет интерес рассмотреть достаточно очевидную возможную связь между интенсивностью свечения полярных сияний по телевизионным данным и соответствующими данными, полученными узкоугольным фотометром, регистрирующим эмиссии N_2^+ . Результаты наблюдений после цифровой обработки видеокadra приведены на рис.1, из

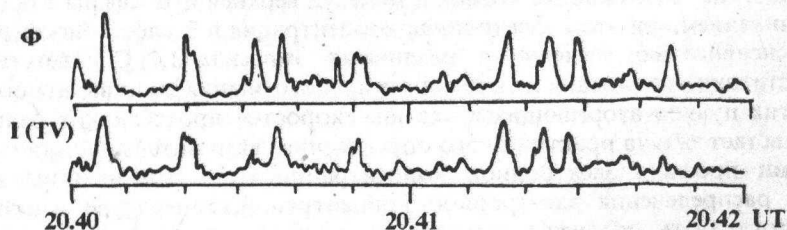


Рис.1 Временная развертка интенсивности свечения полярных сияний, полученная с помощью узкоугольного 4х градусного зенитного фотометра (Φ , верхняя кривая), интенсивность свечения полярных сияний, усредненная по полю зрения узкоугольного фотометра на высоте 105 км, полученная из телевизионных данных ($I(TV)$, нижняя кривая). Чупа, о.Средний, Республика Карелия ($\varphi = 66.3^\circ N, \lambda = 33.7^\circ E$, $L = 4,6$), 25.09.1990.

которого очевидно однозначное соответствие фотометрических и телевизионных данных, позволяющее произвести калибровку последних с помощью зенитных и сканирующих спектральных фотометров. Отметим также, что использование телевизионных наблюдений позволяет решить проблему разделения пространственных и временных вариаций в данных фотометра при покадровой обработке телевизионных изображений полярных сияний.

СВЯЗЬ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ИОНИЗАЦИИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ С НИЗКОЧАСТОТНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Дополнительным средством контроля правильности определения электронной концентрации и, следовательно, проводимости в E слое ионосферы может быть исследование корреляции между пульсирующими авроральными формами и магнитными пульсациями [9], одновременно решающее задачу ионосферного происхождения некоторых типов пульсаций. На рис.2 представлена временная развертка интенсивности свечения пульсирующих пятен полярных сияний и вариации

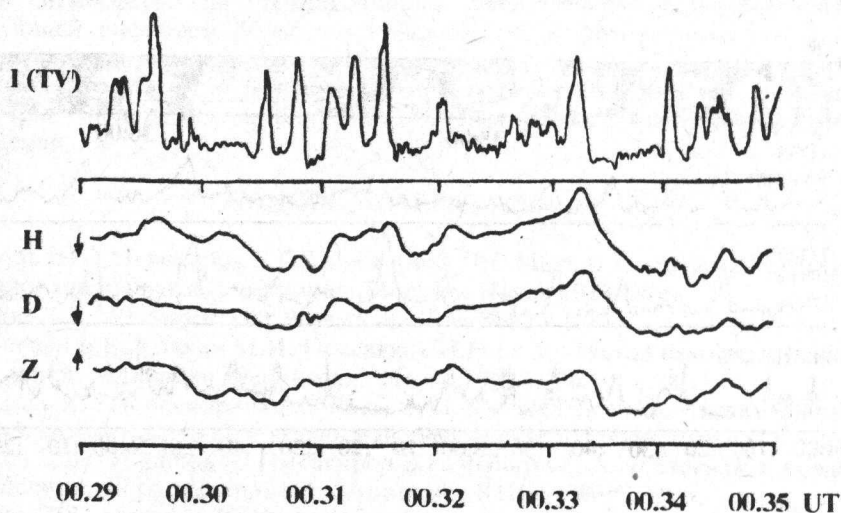


Рис.2 Временная развертка интенсивности свечения пульсирующих пятен полярных сияний, проинтегрированной по площади пятна (30×30 км), всплески соответствуют появлению изолированных пятен ($I(TV)$, верхняя кривая). Вариации H, D и Z компонент магнитного поля Земли в диапазоне $T=1-200$ с. Чупа, о.Средний, 12.10.1988.

ций H, D и Z компонент магнитного поля Земли в диапазоне геомагнитных пульсаций. Из рисунка видно соответствие в целом временного поведения интенсивности свечения пульсирующих форм сияний и магнитных вариаций. Следует отметить, что магнитные вариации имеют хорошую корреляцию с появлением изолированных пятен сияний. Потoki вторгающихся энергичных частиц тесно связаны с различными видами естественных ОНЧ излучений - авроральных шипений и хоров, распространяющихся примерно вдоль магнитных силовых линий [10]. Пульсирующие авроральные пятна с периодом менее 30 с обычно сопровождаются генерацией КНЧ и ОНЧ излучений со сложной пространственно-временной структурой.

Генерация излучений связана с развитием циклотронной неустойчивости в волокнах повышенной плотности холодной плазмы, играющих роль резонатора для волн типа свистящих атмосфериков, частотный диапазон которых связан с энер-

гией вторгающихся электронов [11,12]. Для детализации теории пульсирующих авроральных пятен представляет интерес не только измерение на ИСЗ в экваториальной плоскости магнитосферы концентрации холодной фоновой плазмы, функции распределения энергичных электронов по питч-углам и спектров ОНЧ, КНЧ волн, но и наземный прием ОНЧ и КНЧ излучений с привязкой к пульсирующим пятнам. При этом отражение от ионосферного торца волокна и поглощение низкочастотных волн в нижней ионосфере будут препятствовать наземным наблюдениям ОНЧ излучений. Взаимоднозначное соответствие интенсивности и пульсирующих пятен сияний и всплесков ОНЧ излучений наблюдается в отсутствие поглощения в D области [13] или при значениях интенсивности свечения порядка 150 релей [14], что существенно ниже среднего уровня свечения пульсирующих сияний. Некоторые результаты исследования связи интенсивности пульсирующих форм сияний и ОНЧ излучений представлены на рис.3, из которого следует, что ОНЧ излучения регистрируются, в основном, при наличии всплесков сияний малой

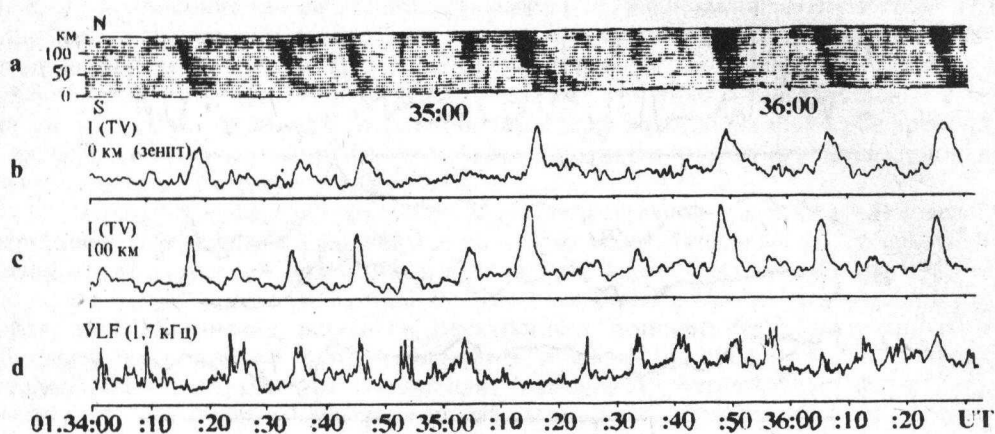


Рис.3 Интенсивность свечения полярных сияний в плоскости магнитного меридиана (авророграмма,а); интенсивность свечения полярных сияний, проинтегрированная по площади 10×10 км, полученная в точке, расположенной в плоскости магнитного меридиана в зените (б), и в точке, расположенной в 100 км к северу от зенита (с). Внизу представлена временная развертка интенсивности ОНЧ хором на частоте 1,7 кГц (д). Чупа, о.Средний, 12.10.1988.

интенсивности к северу от точки наблюдения. При интенсификации сияний в зените с интенсивностью > 1 килорелей ОНЧ излучения обычно не наблюдаются. При теоретическом анализе необходимо учитывать размеры и пространственную неоднородность пульсирующих форм, определяющих горизонтальную неоднородность ионизации и поглощение в ионосфере. На рис.4 приведено аналого-цифровое представление последовательности стоп-кадров телевизионных изображений полярных сияний, соответствующих единичному пятну сияния для интервала 01.36:04 - 01.36:09 UT 12.10.88 события рис.3. Из рис.4 видно изменение положения пульсирующего пятна в пространстве, что позволяет, в принципе, оценить скорости дрейфа и, соответственно, электрические поля в магнитосфере и ионосфере [11].

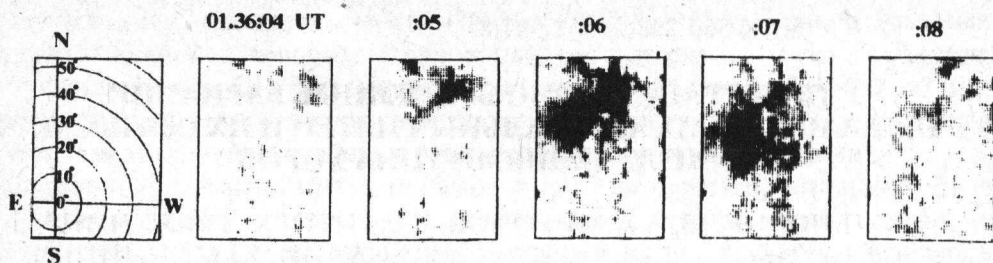


Рис.4 Аналого-цифровое представление последовательности стоп-кадров телевизионных изображений полярных сияний, соответствующих одиночному пятну сияний и всплеску ОНЧ излучений для интервала 01.36:04 - 01.36:09 UT 12.10.1988.

Заклучение. Предлагаемый метод исследования оптических излучений верхней атмосферы по телевизионным наблюдениям полярных сияний с последующей цифровой обработкой видеокadra и фотометрическим данным в отдельных эмиссиях в комплексе с измерениями низкочастотных электромагнитных полей может быть использован для наземного мониторинга возмущенной ионосферы полярных широт при развитии магнитосферно-ионосферных возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов Н.К., Пивоваров В.Г., Пивоварова Н.В. Магнитосферные возмущения и потоки авроральных электронов. Москва.: Наука, 1973. 96 с.
2. Walker J.K. // J. Atmos. Terr. Phys. 1972. V.34. N 12. P.1681.
3. Брюнелли Б.Е., Кочкин М.И., Пресняков И.Н., и др. Метод некогерентного рассеяния радиоволн. Ленинград.: Наука, 1979. 188 с.
4. Шлегель К., Пайпенбринк А., Ротвелл П. // Тез. докл. симп." Высокоширотные геомагнитные явления". Суздаль, май 1986. Москва.: Наука, 1986. С.26.
5. Зайцев Д.Б., Новиков Ю.П., Тагиров В.Р., Черноус С.А. // Методы и средства вычислительного эксперимента. Апатиты.: КНЦ, 1990. С.89.
6. Зайцев Д.Б., Новиков Ю.П., Черноус С.А., и др. // Исследование ионосферного распространения радиоволн в высоких широтах. Апатиты.: КНЦ, 1990. С.90.
7. Vallance Jones A., Gattinger R.L., Shih P., et al. // J. Geophys. Res. 1987. V.92. N A 5. P.4575.
8. Kaila K.H., Rasinkangas R.A. // Planet. Space Sci. 1989. V.37. N 5. P.545.
9. Oguti T., Hayashi K. // J. Geophys. Res. 1984. V.89. N A9. P.7467.
10. Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч.3. Л.: Изд. ЛГУ, 1977. 144 с.
11. Тагиров В.Р., Трахтенгерц В.Ю., Черноус С.А. О природе пульсирующих пятен полярных сияний. 1. Экспериментальные данные. Апатиты.: Препринт ПГИ-85-03-41, КФАН СССР, 1986. 38 с.
12. Трахтенгерц В.Ю., Черноус С.А., Тагиров В.Р. О природе пульсирующих пятен полярных сияний. 2. Теория. Апатиты.: Препринт ПГИ-85-04-42. КФАН СССР, 1986. 35 с.
13. Tsuruda K., Machida S., Oguti T., et al. // Can. J. Phys. 1981. V.59. N 8. P.1042.
14. Helliwell R.A., Mende S.B., Doolittle J.H. et al. // J. Geophys. Res. 1980. V.85. N A7. P.3376.