

# Изменчивость ионосферы над Восточной Сибирью по данным наклонного зондирования

Полех Н.М., Иванова В.А., Черниговская М.А.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

## 1. Анализ экспериментальных данных

Используя данные о максимальных наблюдаемых частотах односкачкового мода (МНЧ1F), полученных на трех трассах Магадан–Иркутск, Хабаровск–Иркутск и Норильск–Иркутск в течение 2006–2013 гг., проведено исследование изменчивости ионосферы для полуденных и полуденных часов местного времени. Местное время определялось относительно средней точки трассы. Схема расположения радиотрасс приведена на Рис. 1. Приемно-передающие пункты оборудованы ЛЧМ – ионозондами, работавшими в частотном диапазоне 4 – 30 МГц. Зондирование на этих трассах проводилось с интервалами 5 и 15 минут. Из всего объема данных для анализа были использованы данные, полученные в интервалы, для которых эффективный *ap*-индекс не превышал 9 [1]. В качестве меры изменчивости использовались стандартные отклонения  $\sigma$  абсолютных  $\delta$  МНЧ1F и  $\Delta$  МНЧ1F флуктуаций:  $\delta$  МНЧ1F =  $(f/f_m - 1) \cdot 100$ , (%), и  $\Delta$  МНЧ1F =  $(f - f_m)$ , МГц,

где *f* – текущие значения МНЧ1F, *f<sub>m</sub>* – медиана, определенная по магнитоспокойным дням. В Таблице 1 приведены рассчитанные значения среднеквадратичных отклонений, усредненные по сезонам: зима (ноябрь, декабрь, январь, февраль), лето (май, июнь, июль, август) и равноденствие (март, апрель, сентябрь и октябрь). Видно, что абсолютные отклонения  $\Delta$ МНЧ1F незначительно отличаются для всех трасс практически для всех сезонов. Относительные отклонения  $\delta$ МНЧ1F, рассчитанные для дневных условий, примерно в 2 раза меньше, чем для ночных часов. Можно отметить тенденцию роста  $\Delta$ МНЧ1F с увеличением солнечной активности для зимы и равноденствия.

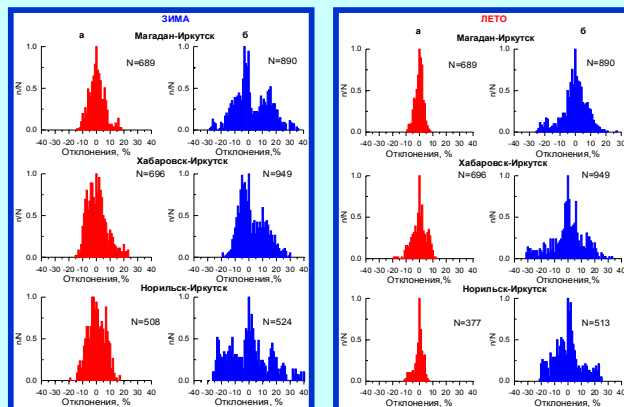
Таблица 1

Трасса	Отклонения текущих значений от медианы				Отклонения текущих значений от медианы			
	Низкая солнечная активность				Умеренная солнечная активность			
	День		Ночь		День		Ночь	
	$\sigma$ ( $\Delta$ МНЧ), МГц	$\sigma$ ( $\delta$ МНЧ), %	$\sigma$ ( $\Delta$ МНЧ), МГц	$\sigma$ ( $\delta$ МНЧ), %	$\sigma$ ( $\Delta$ МНЧ), МГц	$\sigma$ ( $\delta$ МНЧ), %	$\sigma$ ( $\Delta$ МНЧ), МГц	$\sigma$ ( $\delta$ МНЧ), %
Зима								
Магадан–Иркутск	1,13	5,49	1,21	13,45	1,77	7,79	1,3	13,33
Хабаровск–Иркутск					1,75	7,72	1,31	13,46
Норильск–Иркутск	1,11	6,48	1,12	17,37	1,72	7,28	0,85	13,37
Равноденствие								
Магадан–Иркутск	1,32	6,7	1,28	13,04	1,9	8,15	1,44	11,93
Хабаровск–Иркутск*	1,46	7,5	1,52	12,07	1,72	7,34	1,24	10,33
Норильск–Иркутск	1,27	7,02	0,8	12,48	1,37	7,44	0,96	10,29
Лето								
Магадан–Иркутск	1,33	7,0	1,36	10,95	1,3	6,3	1,77	12,23
Хабаровск–Иркутск					1,52	7,79	1,75	12,07
Норильск–Иркутск	1,08	7,17	1,22	12,25	1,00	6,02	1,01	10,28

\* Наблюдения на трассе Хабаровск–Иркутск начались с осени 2009 г.



Рис. 1 Схема расположения радиотрасс.



На Рис.2-3 приведены гистограммы распределения относительных отклонений  $\delta$ МНЧ1F для трех трасс для зимних (январь 2010 г.) и летних (июль 2011 г.) условий: а – день, б- ночь. Видно, днем относительные отклонения в основном сосредоточены в узком интервале (-10%–+15% –зимой и (-10%–+10% – летом). В ночные часы распределение  $\delta$ МНЧ1F занимает больший диапазон, в зимнее время он составляет -30% –+30% и больше ( для трассы Норильск – Иркутск), и оно более асимметричное, чем в дневные часы, на всех трассах.

Согласно ранее проведенным исследованиям [2-3] и др., в вариациях параметрах ионосферных характеристик присутствуют кратковременные вариации с временными масштабами от нескольких минут до 1.5–2 час и долговременные изменения с периодами до нескольких суток, которые вызывают вариации от дня ко дню. Для анализа мы использовали усредненные за 2 часа значения МНЧ1F, центрированные на середину этого интервала времени (*f<sub>1</sub>*). Это позволяет представить стандартное отклонение измеренного значения *f* от медианы *f<sub>m</sub>* состоящим из высокочастотной и низкочастотной частей, т.е. из стандартных отклонений *f* от *f<sub>1</sub>* и *f<sub>1</sub>* от *f<sub>m</sub>*:  $\sigma^2(\delta f) = \sigma^2(\delta f_{f_1}) + \sigma^2(\delta f_{f_m})$ ,  $\delta f_{f_1} = (f/f_1 - 1) \cdot 100$ , %,  $\delta f_{f_m} = (f_1/f_m - 1) \cdot 100$ , %. На Рис.4 приведены графики распределения нормированных относительных отклонений, рассчитанных для данных, полученных на трассе Магадан – Иркутск в марте 2007 г.

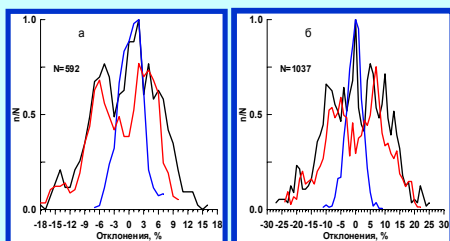


Рис.4 Распределение нормированных относительных отклонений, рассчитанных для полуденных часов (а) и полуденных часов (б). Черные линии относятся к распределению относительных отклонений текущих величин от их медианы, синяя линия – распределение относительных отклонений текущих величин от их усредненных значений, красная линия – распределение относительных величин усредненных величин от медианы. Видно, что кратковременные вариации с характерными временами меньше, чем 2 часа, составляют менее 10% от их медианных величин как днем, так и ночью. Вариации с временными масштабами ~ несколько суток имеют отклонения (до 20-30%).

## Литература

1. Wrenn G.L. Time-weighted accumulations *ap*( $\epsilon$ ) and *Kp*( $\epsilon$ ) // J. Geophys. Res. V. 92. № A9. P. 10125-10129. 1987.
2. Forbes J.M., Palo S.E., Zhang X. Variability of the ionosphere // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. V. 62. № 8. P. 685-693. 2000.
3. Деминов М.Г., Деминова Г.Ф., Жеребцов Г.А., Пирог О.М., Полех Н.М. Изменчивость параметров максимума F2-слоя спокойной среднейширотной ионосферы при низкой солнечной активности: статистические свойства // Геомагнетизм и аэронавигация, 2011. Т.51. №3. С.352-359.
4. Шлынев Б.Г., Панчева Д., Мухратов П., Куркин В.И., Ратовский К.Г., Черниговская М.А., Белинская А.Ю., Степанов А.Е. Отклик ионосферы над регионом Восточной Сибири во время внезапного стратосферного потепления 2009 г. по данным наземного и спутникового радиозондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, №1. С. 153–163.
5. Полякова А.С., Черниговская М.А., Перевалова Н.П. Исследование отклика ионосферы на внезапные стратосферные потепления в азиатском регионе России // Солнечно-земная физика, 2015, Т.1, № 4.

Проведенный анализ показал, что в отдельные дни в зимнее время наблюдается значительное превышение рассчитанных СКО над их среднемесячными величинами. Так как используемые данные относились только к спокойным геомагнитным условиям, мы рассмотрели связь роста изменчивости ионосферы с наблюдаемыми сильными стратосферными потеплениями (ВСП). Ранее в многочисленных работах, например, [4-5] и ссылках к ним, исследовалось влияние ВСП на параметры ионосферы и было показано, что динамические эффекты, возникающие во время ВСП, проявляются на высотах ионосферы и их эффективность в значительной мере зависит от пункта наблюдения относительно зоны циркуляции. Мы провели сопоставление температурных вариаций в стратосфере с изменением рассчитанных стандартных отклонений (Рис.5).

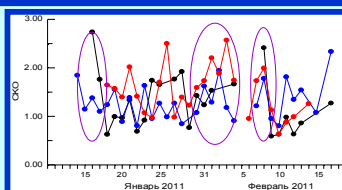
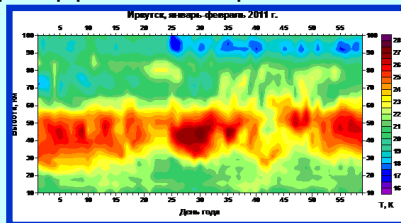


Рис.5 Вариации стратосферной температуры в январе-февреле 2011 г. и среднеквадратичных отклонений на трех трассах, рассчитанных для этого времени: черная линия – трасса Норильск–Иркутск, синяя – Магадан–Иркутск, красная – Хабаровск–Иркутск. Отмечены области одновременного увеличения СКО относительно их средних величин.

Можно выделить области одновременного роста СКО, рассчитанного для трех трасс, который отмечен спустя несколько дней после наблюдаемого увеличения стратосферной температуры.

## Выводы

1. Проведенный анализ изменчивости МНЧ односкачкового мода показал, что наблюдаемые относительные отклонения ночью в два раза больше дневных.
2. Абсолютные отклонения МНЧ незначительно отличаются для всех сезонов на рассматриваемых трассах.
3. Одновременный рост СКО зимой на трех трассах в спокойных геомагнитных условиях может быть обусловлен влиянием динамических процессов, усиленных во время внезапных стратосферных потеплений.