



# **ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛИКА СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ/ТЕРМОСФЕРЫ НА ВОЗРАСТАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВНЕЗАПНОЕ СТРАТОСФЕРНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ В ЯНВАРЕ 2013 Г.**

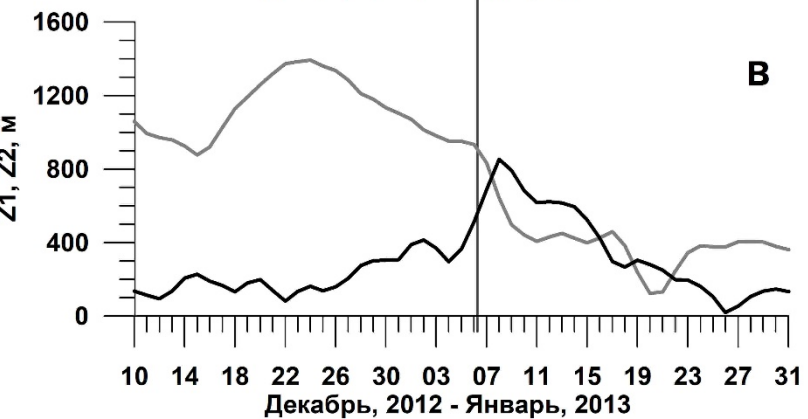
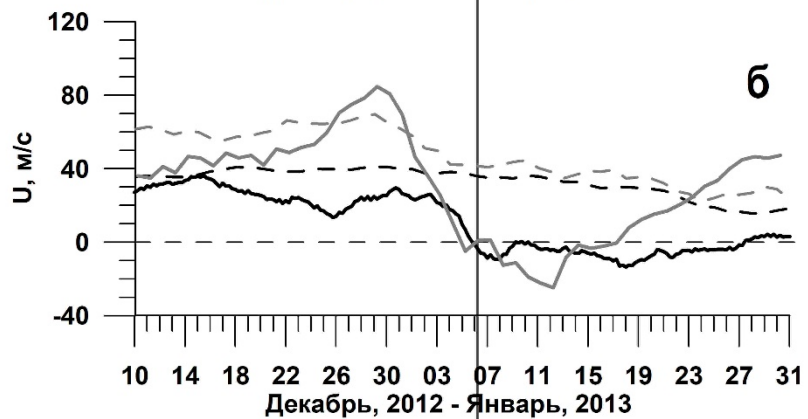
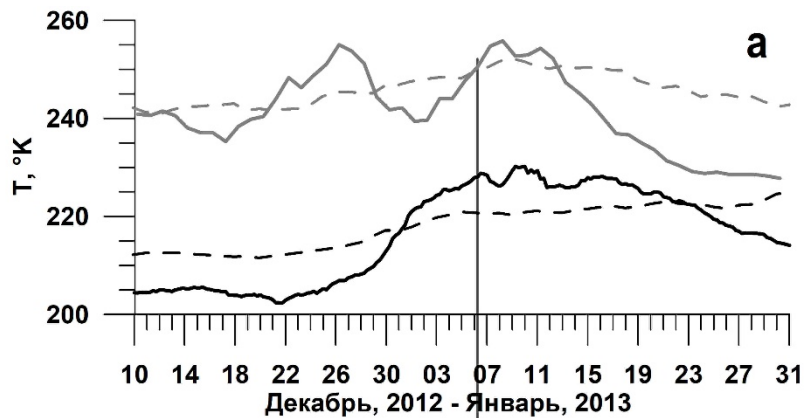
***Ясюкевич А.С.<sup>(1)</sup>, Клименко М.В.<sup>(2, 3)</sup>, Клименко В.В.<sup>(2)</sup>, Бессараб Ф.С.<sup>(2, 3)</sup>,  
Кореньков Ю.Н.<sup>(2)</sup>, Ратовский К.Г.<sup>(1)</sup>, Колесник С.А.<sup>(4)</sup>***

**(1) Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Иркутск, Россия, [annpol@iszf.irk.ru](mailto:annpol@iszf.irk.ru)**

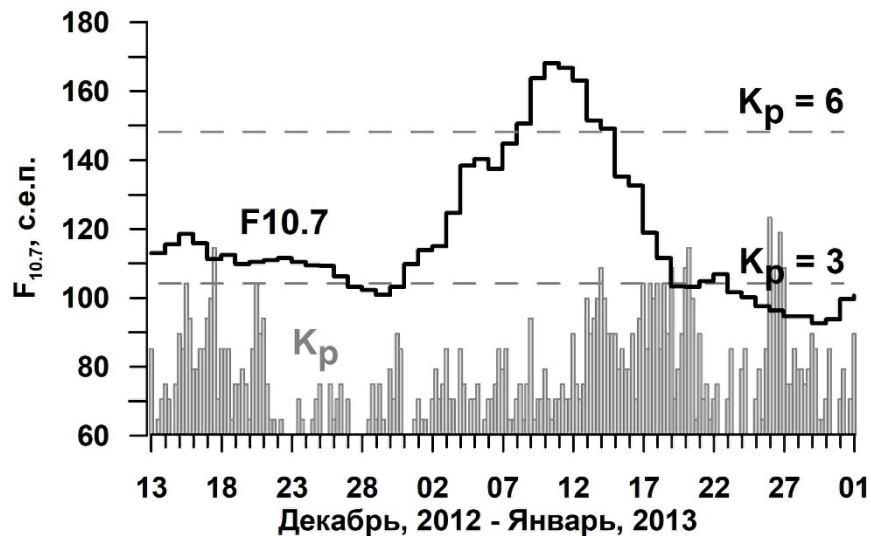
**(2) КФ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, 236010, Калининград, Россия**

**(3) БФУ им. И. Канта, 236016, Калининград, Россия**

**(4) Томский Государственный Университет, 634050, Томск, Россия**



Указанный период представляет особый интерес для исследования физики солнечно-земных и атмосферно-ионосферных связей, поскольку характеризуется одновременным резким увеличением солнечной активности и образованием внезапного стратосферного потепления (ВСП).



Для исследования использовались данные о вариациях:

- ✓ критической частоты F2-слоя ионосферы ( $f_oF_2$ ) по измерениям ионозондов в Томске ( $85^\circ$  в.д.,  $56^\circ$  с.ш.) и Иркутске ( $104^\circ$  в.д.,  $52^\circ$  с.ш.);
- ✓ полного электронного содержания (ПЭС) на основе данных фазовых двухчастотных приемников GPS/ГЛОНАСС;
- ✓ отношения концентраций  $O/N_2$  в термосфере на основе измерений спутникового микроволнового спектрометра GUVI TIMED.
- ✓ Для интерпретации выявленных возмущений выполнено сравнение экспериментальных измерений с результатами модельных расчетов, полученных с использованием Глобальной Самосогласованной Модели Термосфера, Ионосфера, Протоносфера (ГСМ ТИП).

# МОДЕЛЬ ГСМ ТИП

## Термосферные параметры:

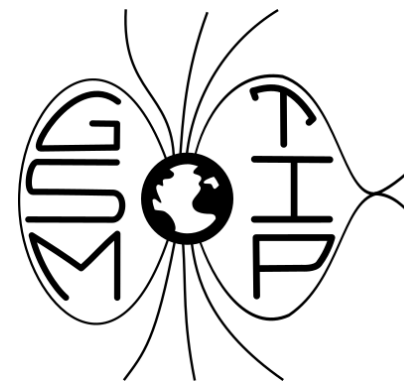
Плотности и векторы скоростей  $T_n$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $O$ ,  $NO$ ,  $N(^4S)$ ,  $N(^2D)$  ;  
(80 - 500 км)

## Ионосферные параметры:

Плотности  $O^+$ ,  $H^+$ ,  $MoI^+$ ;  
 $T_i$  и  $T_e$ ;  
Векторы скоростей ионов  
(от 80 км до  $15 R_E$ )

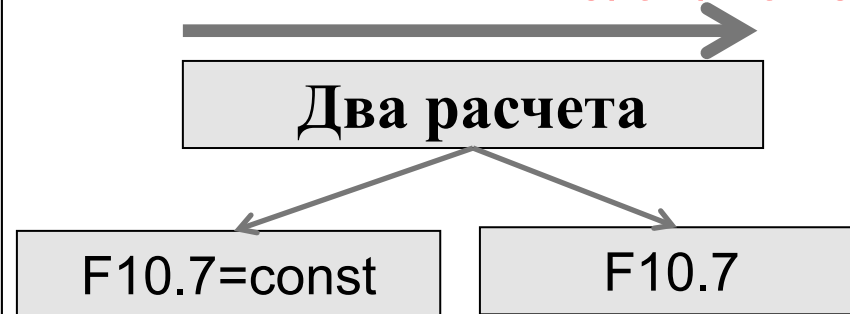
## Электрическое поле:

Новый блок расчета электрических полей  
*Klimenko et al.*, 2006, 2007.



22/12/2012

13/01/2013



Без учета ВСП

Детальное описание модели  
[Namgaladze et al., 1988;  
Korenkov et al., 1998].

# ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СТРАТОСФЕРЫ

ТЕМПЕРАТУРА 22/12/2012/12 UT 10 гПа

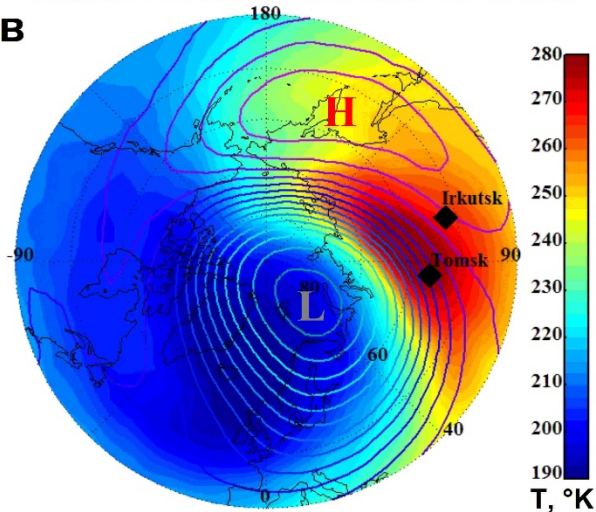
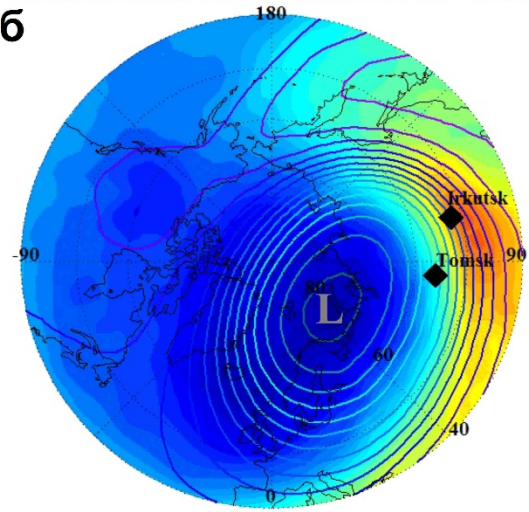
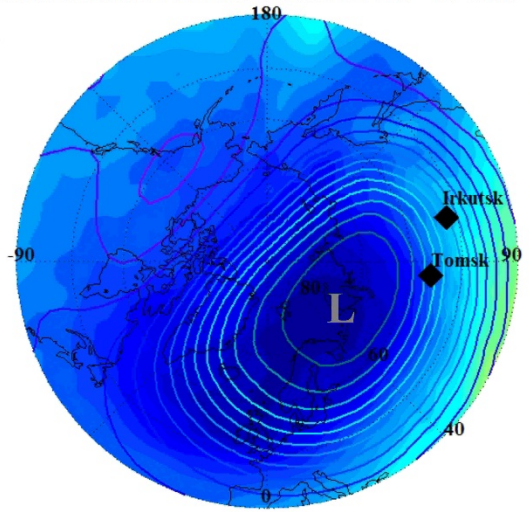
ТЕМПЕРАТУРА 29/12/2012/12 UT 10 гПа

ТЕМПЕРАТУРА 02/01/2013/12 UT 10 гПа

а

б

в



ТЕМПЕРАТУРА 06/01/2013/12 UT 10 гПа

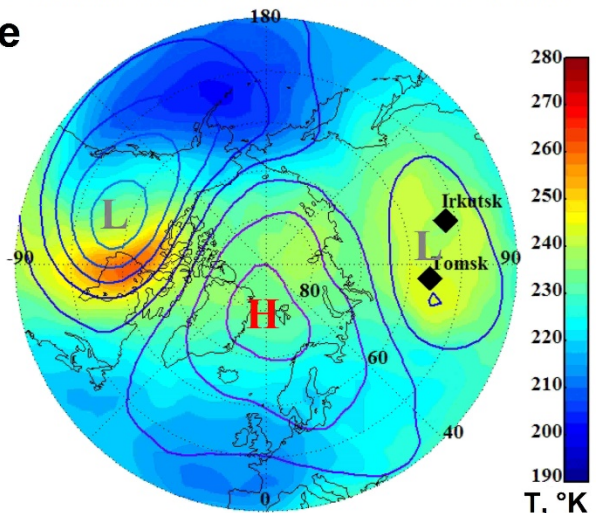
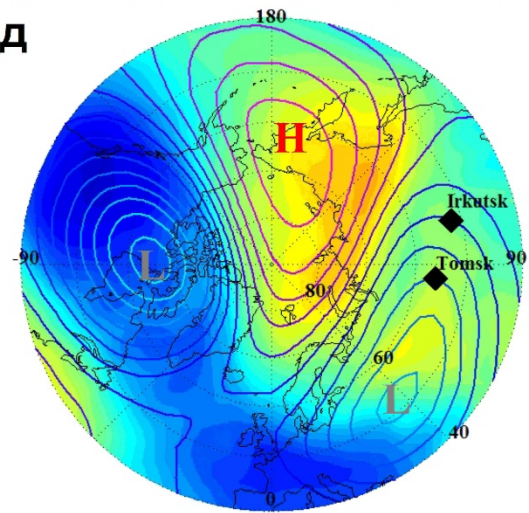
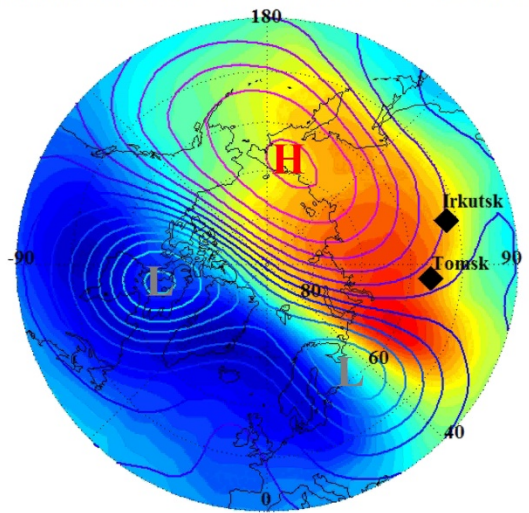
ТЕМПЕРАТУРА 08/01/2013/12 UT 10 гПа

ТЕМПЕРАТУРА 17/01/2013/12 UT 10 гПа

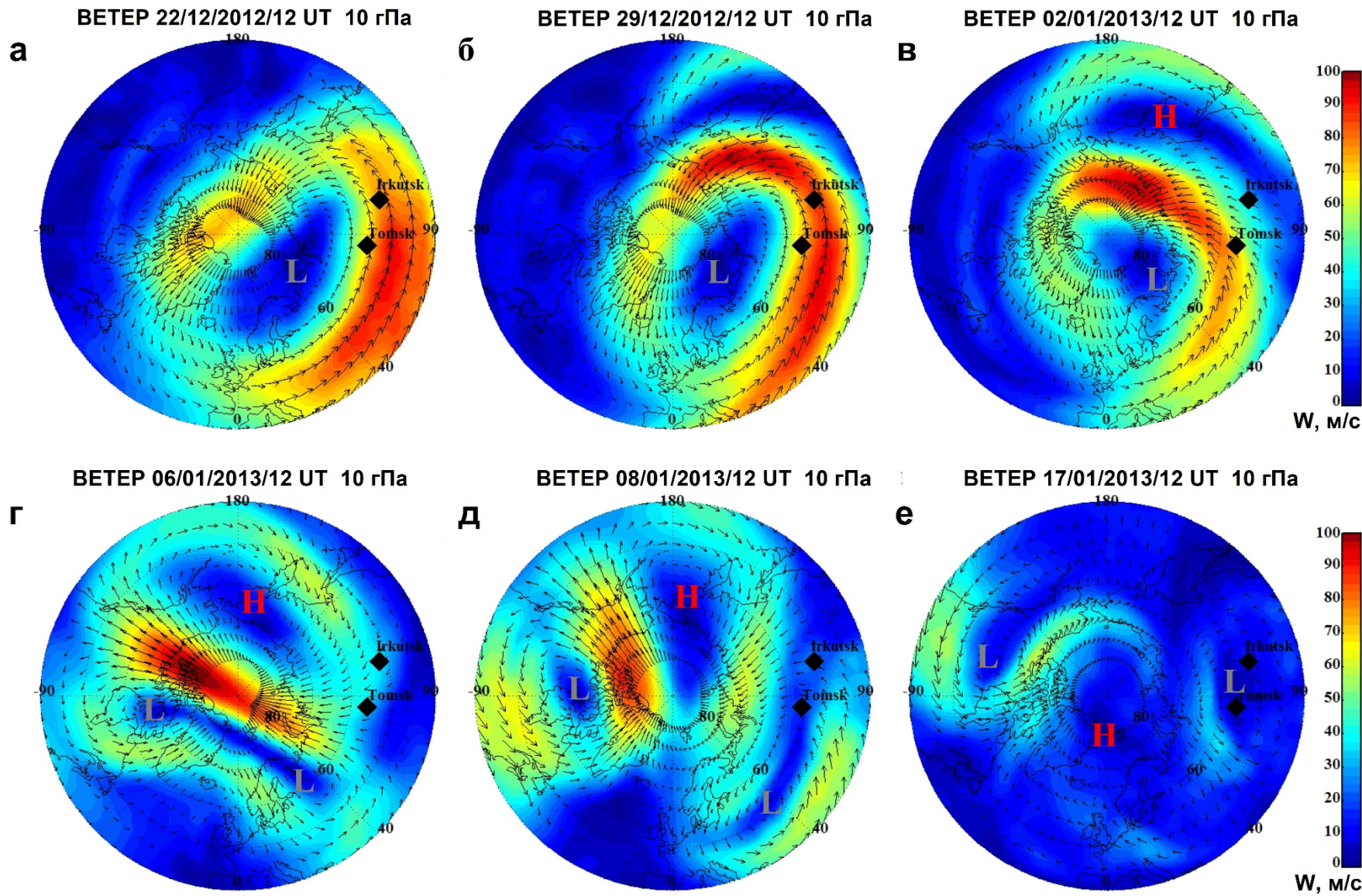
г

д

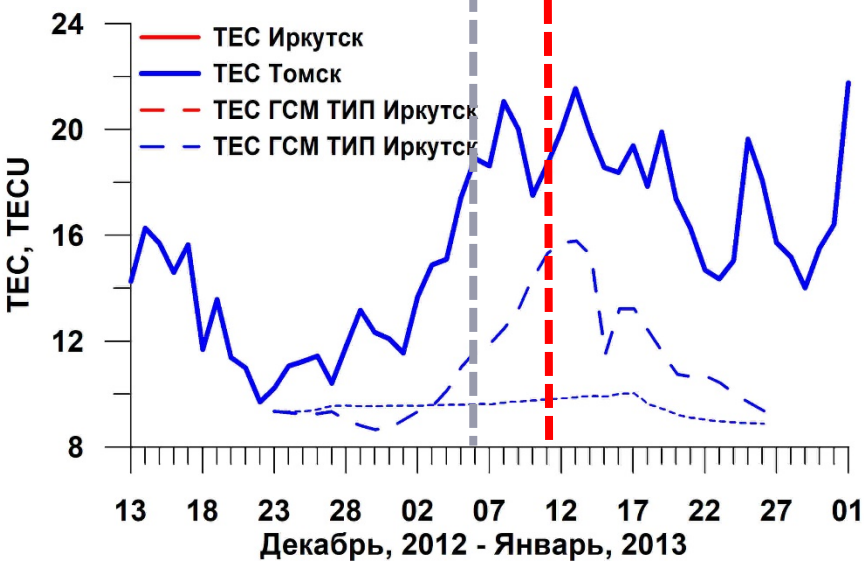
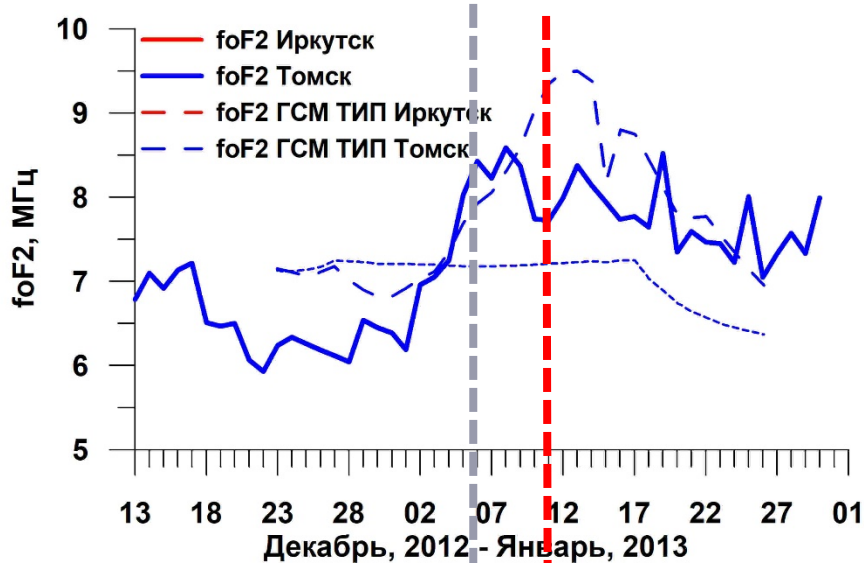
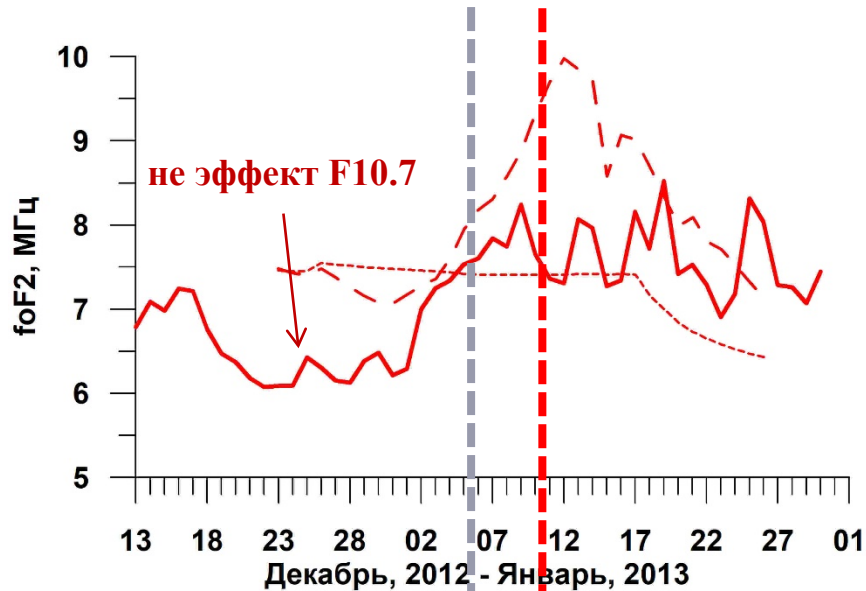
е

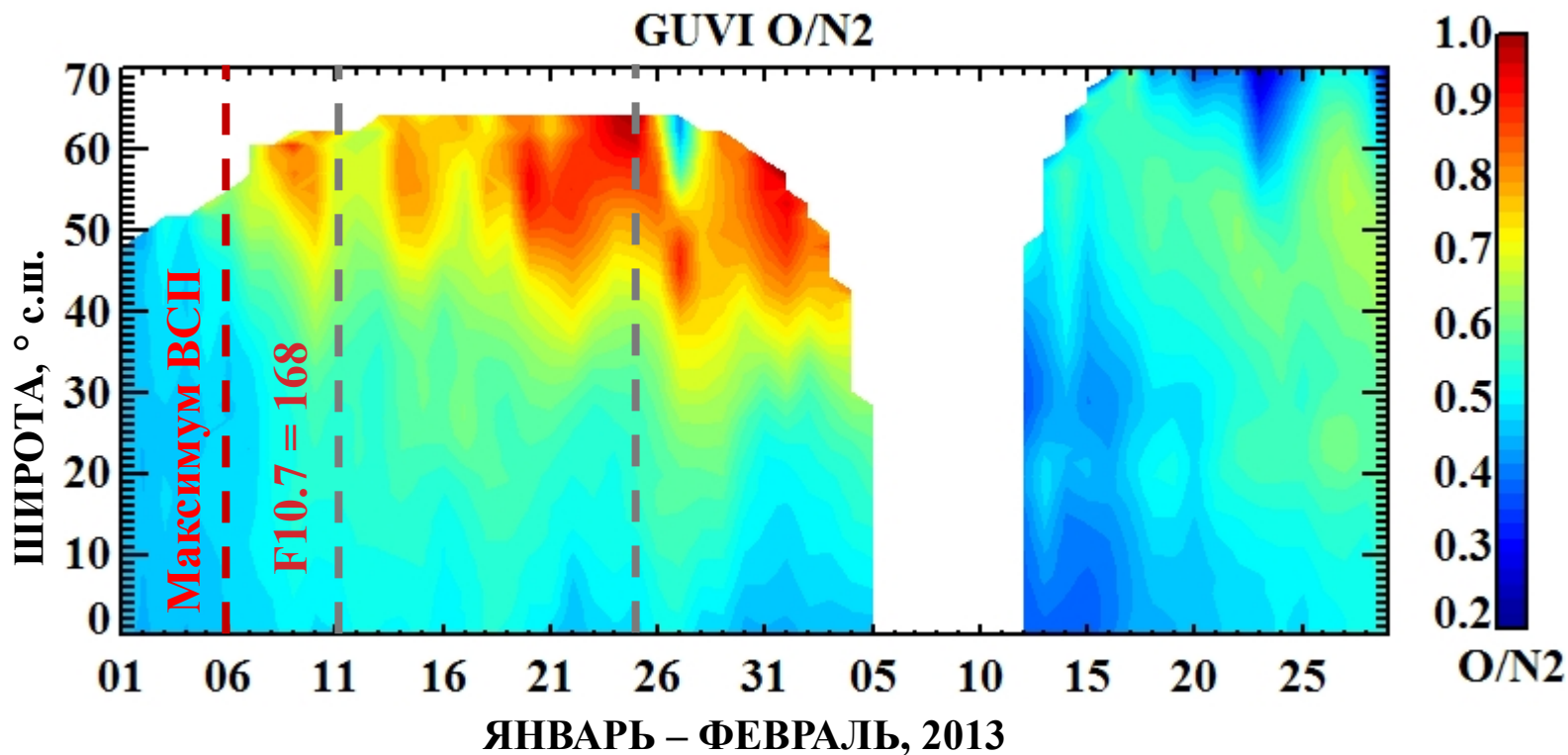


# ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ ВЕТРА В СТРАТОСФЕРЕ



# Эффекты в ионосфере: Солнце и/или ВСП?



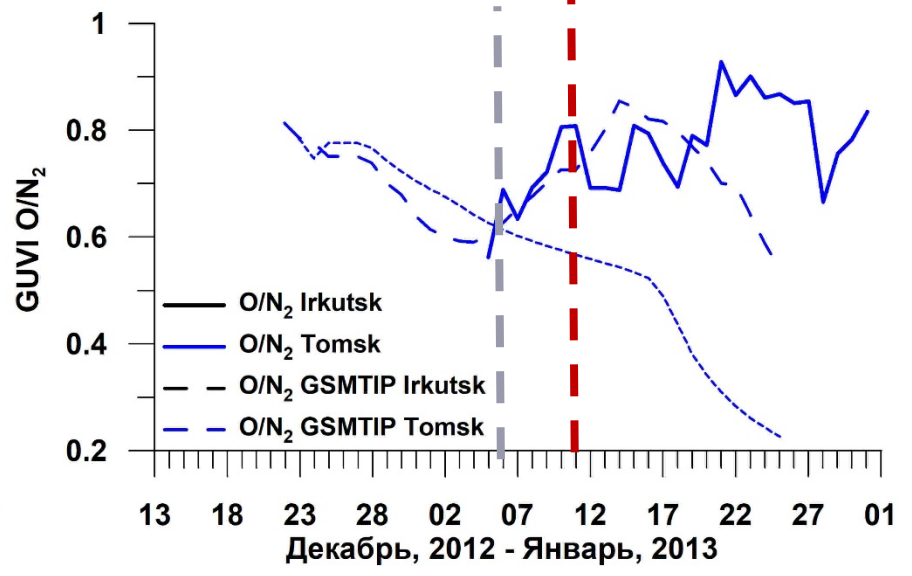
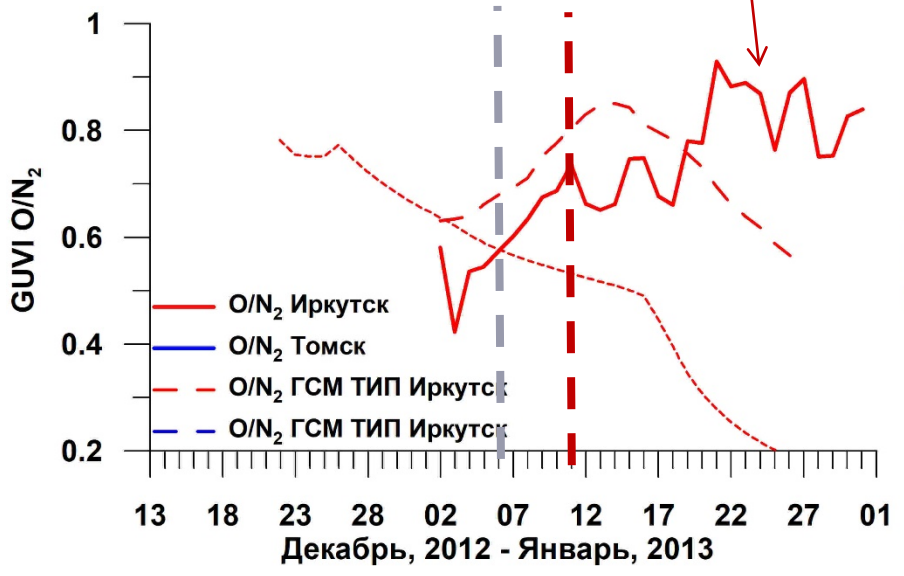


Yasyukevich A. S., *J. Geophys. Res.: Space Phys.*, 2018,  
V. 123, Iss. 4. P: 3027-3038, doi:10.1002/2017JA024739



# ВАРИАЦИИ O/N<sub>2</sub>

не эффект F10.7



- В рассмотрены вариации критической частоты F2-слоя ионосферы ( $f_oF2$ ) по измерениям ионозондов, полного электронного содержания, а также вариации отношения концентраций  $O/N_2$  (GUVI TIMED) в Томске и Иркутске в зимний период 2012-2013 гг. Для интерпретации выявленных возмущений выполнено сравнение экспериментальных измерений с результатами модельных расчетов (ГСМ ТИП).
- Зарегистрирован отчетливый отклик на повышение солнечной активности с начала января.
- В результатах модельных расчетов отмечена задержка максимумов  $f_oF2$ , ТЕС и  $O/N_2$  относительно максимума солнечной активности. Для электронной концентрации запаздывание составило 1-2 дня после пика F10.7, для  $O/N_2$  эффект запаздывания относительно изменений F10.7 более существенный и составляет около 4 дней.
- Результаты моделирования позволили отделить отклик верхней атмосферы на ВСП от отклика на изменения солнечной активности. К отклику верхней атмосферы на ВСП можно отнести: снижение  $f_oF2$  и ПЭС в период развития потепления; продолжительное увеличение  $O/N_2$ ,  $f_oF2$  и ПЭС после максимума ВСП.

- Указанные изменения электронной концентрации связаны с вариациями нейтрального состава, в частности, с вариациями отношения  $O/N_2$ .
- Увеличение температуры термосферы во время ВСП может оказывать влияние на электронную концентрацию в ионосфере. Результаты модельных расчетов (Klimenko et al., 2013) показали, что рост температуры на высотах нижней термосферы приводит к уменьшению отношения  $O/N_2$ , что вызывает уменьшение электронной концентрации в максимуме F2-слоя, подобно процессам, происходящим во время геомагнитных бурь.
- После максимума потепления, может наблюдаться аналог «эффекта последствия геомагнитных бурь» (Klimenko et al., 2017, 2018), когда в ионосфере средних широт происходит увеличение отношения  $O/N_2$ , а также возможен приток плазмы из возмущенной экваториальной ионосферы, где во время ВСП регистрируется существенный рост электронной концентрации.

*Результаты опубликованы в: Ясюкевич А.С. и др. Солнечно-земная физика. 2018. Т. 4, № 4. С. 62–75, doi: 10.12737/szf-44201807*



## Спасибо за внимание!

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ № **16-35-60018**, **18-05-00594** и гранта РНФ № **17-17-01060**.

Выражаем благодарность International GNSS Service за доступ к данным ГНСС; European Centre for Medium-Range Weather Forecasts и Atmospheric Chemistry and Dynamics Laboratory/Goddard Space Flight Center за данные метеорологических архивов реанализа; Aerospace Corporation и Johns Hopkins University за спутниковые данные GUVI/TIMED; а также сервису OMNIWeb Plus NASA/Goddard Space Flight Center за данные геомагнитных индексов.

Данные Иркутского ионозонда получены с использованием оборудования ЦКП «Ангара» ИСЗФ СО РАН: [скр-angara.iszf.irk.ru](http://скр-angara.iszf.irk.ru).