

УДК 550.388.2:551.501.8

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ ТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Полюхова А.Л., Кайсин А.В.

*Институт космофизических исследований
и распространения радиоволн ДВО РАН*

Научный руководитель д.ф.-м.н. Богданов В.В.

В работе представлены результаты исследования влияния циклонов на параметры ионосферы, с целью изучения процессов тропосферно-ионосферного взаимодействия. Наблюдение велось средствами автоматического зондирования с использованием низкоорбитальных навигационных космических аппаратов в условиях пониженной сейсмичности. Приемные станции расположены в меридиональном направлении полуострова Камчатка в селах Паратунка, Мильково и Эссо. Показано, что при прохождении ночных циклонов (по местному времени) 18 января, 03 и 17 февраля 2013г. над Камчаткой в области над его эпицентром происходило синхронное повышение электронной концентрации по сравнению с ближайшими без циклонов днями. С ростом широты, т.е. по мере удаления от центра циклона, концентрация электронов в сравнении со спокойными днями уменьшалась. Работа выполнена в рамках программы президиума РАН №12-1-П22-01, при поддержке гранта РФФИ №11-05-00915.

ВВЕДЕНИЕ

Ионосфера Земли является очень изменчивой частью земной атмосферы. В данное время утвердилось мнение, что атмосфера Земли является единой динамической системой, и вариации ионосферных параметров не могут быть поняты, если считать ионосферу изолированной от нижележащих слоев атмосферы. Следовательно, такие атмосферные явления, как циклоны, в принципе, могут влиять на состояние ионосферы. В настоящий момент появились статьи, посвященные изучению возможного влияния тропических циклонов на разные слои ионосферы [2]. В этой работе было показано, что на расстоянии порядка 3-х тысяч км от центра циклона концентрация электронов в ионосфере падает. Целью работы является исследование влияния зимних циклонов на поведение параметров ионосферы,

на основе данных, полученных, методом томографического зондирования средствами недавно созданной цепи томографических станций, расположенных на п-ве Камчатка. Существенным отличием данной работы от [2], является расположение станций непосредственно в районе действия циклонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОТОМОГРАФИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ

Радиотомографическое зондирование ионосферы проводится над территорией п-ова Камчатка с помощью лучевой радиотомографии. Задачи лучевой радиотомографии решаются на практике с помощью ИСЗ и нескольких приемников, которые располагаются в плоскости пролета спутника. В качестве источников когерентного сигнала на частотах 150 и 400 МГц используются низкоорбитальные навигационные спутники типа "Космос" (высота ~ 1000 км). Это позволяет восстановить вертикальное (по высоте) распределение электронной концентрации (число электронов в единице объема) вдоль трассы пролета спутника (по меридиану) с хорошим разрешением (25 км по высоте и 50 км по широте). Наземные приемники сигналов расположены в селах Паратунка (PRT), Мильково (MLK), Эссо (ESS) (рис.1) в меридиональном направлении ($158^{\circ}31'$ в.д.), что обусловлено углом наклона орбиты спутников (83°). Приемные станции работают в автоматическом режиме.

Томографическая реконструкция представляет собой обратную задачу. По данным о полном электронном содержании вдоль пути распространения сигнала "приемник-спутник" необходимо восстановить функцию пространственных переменных в узлах заданной сетки [1,4]. При этом интегральной характеристикой при зондировании ионосферы является полная фаза радиосигнала, пропорциональная полному электронному содержанию вдоль распространения сигнала.

Из-за сложностей с определением начальной фазы был выбран метод фазоразностной томографии, основанный на использовании производной

фазы и который является более чувствительным к относительно малым неоднородностям концентрации электронов, вносящих незначительный вклад в фазу и значительный в ее производную. Далее по набору изменений интегральной характеристики формируется и решается система алгебраических уравнений.

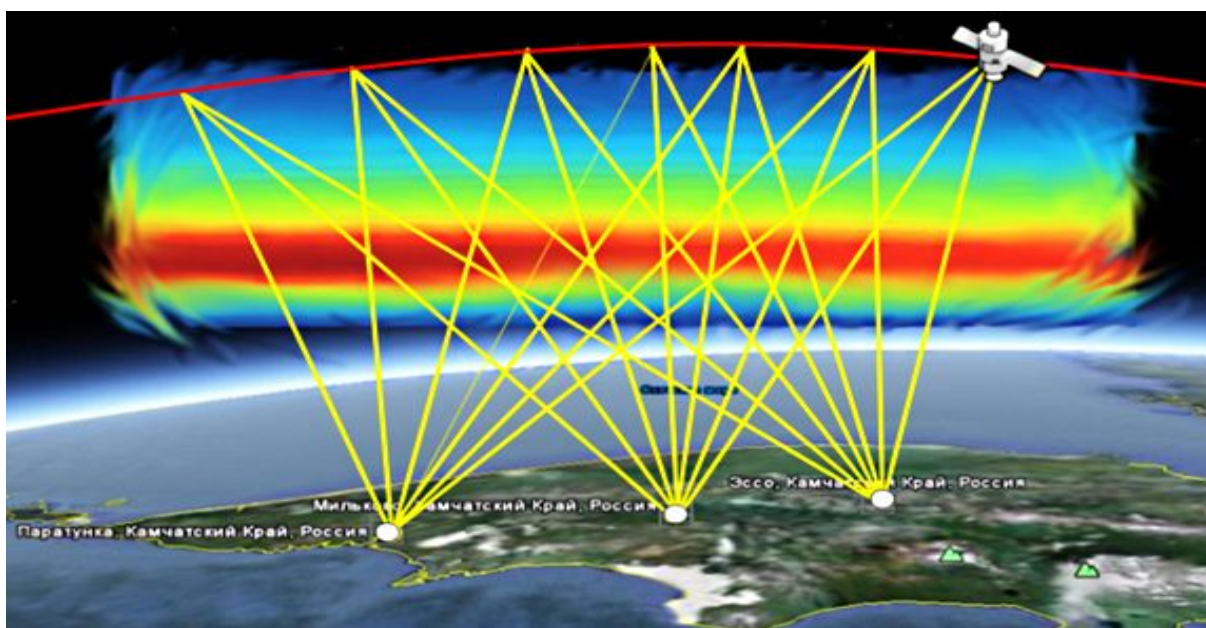


Рис.1. Схема расположения станций приема и распространения зондирующего сигнала.

Были отобраны циклоны, прошедшие над Камчаткой с января по февраль 2013г. (см. Таблицу 1), сопровождавшиеся пролетом спутника. Кроме того, условиями отбора являлись наличие спокойной и умеренно спокойной магнитной обстановки с суточным индексом геомагнитной активности $K_{\Sigma} \leq 17$ и отсутствие сильных землетрясений с энергетическим классом $K_S > 11$. Последнее дает возможность надеяться, что если существуют эффекты влияния циклонов на ионосферу, то это влияние не будет замаскировано ионосферными возмущениями, имеющими другую природу. В левой части Таблицы 1 приведены дата прохождения циклона, время пролета спутника (UT), суммарный индекс магнитной активности (K_{Σ}) по магнитной станции "Паратунка". В правой части Таблицы 1 представлена информация ближайшего дня к событию (день без циклона – опорный

день), с которым сравнивалось распределение концентрации электронов. Время пролета спутника в опорный день выбиралось по возможности максимально близким ко времени пролета в день циклона.

Таблица 1

День с циклоном			День без циклона		
Дата	Время пролета спутника, UT	Суммарный K_{Σ} индекс	Дата	Время пролета спутника, UT	Суммарный K_{Σ} индекс
18.01.2013	16:00	16	12.01.2013	16:20	2
03.02.2013	18:09	7	31.01.2013	18:32	1
17.02.2013	12:33	17	12.02.2013	13:07	9

На рис.2,4,6 представлены синоптические карты соответствующих циклонов (рис.2а,4а,6а) и рассчитанные цветовые томограммы меридионального распределения концентрации электронов по высоте (рис.2б,4б,6б).

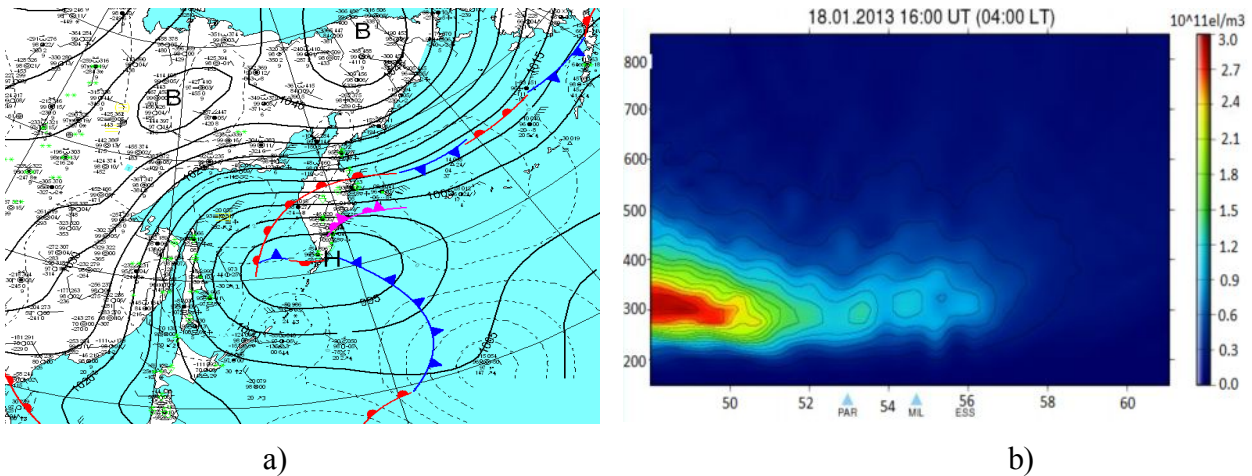


Рис.2. Циклон 18.01.2013 год.

- a) Ветер восточного направления достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в южной части полуострова на $\sim 48^\circ$ с.ш.
 б) Наблюдается турбулизация ионосферной плазмы с ярко выраженным плазменным образованием в интервале широт 48° - 49° с.ш. и высот 290-330 км с ростом широты.

На рис. 2а, 4а, 6а принятые обозначения: черная сплошная линия – изобара, числом рядом с линией обозначается значение атмосферного давления в гПа; красная линия – теплый фронт; синяя – холодный фронт; розовая линия – фронт окклюзии. На томограммах по оси абсцисс отложена широта в градусах и обозначены станции приема спутниковой информа-

ции PRT, MLK, ESS по оси ординат высота в км. Справа от томограммы приведена цветовая шкала распределения концентрации электронов. Томограммы строились в интервале широт 48.01° - 61.52° с.ш. Для рассматриваемого циклона и соответствующего опорного дня на рис. 3,5,7 представлен разрез распределения плотности электронов для трех широт 48.01° с.ш., 52.96° с.ш. и 61.52° с.ш. В Таблицах 2,3,4 приведены максимальные значения концентрации электронов для трех выбранных широт.

Таблица 2

Пролет спутника	Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, $e/m^3 (\times 10^{11})$		
	Широта		
	48.01° с.ш.	52.96° с.ш.	61.52° с.ш.
12.01.2013; 16:20 UT	1,0287	0,9313	1,0287
18.01.2013; 16:00 UT	2,9366	1,2030	0,1486

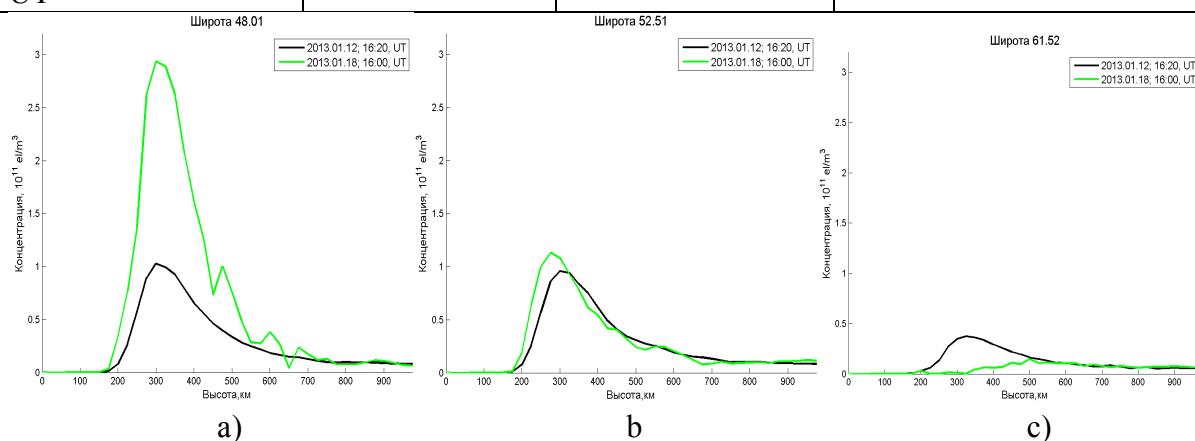


Рис.3. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 18.01.2013 г. в 16:00 UT (04:00 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 12.01.2013г. (черная линия).

Таблица 3

Пролет спутника	Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, $e/m^3 (\times 10^{11})$		
	Широта		
	48.01° с.ш.	52.96° с.ш.	61.52 с.ш.
31.01.2013; 18:32 UT	1,3700	1,4290	0,4803
03.02.2013; 18:09 UT	1,2308	1,0143	0,1400

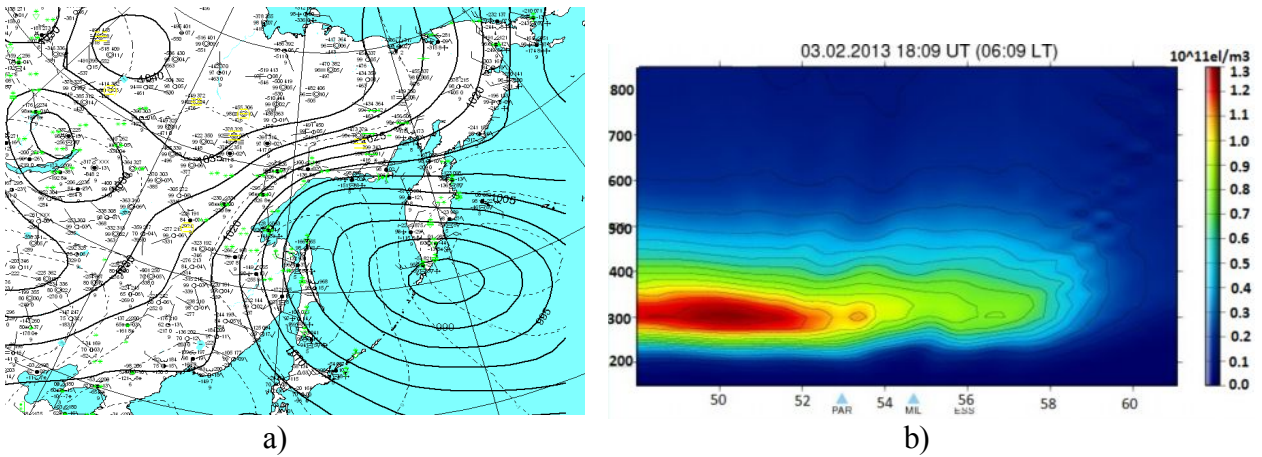


Рис.4. Циклон 03.02.2013 год.

а) Ветер юго-восточного направления достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в южной части полуострова на $\sim 52^\circ$ с.ш.

б) В ионосфере наблюдается турбулизация плазмы и сформировавшееся протяженное ярко выраженное плазменное образование с повышенной концентрацией электронов в интервале широт 49° - 52° с.ш. и высот 290-320 км.

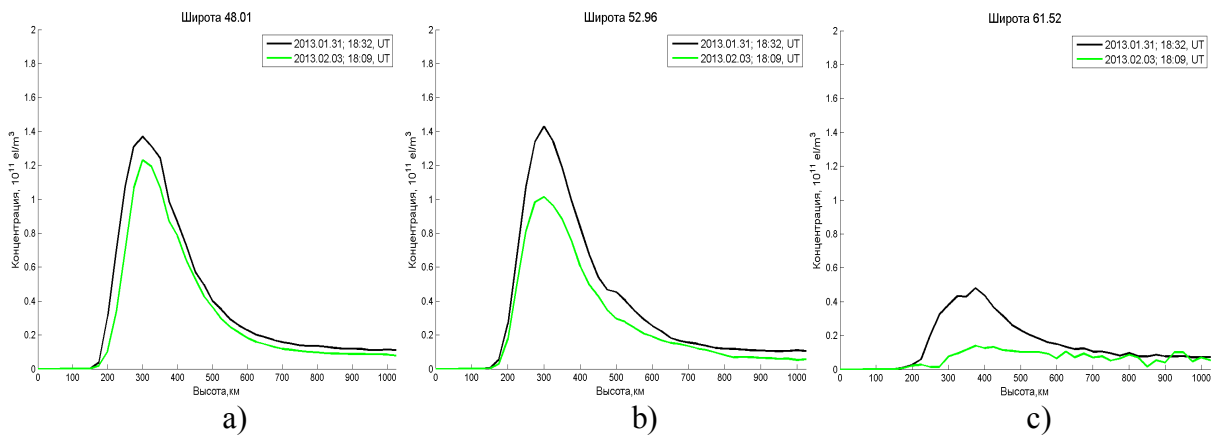


Рис.5. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 03.02.2013г. в 18:09 UT (06:09 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 31.01.2013г. (черная линия).

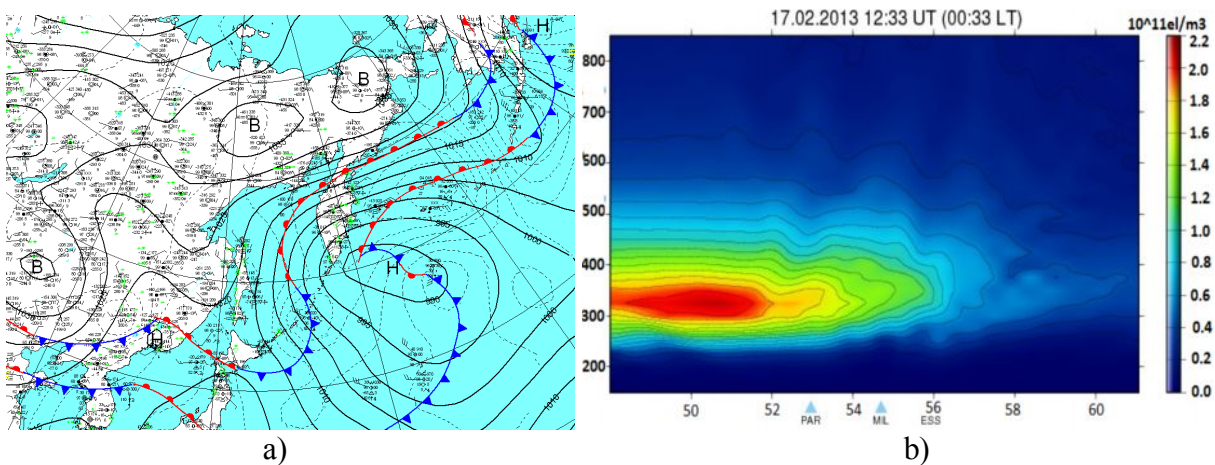


Рис.6. Циклон за 17.02.2013г.

- а) Ветер юго-восточного, потом восточного направления, достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в Тихом океане с координатами: широта ~ 48° с.ш., долгота ~162° в.д.
- б) В ионосфере 17.02.2013г. в 12:33 UT наблюдается турбулизация плазмы и сформировавшееся протяженное ярко выраженное плазменное образование в интервале широт 49°-52° с.ш. и высот 290-320 км.

Таблица 4

Пролет спутника	Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, ел/м ³ (×10 ¹¹)		
	Широта		
	48.01°с.ш.	52.96°с.ш.	61.52 с.ш.
12.02.2013; 13:07 UT	1,3930	1,2171	0,8099
17.02.2013; 12:33 UT	1,9534	1,7840	0,4352

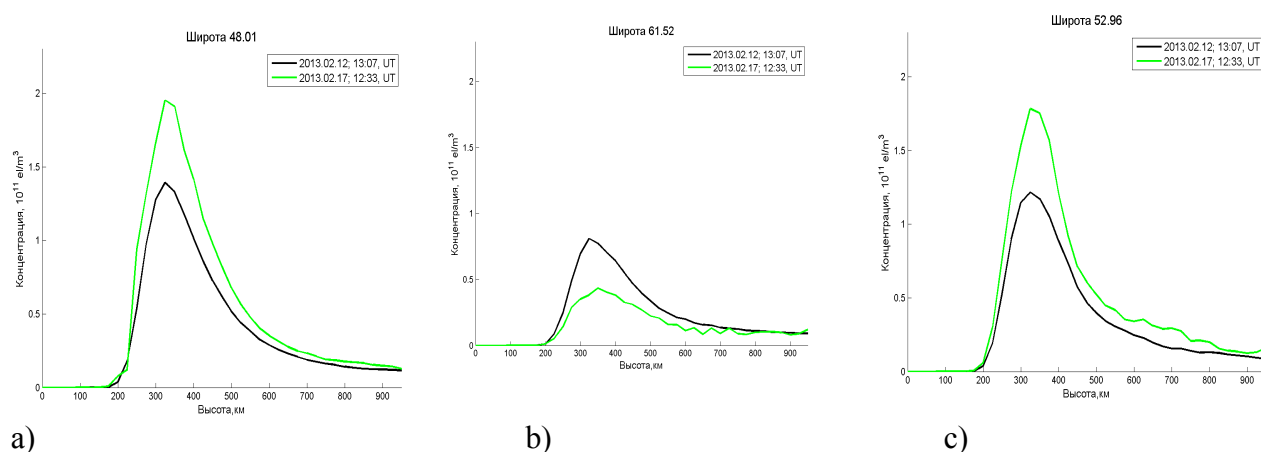


Рис.7. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере во время циклона 17.02.2013г. в 12:33 UT (00:33 LT) (зеленая линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 12.02.2013г. (черная линия).

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ влияния циклонов на ионосферу показал, что:

- Общим для рассмотренных циклонов является турбулизация ионосферы и превышение концентрации электронов или почти равенство (03.02.2013; 18:09 UT) по сравнению с опорными без циклона днями вблизи центра циклона.
- Наибольшая турбулизация ионосферы и повышение концентрации электронов происходит непосредственно над центром циклона, что определяется резкими градиентами в распределении электронов (рис. 2б,4б,6б).
- Изменение концентрации электронов ионосферы может быть объяснено за счет переноса механического импульса нижележащих слоев ионосферы

и нейтральной атмосферы [3] на высоты F-слоя и влиянием акустико-гравитационных волн, генерируемых циклоном.

- Необходимо проводить дальнейшие исследования влияния циклона на ионосферу для набора статистики и построения соответствующих физических моделей, с целью выяснения механизма передачи импульса вихревого движения циклона на ионосферные высоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е.С., Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. Фазоразностная томография ионосферы//Геомagnetизм и аэрономия,1992. Т32. №1. С104-110.
2. Ванина-Дарт Л.Б., Романов А.А., Шарков Е.А.Влияние тропического циклона на верхнюю ионосферу по данным томографического зондирования над о-вом Сахалин в ноябре 2007г//Геомagnetизм и аэрономия,2011. Т51. №6. С790-798.
3. Данилов А. Д., Казимировский Э. С. и др. Метеорологические эффекты в ионосфере//Гидрометеиздат,1987.
4. Романов А.А., Романов А.А., Трусов С.В., Урличич Ю.М. Современные подходы к созданию автоматизированной системы регистрации ионосферных предвестников землетрясений по спутниковым данным // Космонавтика и ракетостроение, 2006.№1. С167-172.

STUDY OF CYCLONE EFFECT IN KAMCHATKA ON ELECTRON DISTRIBUTION IN THE IONOSPHERE BY SATELLITE TOMOGRAPHY

*Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation
(IKIR) FEB RAS,*

The paper presents the results of investigation of cyclone possible effect on ionosphere parameters. Monitoring of ionosphere state has been carried out by automatic sounding applying low orbital navigational spacecrafts in the conditions of low seismicity. Receiving stations were locating in meridian direction of Kamchatka peninsular in Paratunka, Mil'kovo and Esso villages. It has been shown that during nighttime cyclone passage (according to local time) on 18.01., 03.02 and 17.02 2013 over Kamchatka, synchronous increase of electron concentration occurred in the region over its epicenter in comparison to the next days without cyclones. With the increase of the latitude, i.e. further from the center of the cyclone, electron concentration decreased in comparison to calm days. The work has been realized within the FEB RAS special-purpose program "Satellite monitoring of the Far East for fundamental researches of FEB RAS" and the project on RAS Presidium Program RAS № 12-1-P22-01.