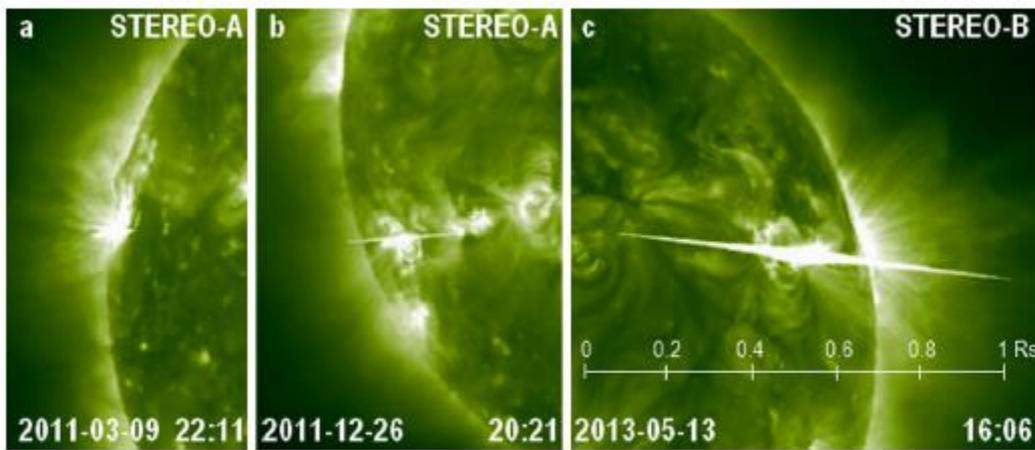


**3. Результаты реализованных в 2014 – 2015 годах летних научных программ, исследований и наблюдений**

**3.1 Разработан простой способ оценки рентгеновского балла солнечных залимбовых вспышек, наблюдаемых на STEREO-A и STEREO-B**

Он представляет собой пример того, как паразитный эффект может быть использован для получения весьма полезной информации.

При солнечных вспышках рентгеновских классов C и выше на изображениях телескопа STEREO/EUVI в канале  $195 \text{ \AA}$  возникает эффект перегрузки – полоска насыщения, ориентированная под небольшим углом к направлению восток-запад. Этот эффект (блуминг) вызван растеканием избыточного заряда из ячейки фотоприёмника с зарядовой связью, соответствующей наиболее яркому месту вспышки. Максимальная длина этой артефактной полоски (L), измеренная в долях солнечного радиуса ( $R_s$ ) на том же изображении, может быть использована для решения актуальной проблемы – оценок потока мягкого рентгеновского излучения и соответствующего балла вспышек, невидимых с Земли, но наблюдаемых с аппаратов STEREO (рис.1).



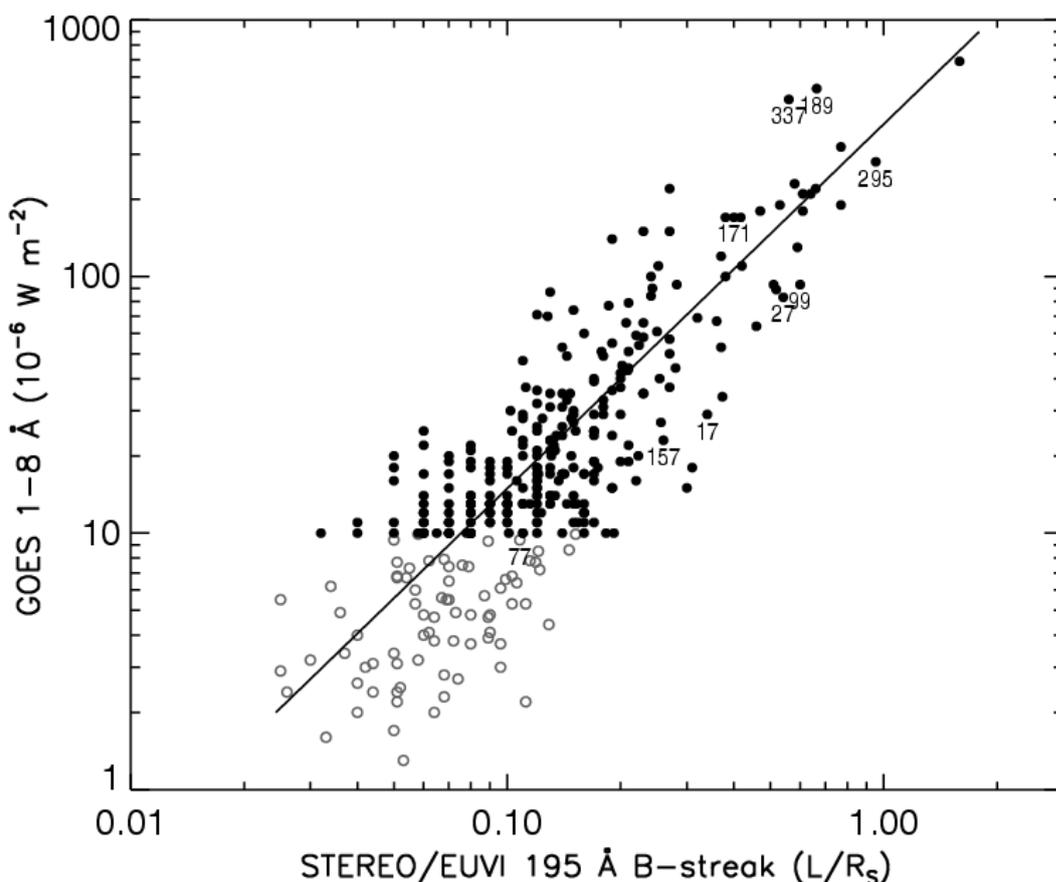
**Рис.1.** Изображения телескопа STEREO/EUVI в канале  $195 \text{ \AA}$  с полосой блумина, типичной для вспышек балла C(a), M(b) и X(c). Масштаб, показанный на панели (c) одинаков для всех трёх кадров.

С этой целью по данным о примерно 350 вспышках балла C1 и выше, наблюдавшихся на ИСЗ GOES и КА STEREO с января 2007 г. по июль 2014 г., установлена статистическая зависимость между пиковым рентгеновским потоком в диапазоне  $1\text{--}8 \text{ \AA}$  и максимальной относительной длиной полосы блуминга  $L/R_s$ , которая позволяет оценить балл залимбовых вспышек (рис.2).

Обнаружено, что в кратковременных компактных вспышках обычно наблюдается тонкая, одиночная, удлинённая полоска насыщения, а для вспышек большой длительности (LDE) характерно наличие нескольких утолщенных и укороченных полосок блуминга. Продемонстрировано также, что по измерениям относительной длины блуминга на нескольких последовательных изображениях можно судить о временном профиле конкретной залимбовой вспышки.

Установленная зависимость позволила за тот же период выделить около 65 крупных залимбовых вспышек с  $L/R_s > 0,2$  (т.е. с баллом  $>M3.0$ ), наблюдавшихся только на STEREO, и оценить их рентгеновский класс. Согласно этим оценкам, наиболее мощной в 24-ом цикле была вспышка, произошедшая 20 сентября 2012 г. в активной области с координатами S15E156 и имевшая самую длинную полоску насыщения  $L/R_s \approx 2,38$ . Её

оценочный рентгеновский класс достиг уровня примерно X13. Предложенный простой способ даёт результаты, близкие к оценкам Nitta et al. (*Solar Phys.*, **288**, 241, 2013), основанным на непосредственном вычислении суммы инструментальных отсчётов на изображениях телескопа EUVI.



**Рис.2.** Соотношение между максимальной относительной длиной полосы блуминга  $L/R_s$  по наблюдениям на ультрафиолетовых телескопах STEREO/EUVI в канале  $195 \text{ \AA}$  и рентгеновским потоком GOES в диапазоне  $1-8 \text{ \AA}$ . Светлые и тёмные кружки относятся, соответственно, ко вспышкам балла C и  $\geq M$ .

### Ссылки

Chertok I.M., Belov A.V., Grechnev V.V. A Simple Way to Estimate the Soft X-ray Class of Far-Side Solar Flares Observed with STEREO/EUVI. *Solar Phys.* Volume 290, Issue 7, pp. 1947-1961, 2015. DOI: 10.1007/s11207-015-0738-4. <http://arxiv.org/pdf/1505.01649v2.pdf>

### **3.2 Аномалия положения плазмопаузы и ионосферного провала по данным спутника DEMETER**

Проведено изучение особенности состояния субавроральной ионосферы, которая проявилась в аномальном положении плазмопаузы, экваториальной стенки главного ионосферного провала и провала в концентрации легких ионов при спокойных гелиогеофизических условиях вблизи магнитосферной оболочки с параметром Мак-Илвейна  $L=3$  (Табл.1.).

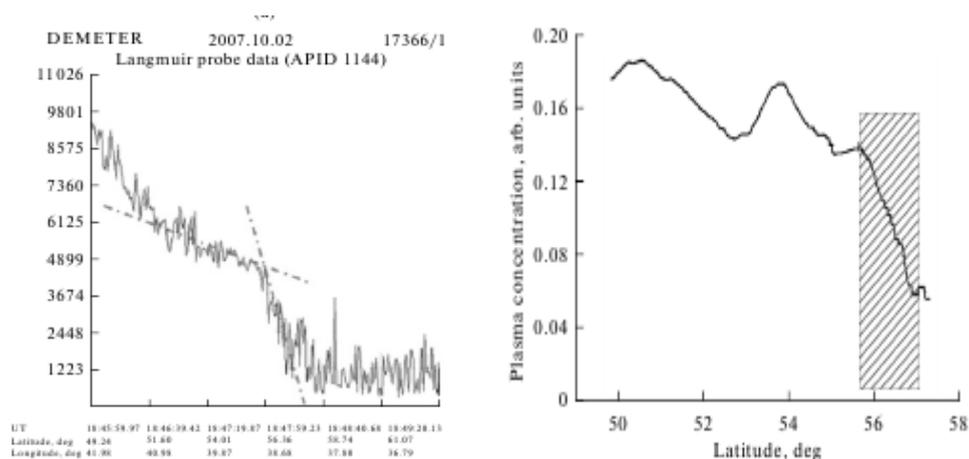
Аномалия была обнаружена на основе экспериментального материала, полученного в ходе спутникового проекта DEMETER при проведении активных экспериментов на нагревном стенде «СУРА» (02.10.2007 г.) по программе «СУРА»–МКС. Совместный анализ орбитальных данных DEMETER и МКС, а также результатов комплексных наземных измерений показал, что обнаруженный эффект, характерный для предполуночного времени севернее трассы Москва – «СУРА», не является локальным. Его можно наблюдать на обширной территории, протяженной с запада на восток вдоль одной и той же  $L$ -оболочки, по крайней мере, от Швеции до Камчатки.

Данные спутника DEMETER подтверждены результатами анализа меридионального распределения критической частоты слоя  $F2$ , полученными при радиопросвечивании ионосферы сигналами спутников сети GPS. Сравнение с модельными расчетами (модели IRI 2007, СИМ) долготно-широтного и меридионального распределений концентрации плазмы для максимума слоя  $F2$  показало явное расхождение с экспериментальными результатами (см.рис.1 и 2).

**Таблица 1.** Результаты расчета параметра Мак-Илвейна для ряда орбит спутника.

McIlwain  $L$ -parameter calculated for a number of orbits of the DEMETER satellite

Orbit no. (660 km)	Latitude, deg	Longitude, deg	Height (at equator), km	McIlwain $L$ -parameter
17363	59.00	110.0	13137	3.06
17364	58.36	86.56	13185	3.07
17365	57.36	62.63	12388	2.94
17366	56.36	38.68	12215	2.92
17367	55.63	14.54	12317	2.93



**Рис.1.** (Слева) Временные зависимости концентрации плазмы вдоль орбиты спутника DEMETER в районе эксперимента.

**Рис.2.** (Справа) Широтная зависимость концентрации плазмы в максимуме слоя  $F2$  02.10.2007 г. (спутник GPS 14). Отмечен участок севернее широты ИЗМИРАН – «СУРА».

## Ссылки

Yu.Ya.Ruzhin, M.Parrot, V.M.Smirnov, and V.Kh.Depuev. The Anomaly of Plasmapause and Ionospheric Trough Positions from DEMETER Data. ISSN 001667932, Geomagnetism and Aeronomy, 2014, Vol. 54, No. 6, pp. 763–772.

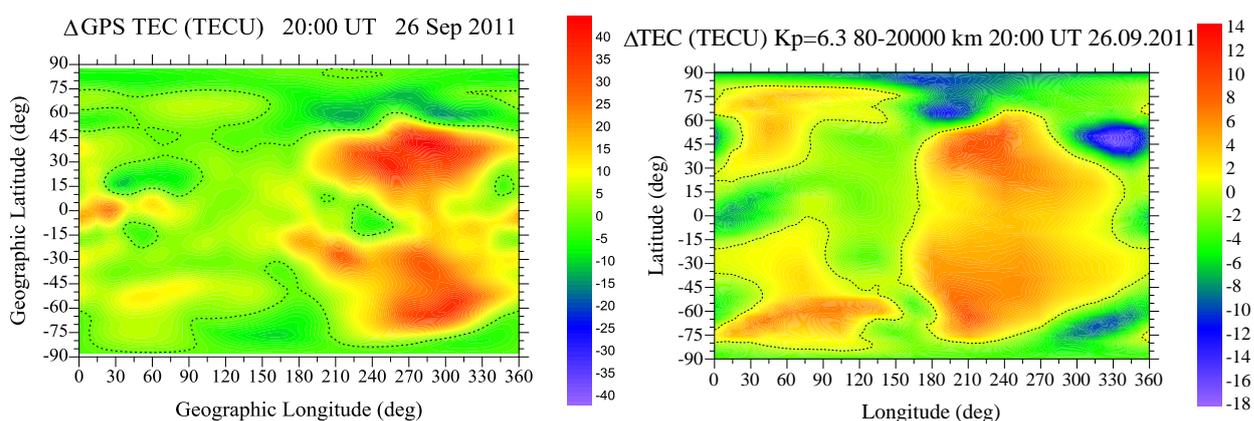
## 3.3 Исследования возмущений параметров системы ионосфера-плазмаосфера во время геомагнитной бури 26 сентября 2011 года

С использованием Глобальной самосогласованной модели «Термосфера, Ионосфера, Протоносфера» (ГСМ ТИП) и данных глобальной сети

приемников сигналов спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS были проведены исследования возмущений параметров системы ионосфера-плазмосфера во время геомагнитной бури 26 сентября 2011 года.

Они позволили выделить глобальный отклик полного и плазмосферного электронного содержания во время геомагнитной бури.

Впервые было проведено исследование изменчивости относительного вклада PEC (плазмосферное электронное содержание от 700 до 20200 км) в TEC (полное электронное содержание, TEC - Total Electron Content) в главную фазу бури. Среднеширотная ионосфера в главную фазу бури более изменчива, чем плазмосфера и вносит основной вклад в возмущения полного электронного содержания, показанного на рис.1 (Клименко и др., 2015). Показано, что на средних и экваториальных широтах формируются пространственные области, в которых вклад PEC в TEC возрастает на 20–25%, что говорит о необходимости учета плазмосферы/протоносферы при решении задач позиционирования с помощью современных навигационных спутниковых систем.



**Рис.1** Глобальные карты возмущений *TEC* в главную фазу геомагнитной бури 26 сентября в 20:00 UT, полученные по данным сети наземных приемников сигналов спутников GPS (Global Positioning System) (слева) и по результатам модельных расчетов (справа).

Впервые отмечается формирование положительных возмущений электронной концентрации в восстановительную фазу геомагнитной бури в

F-области среднеширотной ионосферы за счет увеличения отношения  $n(O)/n(N_2)$  в дневное время, а ночью отрицательные эффекты формируются из-за недозаполненности плазменных трубок в результате их опустошения в главную фазу геомагнитной бури, несмотря на уменьшение  $n(N_2)$ .

#### **Ссылки**

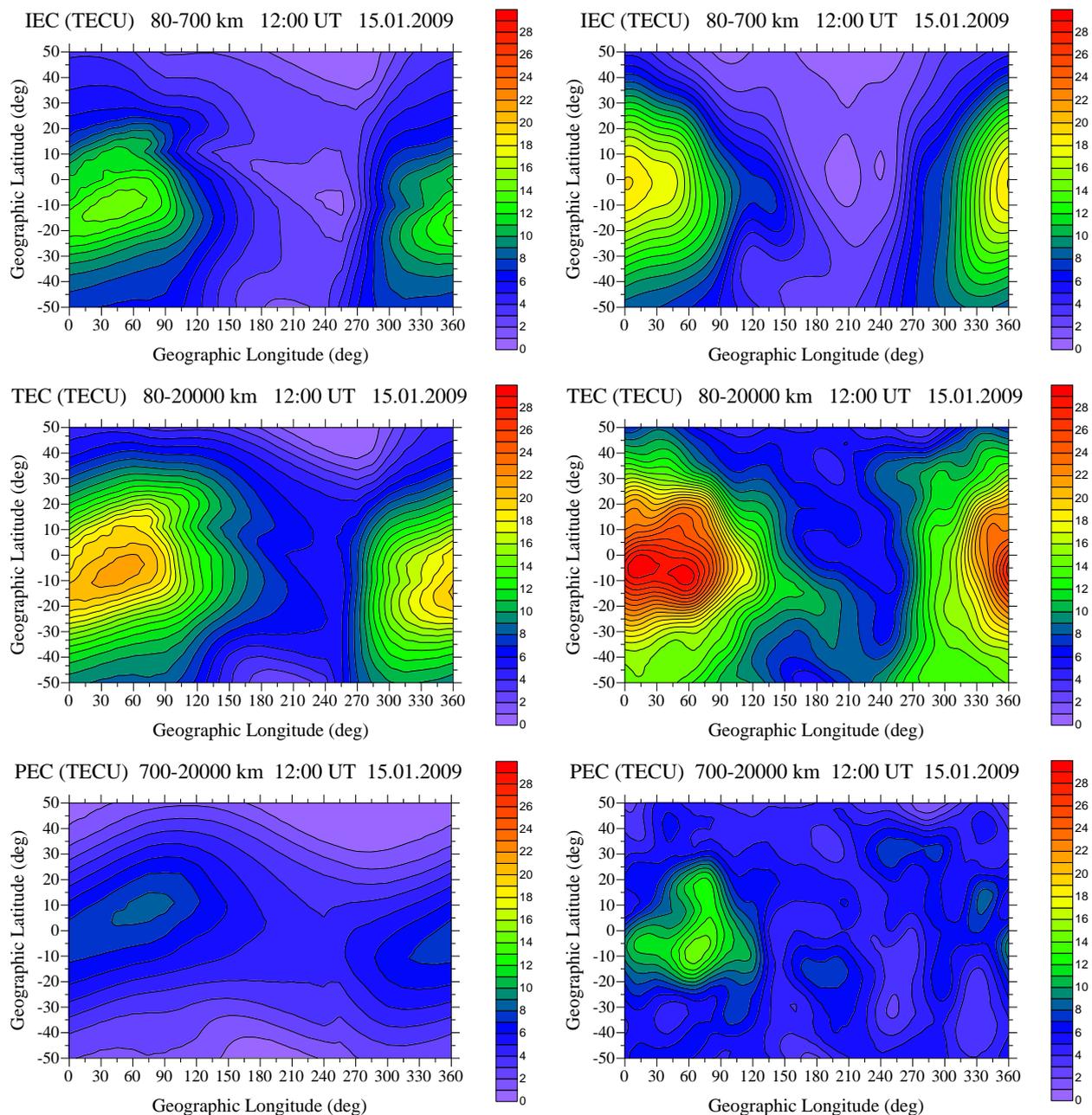
Клименко М.В., Клименко В.В., Бессараб Ф.С., Ратовский К.Г., Захаренкова И.Е., Носиков И. А., Степанов А.Е., Котова Д.С., Воробьев В.Г., Ягодкина О.И. Влияние геомагнитных бурь 26–30 сентября 2011 года на ионосферу и распространение радиоволн КВ-диапазона. I – Ионосферные эффекты. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2015. Т. 55. № 5, 769–789.

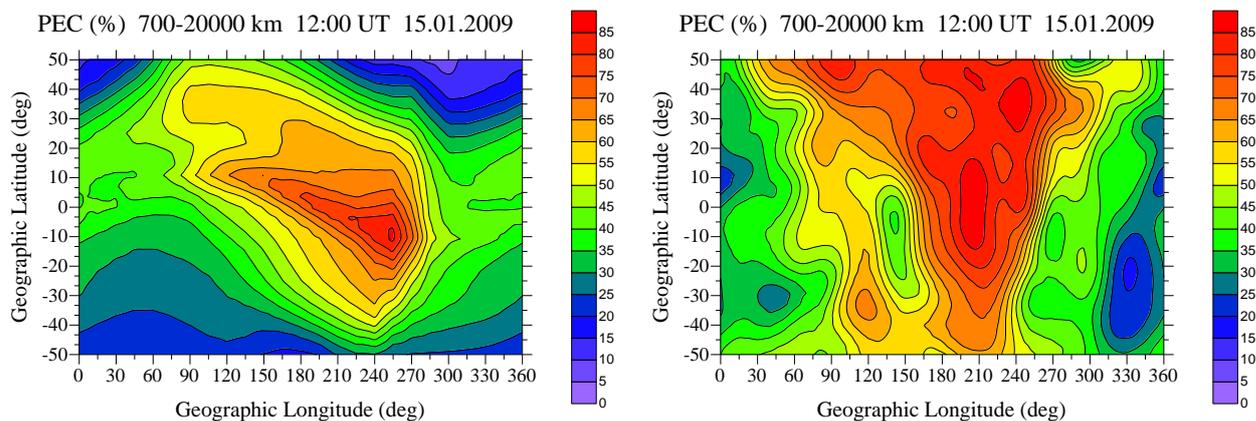
### **3.4 Глобальное исследование вклада плазмосферы в полное электронное содержание в минимуме солнечной активности**

Проведено глобальное (для всех широт и долгот) исследование вклада плазмосферы в полное электронное содержание (TEC) для зимних условий 2009 года (в минимуме солнечной активности).

На основе результатов модельных расчетов и данных наземных и спутниковых наблюдений (GPS, COSMIC) (см. рис.1). В (Klimenko et al., 2015a) сделаны следующие выводы: (1) максимальный вклад плазмосферы в TEC (до 85%) наблюдается ночью вблизи экватора и превышает вклад ионосферы в TEC; (2) дневной вклад плазмосферы в TEC не превышает  $\sim 40\%$ , что согласуется с результатами предыдущих исследований (Balan et al., 2002). Таким образом, ионосферное электронное содержание (IEC от поверхности Земли до 700 км) нельзя рассматривать в качестве единственного значимого

параметра при расчете ТЕС, поскольку в некоторых областях и в отдельные моменты времени, особенно в минимуме солнечной и геомагнитной активности, существенный вклад в ТЕС вносит как ионосфера, так и плазмаосфера.





**Рис.1.**Сверху вниз: карты *IEC*, *TEC*, *PEC* в TECU и *PEC* в %. Левая панель – результаты модели ГСМ ТИП, правая панель – данные наблюдений *IEC* из COSMIC и *TEC* из карт IONEX.

## Ссылки

Klimenko M.V., Klimenko V.V., Zakharenkova I.E., Cherniak Iu.V. The global morphology of the plasmaspheric electron content during Northern winter 2009 based on GPS/COSMIC observation and GSM TIP model results. *Advances in Space Research*, 2015a, V. 55 (8), P. 2077-2085, doi:10.1016/j.asr.2014.06.027.

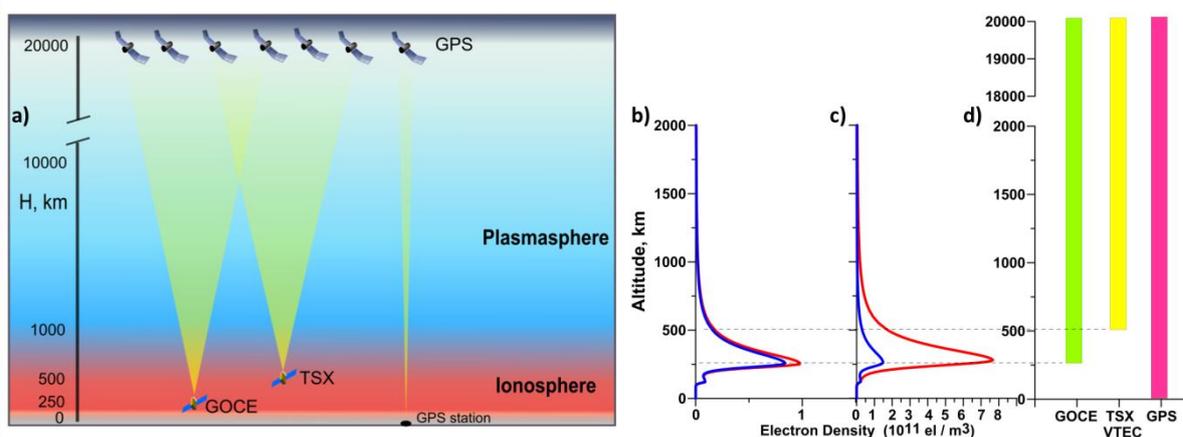
## 3.5 Исследование ионосферы со спутников GOCE и TerraSAR-X

Проведен анализ наблюдений, полученных одновременно с двух низкоорбитальных спутников Земли – миссии GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) с крайне низкой орбитой в 250 км и спутника TerraSAR-X с высотой орбиты в 515 км (Рис.1).

Научная аппаратура обоих спутников не содержала инструментов для исследования ионосферы, однако оба спутника были оснащены бортовым двухчастотным GPS (Global Positioning System) приемником. GPS измерения с POD (Precise Orbit Determination, точное определение параметров орбиты) GPS антенны, полученные на борту спутника, могут быть использованы для определения TEC (total electron content, полное электронное содержание) в

системе внешняя ионосфера-плазмосфера для различных условий. Результаты исследования ионосферы, полученные с помощью данных миссий, были представлены впервые. Был проведен сравнительный анализ для условий июньского и декабрьского солнцестояний во время низкой и умеренной солнечной активности.

Были получены количественные оценки электронного содержания и его относительного вклада в значения наземного GPS TEC для внешней ионосферы-плазмосферы в высотных диапазонах 250-500 км и выше 500 км. Рассмотрены основные характеристики распределения электронного содержания в двух высотных диапазонах в глобальном масштабе. Были выявлены характерные особенности проявления аномалии Моря Уэддела и экваториальной аномалии во внешнем TEC, полученном с помощью GOCE GPS измерений выше орбиты спутника. Было обнаружено существование аномалии Моря Уэддла во внешнем TEC для утреннего сектора.



**Рис.1.** (а) Схематическое изображение эксперимента; типичные профили электронной концентрации по модели NeQuick для условий 15 июня 2010 г для времени 06 LT (синяя линия) и 18 LT (красная линия) для (b) среднеширотной и (c) экваториальной станций с координатами (40°S, 15°E) и (0°E, 15°E) соответственно; (d) вклад высотных областей в полный VTEC для каждого инструмента. Пунктирной линией показаны высота орбиты спутников GOCE и TSX.

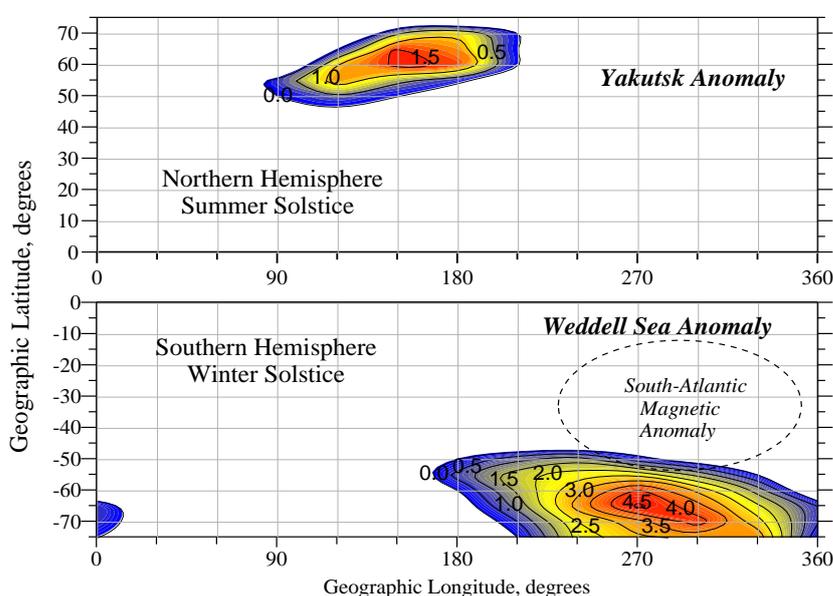
## Ссылки

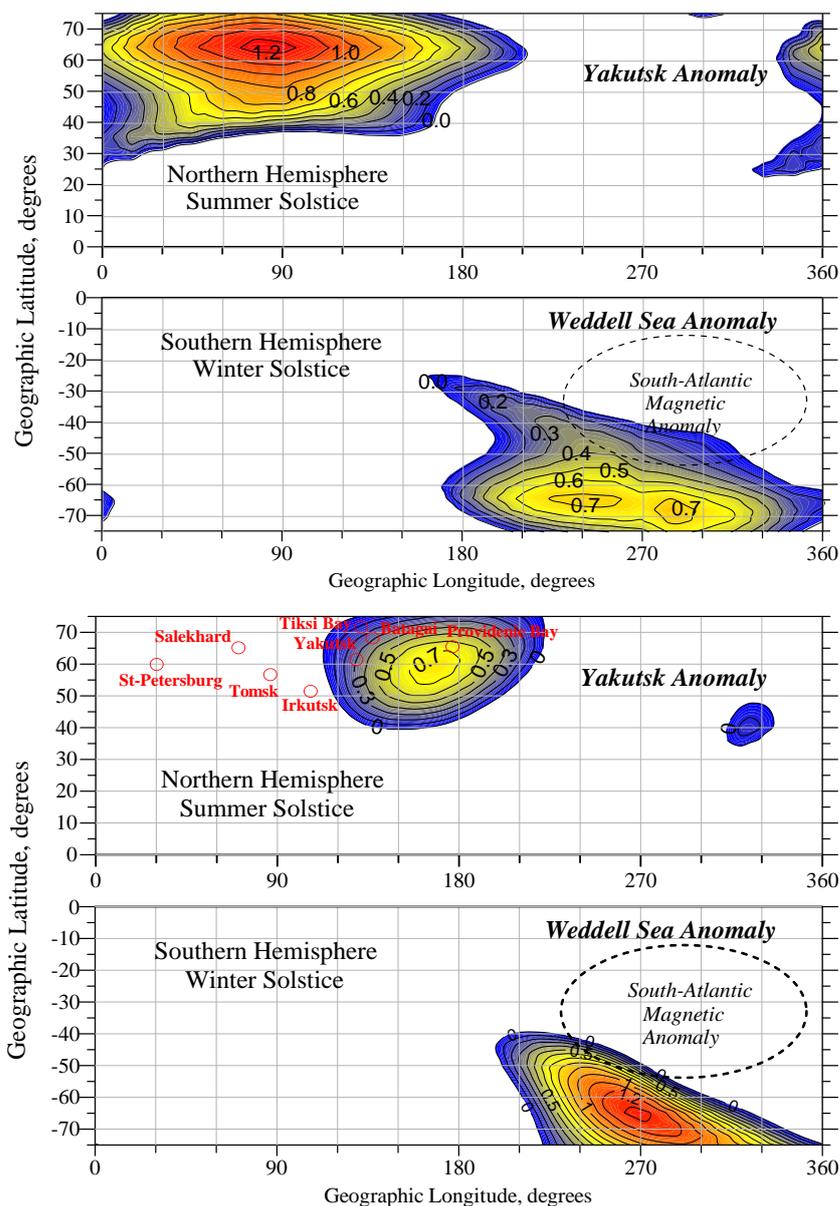
Zakharenkova, I., Cherniak, I. (2015). How can GOCE and TerraSAR-X contribute to the topside ionosphere and plasmasphere research? *Sp. Weather* 13, 271–285. doi:10.1002/2015SW001162.

### 3.6 Вариации электронного содержания по данным спутника «Интеркосмос-19» и других

На основании уникального банка данных спутников «Интеркосмос-19», COSMIC и глобальной сети GPS приемников осуществлена проверка адекватности описания долготных вариаций электронной концентрации на суб-авроральных широтах (в частности, аномалии моря Уэдделла и Якутской аномалии) на основе результатов расчетов численной модели ГСМ ТИП и эмпирической модели IRI (International Reference Ionosphere).

Для этого Klimenko et al. (2015b) впервые на основании данных ИК-19, моделей ГСМ ТИП и IRI выделили пространственные области формирования аномалии моря Уэдделла (WSA) и Якутской аномалии (YA), в которых значения  $f_oF2$  местным летом в ночное время больше, чем днем (рис.1).



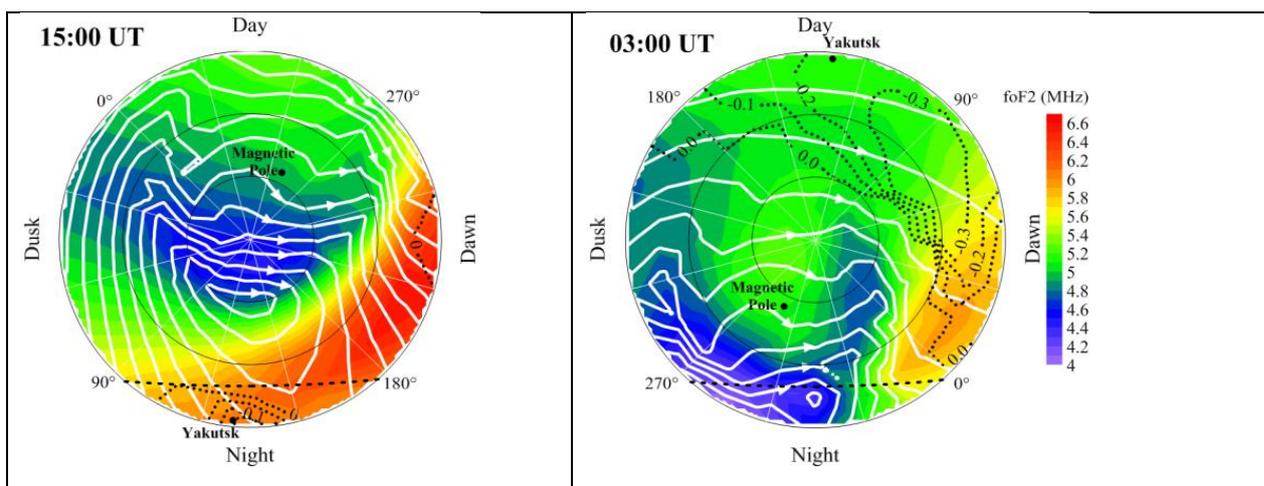


**Рис.4.** Карты положительных значений разницы между полуночными и полуденными значениями  $foF2$  показывающими области аномалий WSA и YA. Вверху – по данным IK-19, посередине – результаты модели ГСМ ТИП, внизу – по результатам модели IRI.

Показано проявление аномалии моря Уэдделла, Якутской аномалии и долготной структуры главного ионосферного провала (провала легких ионов) в верхней ионосфере, полном, ионосферном и протоносферном электронном содержании. Плазмосфера оказывает незначительное влияние на формирование ионосферных аномалий Якутской и моря Уэдделла, формирование которых идет с опережением во внешней ионосфере по сравнению с  $F2$  слоем. Данные наблюдений показывают, что высотный

диапазон 250-500 км вносит основной вклад в наземные наблюдения аномалии моря Уэдделла в полном электронном содержании.

Рисунок 2 показывает, что, несмотря на наличие солнечной ионизации над областями WSA и YA в дневное время и ее отсутствие в ночное время, значения  $foF2$  в ночное время больше, чем днем из-за: (1) горизонтального переноса плазмы за счет электромагнитного дрейфа; (2) вертикальной составляющей переноса плазмы вдоль силовых линий геомагнитного поля, под действием меридиональной компоненты термосферного ветра; (3) распределения нейтрального состава термосферы. Klimenko et al. (2015c) отмечают различия субавроральных аномалий (WSA и YA) и среднеширотной летней вечерней аномалии в  $foF2$ .



**Рис.5.** Схема формирования Якутской аномалии согласно результатам расчетов модели GSM ТИП. Горизонтальный электромагнитный дрейф показан белыми линиями со стрелками, указывающими на направление переноса плазмы.

## Ссылки

1. Klimenko M.V., Klimenko V.V., Karpachev A.T., Ratovsky K.G., Stepanov A.E. Spatial features of Weddell Sea and Yakutsk Anomalies in  $foF2$  diurnal variations during high solar activity periods: Interkosmos-19 satellite and ground-based ionosonde observations, IRI reproduction and GSM TIP model simulation. *Advances in Space*

Research, 2015b, V. 55 (8), P. 2020-2032, doi:10.1016/j.asr.2014.12.032.

2. Klimenko M.V., Klimenko V.V., Ratovsky K.G., Zakharenkova I.E., Yasyukevich Yu.V., Korenkova N.A., Cherniak Iu.V., Mylnikova A.A. Mid-latitude Summer Evening Anomaly (MSEA) in F2 layer electron density and Total Electron Content at solar minimum. *Advances in Space Research*, 2015c, V. 56(9), P. 1951-1960, doi:10.1016/j.asr.2015.07.019.

## **2.7. Исследована зависимость компенсации ошибки УВЧ (ультравысокие частоты) радара от используемой среды распространения радиоволн (модели ионосферы)**

Показано, что:

1. Использование данных  $foF2$  и ТЕС на станциях вблизи радара для процедуры уточнения используемой модели ионосферы в реальном времени позволяет значительно улучшить точность позиционирования объектов радиолокационными станциями;
2. Процедура уточнения модели ионосферы в реальном времени более продуктивна для спокойных условий, чем в периоды геомагнитных возмущений;
3. Измерения полного наклонного электронного содержания могут быть использованы для восстановления  $foF2$  в тех областях, где отсутствуют станции вертикального зондирования.

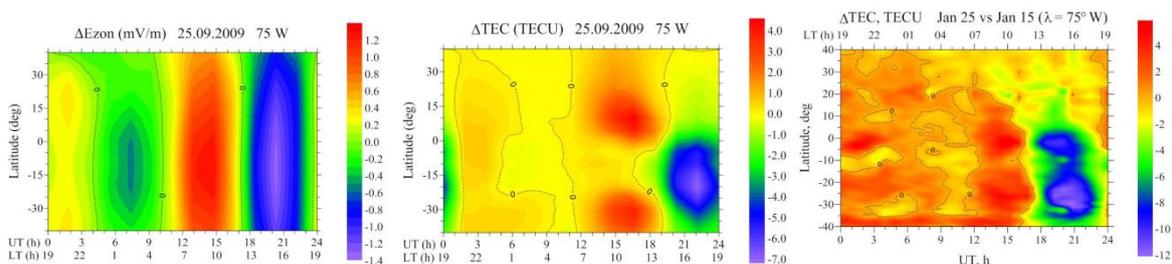
### **Ссылки**

Ovodenko V.B., Trekin V.V., Korenkova N.A., Klimenko M.V.  
Investigating range error compensation in UHF radar through IRI-2007  
real-time updating: Preliminary results. *Advances in Space Research*,  
2015, V.56 (5), P. 900-906, doi:10.1016/j.asr.2015.05.017.

### 3.8 Найдена причина возмущений электронной концентрации во время стратосферных потеплений

Показано, что причиной отрицательных возмущений электронной концентрации и полного электронного содержания на авроральных широтах во время внезапных стратосферных потеплений является уменьшение отношения концентраций O/N<sub>2</sub> вследствие нагрева верхней термосферы.

При задании дополнительного электрического потенциала в модели ГСМ ТИП удалось воспроизвести наблюдаемые возмущения полного электронного содержания во время внезапных стратосферных потеплений (ВСП) (см. рис.1). Таким образом, изменения зонального электрического поля (вертикального дрейфа плазмы) являются ключевым механизмом отклика низкоширотной ионосферы на внезапные стратосферные потепления. Однако, остается открытым вопрос о механизмах генерации таких зональных электрических полей на низких широтах во время внезапных стратосферных потеплений.



**Рис.1.** Рассчитанные в модели ГСМ ТИП суточные вариации возмущений зонального электрического поля (слева) и TEC (посредине) на различных широтах на долготе 75°W для 25 января. Справа показаны данные GPS TEC наблюдений.

### **Ссылки**

Klimenko M.V., Klimenko V.V., Bessarab F.S., Korenkov Yu.N., Liu H., Goncharenko L.P., Tolstikov M.V. Study of the thermospheric and ionospheric response to the 2009 sudden stratospheric warming using TIME-GCM and GSM TIP models – first results. *J. Geophys. Res. Space Physics*, 2015d, V. 120, doi:10.1002/2014JA020861.