

Министерство высшего и среднего специального образования  
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

---

П р е п р и н т № 286

ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЛАСТИ F  
В ПЕРИОД 16-20 МАРТА 1988 Г.

Мишин Е.В.  
Епишова А.В.  
Ишкова Л.М.  
Ковалевская Е.М.  
Козлов Е.Ф.  
Колоколов Л.Е.  
Митякова Э.Е.  
Рахлин А.В.  
Рубцов Л.Н.  
Саморогин Н.И.  
Сидорова Л.Н.  
Телегин В.А.  
Цдович Л.А.

Мишин Е.В., Епишова А.В., Ишкова Л.М., Ковалевская Е.М.,  
Козлов Е.Ф., Колоколов Л.Е., Митякова Э.Е., Рахлин А.В.,  
Рубцов Л.Н., Саморокин Н.И., Сидорова Л.Н., Телегин В.А.,  
Юдович Л.А.

ВОЛНОВЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ОБЛАСТИ F В  
ПЕРИОД 16-20 МАРТА 1988 ГОДА // Препринт № 286. - Горький: НИРФИ,  
1989. - 14 с.

УДК 551.510.535

Исследуется пространственно-временная структура волновых возмущений электронной концентрации области F в период прохождения утреннего терминатора с использованием пяти- и пятнадцатиминутных данных вертикального зондирования сети станций Советского Союза в период международного интервала наблюдений ионосферы (16-20 марта 1988 г.).

It was investigated the spatial-time structure of the wave disturbances of the F-region electron concentration on the period of the sun terminator passing in the morning with using of the 5- and 15-minutes data from the network of the Soviet vertical sounding stations interval of the ionospherical observations (16-20 March 1988).

С целью проведения координированных исследований ионосферы международная программа ВИТС предложила интервалы наблюдений по планетарной сети станций вертикального зондирования. Одним из координированных периодов наблюдений был период 16–20 марта 1988 г., в течение которого в Советском Союзе проводились учащенные ионосферные наблюдения.

В настоящей работе использованы данные вертикального зондирования станций Советского Союза. Список станций и их географические координаты приведены в табл. I.

Таблица I

Станция	$\varphi^{\circ} N$	$\lambda^{\circ} E$	Станция	$\varphi^{\circ} N$	$\lambda^{\circ} E$
Архангельск	64,6	40,5	Мезень	65,9	44,3
Ашхабад	37,9	58,3	Москва	55,5	37,3
Горький	56,1	58,3	Новоказалинск	45,5	62,0
Душанбе	38,6	68,8	Петропавловск-Камчатский	52,5	158,3
Карпогоры	64,0	44,4	Ростов	47,2	39,7
Київ	50,5	30,5	Салехард	66,5	66,7
Ленинград	60,0	30,7	Свердловск	56,7	61,0
Лопарская	69,0	33,1			

За указанный период исследована пространственно/временная структура волновых возмущений электронной концентрации области F. Для этого проведена стандартная обработка 15- и 5-минутных ионограмм ВЗ. Для нескольких станций рассчитаны  $N(h)$  профили. Подробному анализу подвергнуты волновые возмущения критических частот слоя F2 ( $\Delta f_o^o$ ): проведена их спектральная обработка, рассмотрены особенности пространственного и временного распределения спектральных характеристик. В восходный период получены количественные оценки амплитуд волновых

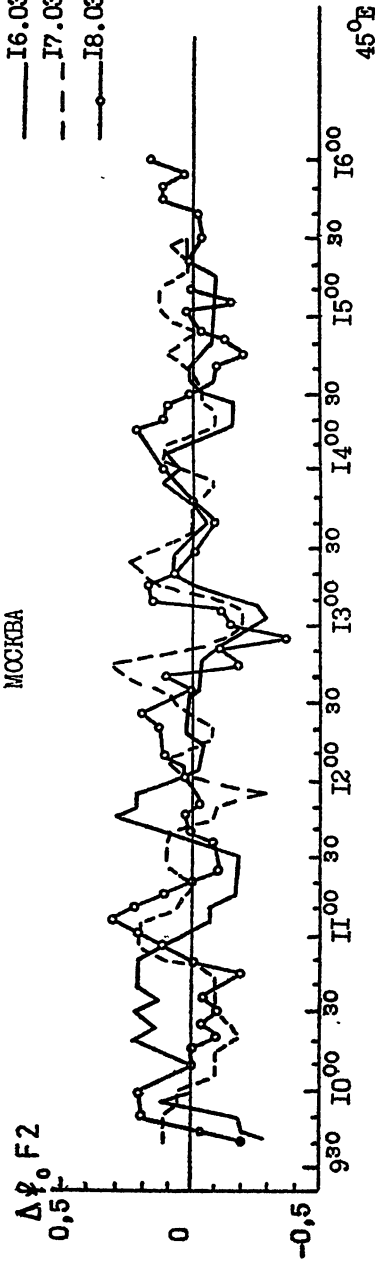
## I. Характеристика спектров волновых возмущений

Для выявления возмущенных составляющих критических частот слоя F2 вычислены значения  $\Delta f_o = (f_o F2 - \bar{f}_o F2)$ , где  $\bar{f}_o F2$  - сглаженные по тринадцати пятиминутным значениям. Временные вариации  $\Delta f_o$ , полученные таким образом, были подвергнуты спектральному анализу.

Для иллюстрации волновых возмущений в ионосфере в период с 16 по 20 марта по данным ст. Москва и Душанбе на рис. I приведены временные вариации  $\Delta f_o$ : Москва - с 16 по 18 марта в интервале местного времени  $9^h 30^m + 16^h$ , Душанбе - 17 и 19 марта с  $5^h LT$  до  $9^h LT$  и с  $20^h LT$  до  $23^h LT$ . На рисунках четко прослеживается волновая структура возмущения за каждый из рассматриваемых дней; однако характер возмущений  $\Delta f_o$  сильно меняется от дня ко дню. Максимальный размах колебаний  $\Delta f_o$  за рассматриваемый интервал времени достигает 0,5 МГц, в этом случае  $\Delta f_o / \bar{f}_o$ , составляет 10%. Средний период крупномасштабной вариации  $\Delta f_o$  за 16-18 марта по ст. Москва составляет  $\sim 1$  ч. 20 мин., по ст. Душанбе  $\sim 2$  ч. 20 мин. Спектральный анализ проведен с помощью стандартной программы БПФ на ЭВМ М-4030 по данным  $\Delta f_o$  станций: Москва, Горький, Петропавловск-Камчатский, Душанбе, Архангельск. До анализа реализаций отфильтровывались от трендов  $\bar{f}_o F2$  с помощью полинома II порядка по методу наименьших квадратов. Полученные спектры сглаживались спектральными окнами Блэкмана-Тьюки с точкой отсечения  $M = 4$ . Точка отсечения выбиралась из соображений наилучшего удовлетворения следующим критериям: разрешения самой узкой интересной детали спектра, минимальности дисперсии в минимальности смещения спектральных оценок от предполагаемого спектра  $1/I$ . На рисунках энергетические спектры  $S(k)$ , полученные путем наложения отдельных выборочных спектров (за 19 марта и 17 марта) и отсечения их общей площади. По оси абсцисс откладываются отсчеты  $K$ , связанные с частотой и периодом соответственно:  $f_k = k / N \cdot H$  и  $T_k = N \cdot H / K$ , где  $N$  - общее число точек реализации,  $H$  - временной интервал между точками реализации. В нашем случае  $H = 5$  мин., таким образом, возможно рассматривать периоды начиная с  $T \sim 2H \sim 10$  мин.

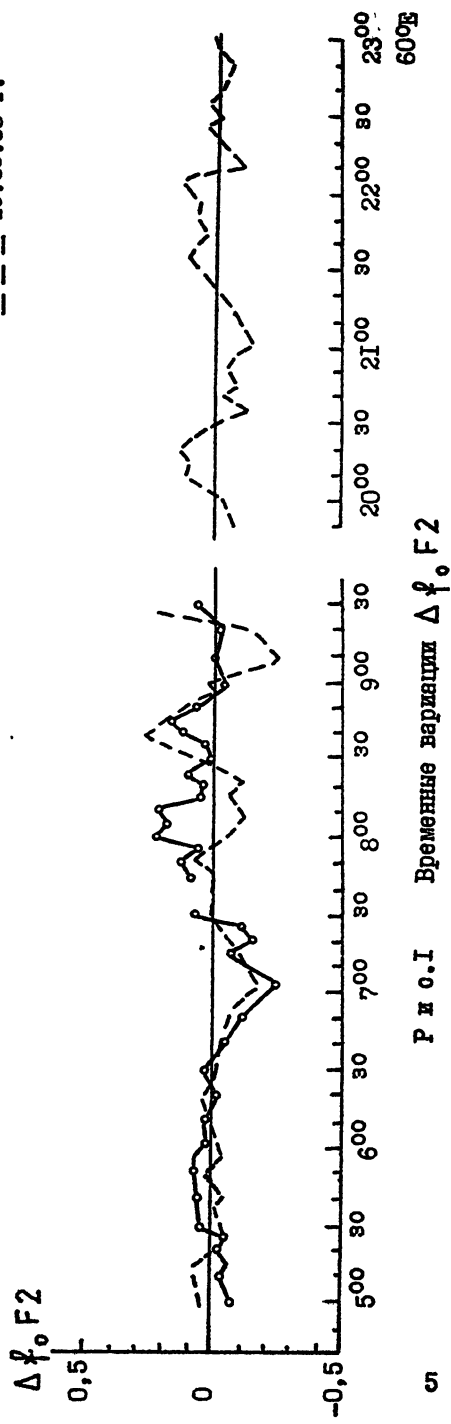
МОСКВА

— 16.03.88 г.  
- - 17.03.88 г.  
—○— 18.03.88 г.



ДУШАНБЕ

—○— 17.03.88 г.  
- - - 19.03.88 г.



Р и с. I Временные вариации  $\Delta \varphi_0 F_2$

Для утренних часов (  $\sim 5-9^h$  LT ) по станциям Петропавловск-Камчатский, Архангельск, Душанбе, Горький спектральный анализ дал ярко выраженную широтную зависимость спектральных составляющих  $\Delta f_0$ .

Так для Душанбе (  $\varphi = 39,6^\circ$  )  $T_1 \sim 24,30$  м., Для Петропавловск-Камчатского (  $\varphi = 52,5^\circ$  )  $T_1 \sim 14,37$  м., а для Архангельска (  $\varphi = 64,6^\circ$  )  $T \sim 64$  мн. Соответственно для  $T_2$  (64, 44, 36 м),  $T_3$  (46, 34, 27 м),  $T_4$  (21, 19, 18 м). Из рис.3 видно, что более короткие периоды на рассматриваемых станциях также имеют подобную тенденцию к уменьшению при переходе к более высоким широтам. Но учитывая то, что разрешение по частотам  $\Delta f$ , соответствующим этим периодам, меньше чем  $1/T$ , где  $T$  - длина всей реализации ( в нашем случае  $T \sim 320$  мн). Анализируя полученные результаты спектрального анализа ( см.рис.2), можно высказать следующие предположения:

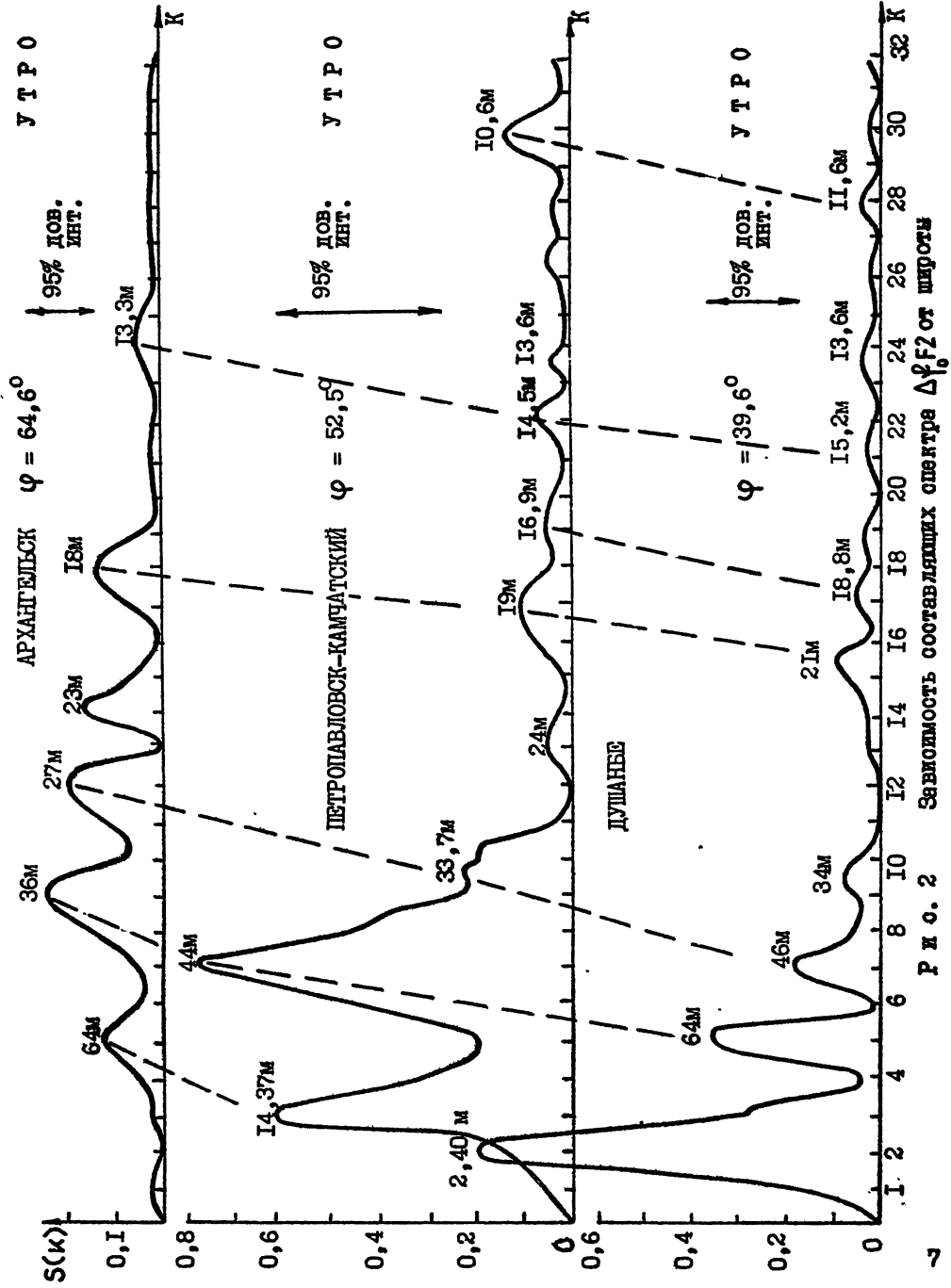
1. с увеличением широты наблюдается уменьшение периода спектральных составляющих или уход в более высокочастотную область;
2. прослеживается смещение максимумов амплитуд спектральных составляющих в более высокочастотную область по мере увеличения широты;
3. кроме того, отмечается общая тенденция уменьшения амплитуд спектральных составляющих по мере роста широты.

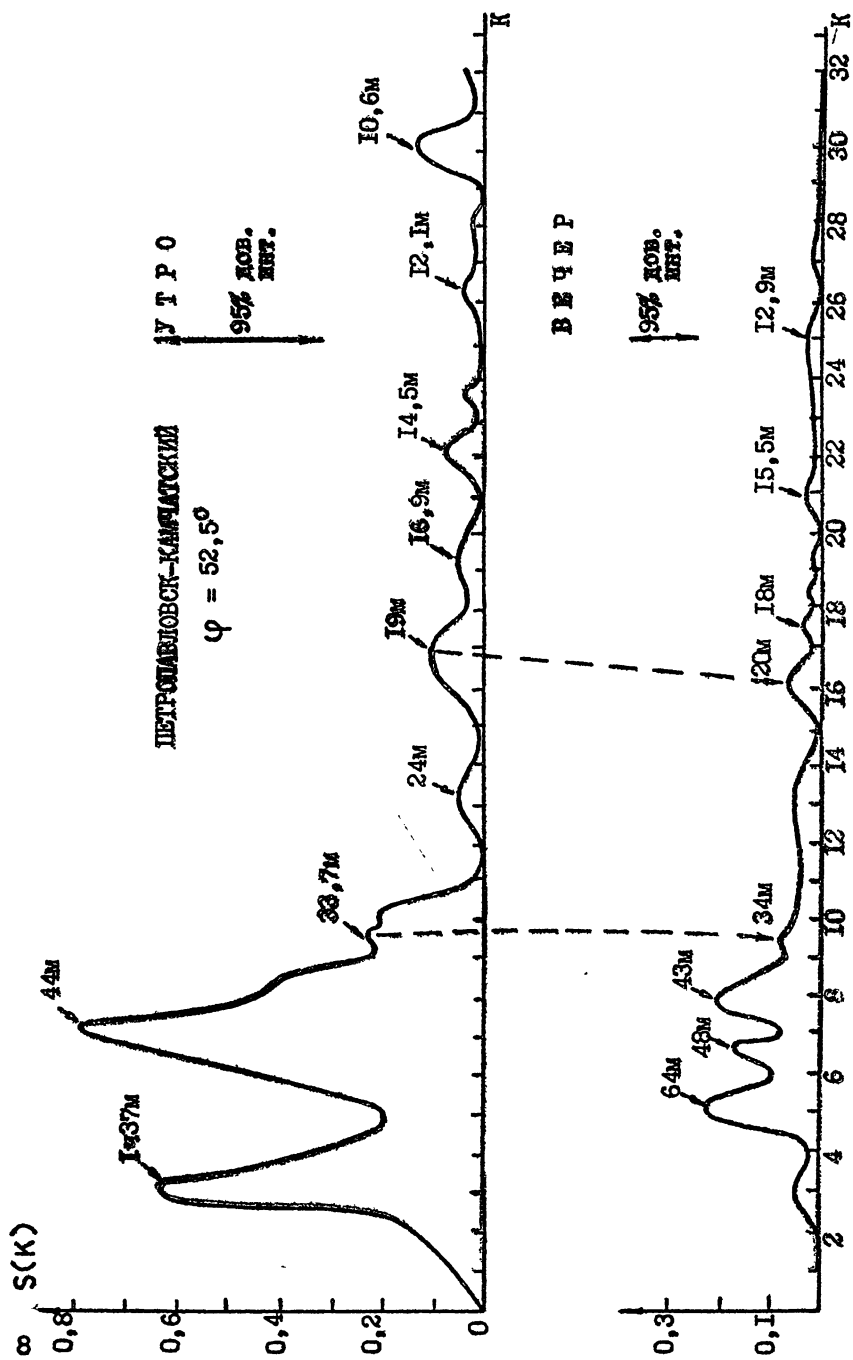
Для вечерних часов (  $16-24^h$  LT ) и дневных часов (  $9-19^h$  LT ) по станциям Петропавловск-Камчатский и Душанбе наблюдается сдвиг некоторых спектральных составляющих в низкую частотную область. На рис. 3 представлены для сравнения результаты спектрального анализа по ст.Петропавловск-Камчатский в утренние и вечерние часы. Так наиболее четко идентифицированы периоды  $T_3 \sim (33,7; 34$  м),  $T_2 \sim (19; 20$  м), соответственно. Более короткие периоды, к сожалению, не могут быть идентифицированы в силу того, что  $\Delta f < 1/T$ . Это подтверждает гипотезу о том, что наиболее сильные эффекты прохождения терминатора имеют место в восходные часы /2/.

## 2. Направление перемещения волновых возмущений

.....

Направления перемещения крупномасштабного возмущения критической частоты слоя F2 (  $\Delta f_0$  ) выявлены в результате анализа





Р и с 3.3 Спектральная плотность  $\Delta \rho_{F_0}^2$  по данным ст. Петропавловск-Камчатский



временного распределения  $\Delta f$  и географического в полосе долгот от  $30-70^{\circ}E$  и широт  $40-70^{\circ}$ . Величины  $\Delta f_0$  получены по 15-минутным данным станций ВЗ из приведенного выше списка. Изучение проведено для 16 марта, когда имело место магнитно-ионосферное возмущение и для спокойного для 19 марта ( $\sum K_p = 9$ ); 16 марта  $\sum K_p = 22$ , при этом в интервале от 0 до  $12^h UT$  /3-часовые  $K_p$  - индексы были равны четырем. Выбраны периоды мирового времени  $5^h UT$  (что соответствует местному времени от 7 до 10 часов в данной полосе долгот) и  $10^h UT$  (от 12 до  $15^h LT$ ). Для этих периодов построены карты географического распределения равных значений  $\Delta f_0$ . Карта приведена на рис. 4. Сплошной линией нанесены изолинии равных значений  $\Delta f_0$  для 19 марта, пунктирной - для 16 марта.

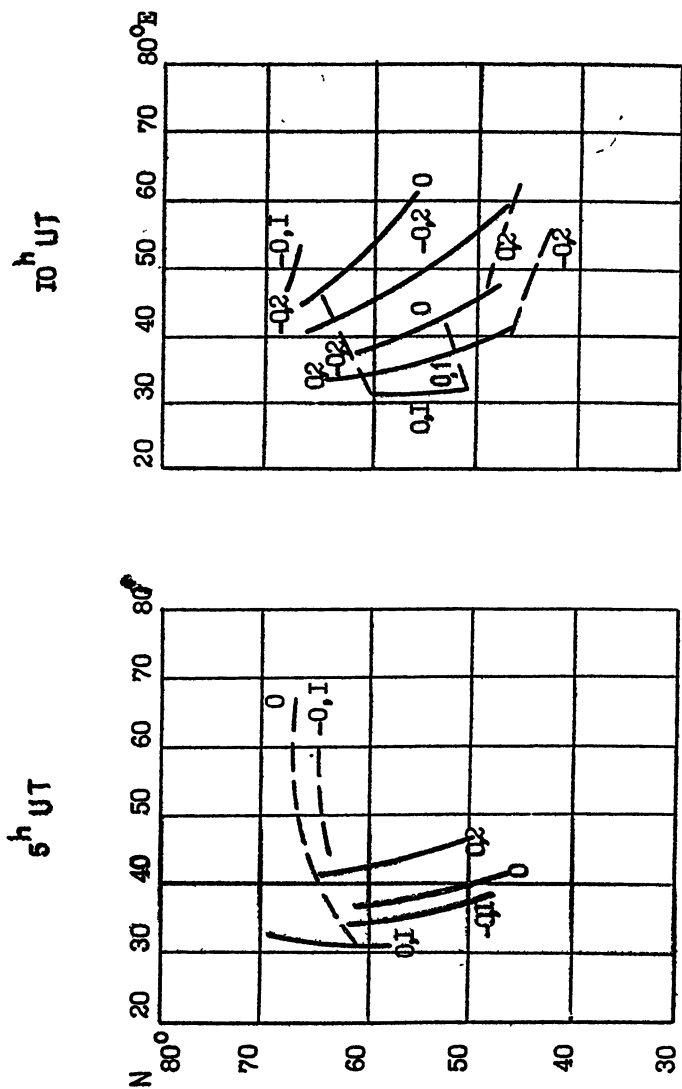
При построения карт использовались дополнительные данные  $\Delta f_0$ , полученные в результате пространственного разнесения суточного хода  $f_0 F_2$  станции вдоль геомагнитной широты в пределах  $\sim 500$  км.

Анализ географического и временного распределения равных амплитуд  $\Delta f_0$  16 и 19 марта указал на различия в направлениях перемещения  $\Delta f_0$ , обусловленных геофизической обстановкой.

16 марта в  $5^h UT$  в северных широтах перемещение возмущений  $\Delta f_0$  происходило в направлении с севера на юг. На широтах южнее  $60^{\circ}$  выделить преимущественное направление возмущения оказалось затруднительным. В  $10^h UT$  16 марта в северных широтах направление перемещения  $\Delta f_0$  сохранялось, а в полосе широт от  $50$  до  $40^{\circ}$  произошло смещение в юго-западному.

19 марта в  $5^h UT$ , в моменты времени близкие к восходу, направление преимущественно восточно-западное. С увеличением времени от момента восхода ( $10^h UT$ ) направление смещалось к юго-западному.

Полученные результаты дают основание сделать заключение, что 16 марта на северных широтах крупномасштабное возмущение в слое F обусловлено процессами в авроральной ионосфере, связанными с магнитосферными возмущениями. 19 марта возмущение в слое F в утренние часы можно считать связанными с движением терминатора. В это время наблюдается совпадение направления перемещения возмущения с движением терминатора.

Р и с. 4 Изолинии равных значений  $\Delta\varphi_0 F_2$

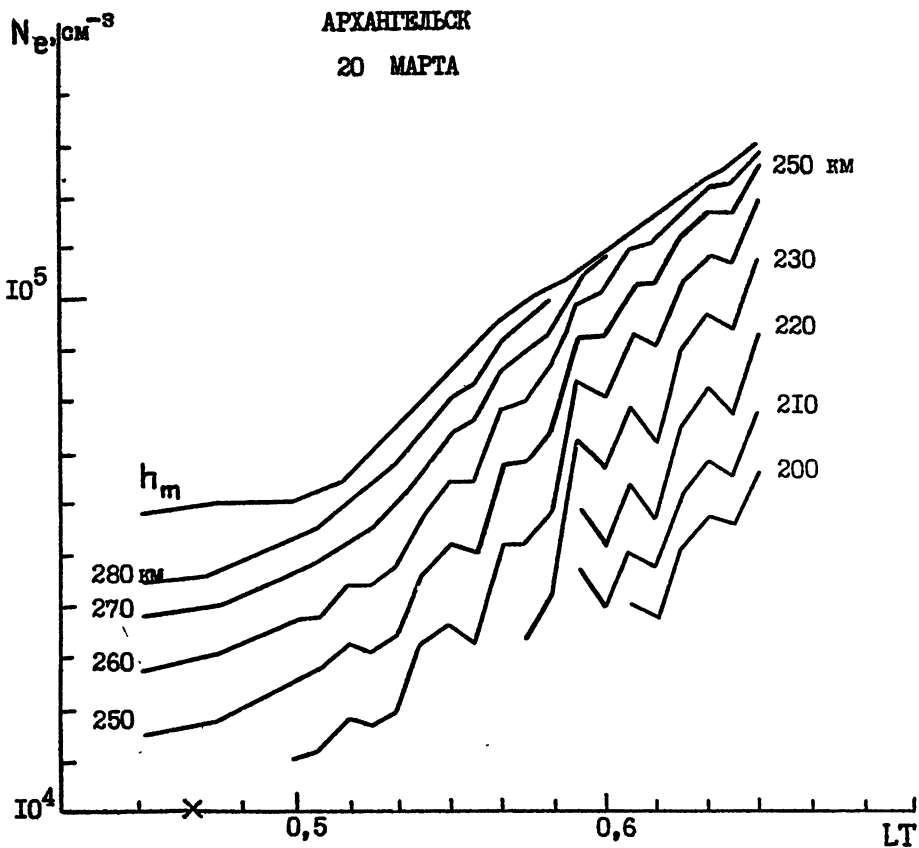
### 3. Волновые возмущения электронной концентрации на разных высотах области

Для изучения высотной зависимости волновых возмущений электронной концентрации ( $\Delta N$ ) и ее динамики проведена серия расчетов высотных профилей  $N$ . Расчеты выполнены для спокойных ионосферных условий 14 и 20 марта для утренних часов по 5-минутным данным ВЗ ст. Архангельск и Мезень. По данным  $N(h)$  получены временные вариации значений электронной концентрации на фиксированных высотах слоя F2 (от высоты минимального значения  $N$  до высоты максимума  $N$ ), выделены возмущенные составляющие  $\Delta N$  способом, указанным в п. I, и рассчитаны величины  $\Delta N/N$  (в %). Пример временных вариаций  $N$  на разных фиксированных высотах приведен на рис. 5. По оси отложены моменты времени, крестиками на оси отмечены моменты восхода на высоте 100 км над поверхностью Земли.

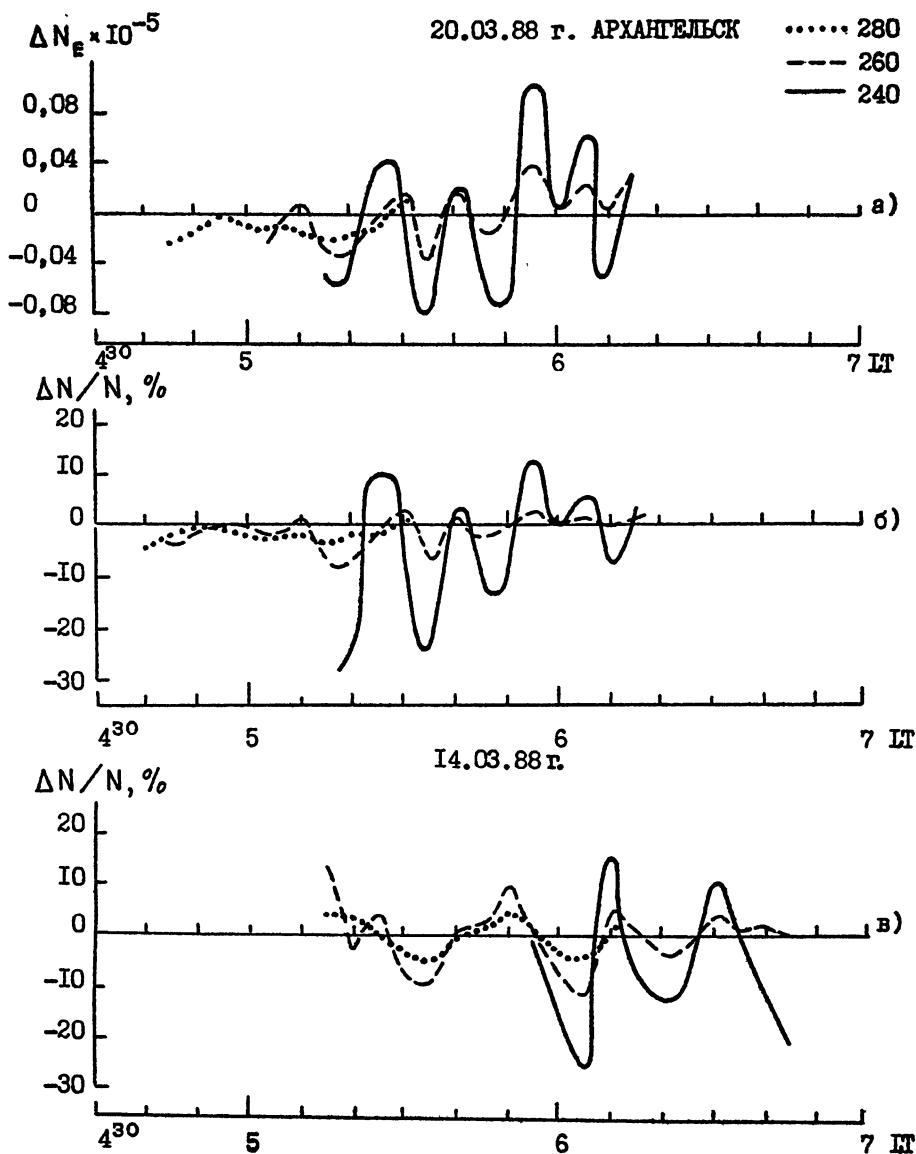
Аналізу подвергнуты временные вариации  $\Delta N$  и  $\Delta N/N$  на разных фиксированных высотах диапазона слоя F2. В результате анализа установлены следующие особенности в характере вариаций  $\Delta N$  и  $\Delta N/N$ .

1. Волновые возмущения  $\Delta N$  на высотах слоя F2 появляются после восхода Солнца на высоте 100 км.
2. Амплитуды волновых возмущений  $\Delta N$  и  $\Delta N/N$  уменьшаются с ростом высоты. На высоте максимума слоя амплитуда колебаний  $\Delta N/N$  не превышает 4-5%. На высотах, близких к нижней границе слоя F2,  $\Delta N/N$  составляет 22-25%.
3. Во всей толще слоя F2 наблюдается увеличение периода колебаний  $\Delta N$  на фиксированной высоте с увеличением временного интервала с момента появления возмущения.

Отмеченные особенности в поведении  $\Delta N$ ,  $\Delta N/N$  подтверждаются данными рис. 6, где представлен временной ход  $\Delta N$  на нескольких фиксированных высотах слоя F2 (рис. 6а) и временной ход  $\Delta N/N$  (рис. 6б и 6в).



Р и с. 5 Временные вариации  $N$   
на фиксированных высотах слоя F 2



Р и с.6 Временные вариации  $\Delta N$  и  $\Delta N/N, \%$  на фиксированных высотах слоя

## З а к л ю ч е н и е

Результаты исследований, приведенные в настоящей работе, качественно согласуются с теоретическими выводами относительно солнечного терминатора как источника волновых возмущений и дают основание считать солнечный терминатор основным источником волновых возмущений электронной концентрации в период восхода в спокойных ионосферных условиях.

## Л и т е р а т у р а

1. Дженкино, Ватте. Спектральный анализ и его применение. - М. : Мир, 1971. - Т. I. - 314 с.
2. Сомских В.М. Солнечный терминатор и динамика атмосферы. - Алма-Ата, изд. 1983. - 273 с.

Дата поступления  
статьи  
20 июня 1989 г.