

Влияния циклонов над Камчаткой на распределение электронов в ионосфере

Богданов В. В.¹, Кайсин А. В.¹, Романов А. А.²

¹ Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН

²ОАО "Российские космические системы"

e-mail: vbogd@ikir.ru

Введение

Камчатский регион расположен в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану и характеризуется повышенной сейсмической активностью. Вся территория края находится в области 5-9 балльной зоны землетрясений (по 12-балльной шкале), и в этой связи, не последнее место занимает вопрос поиска предвестников катастрофических сейсмических событий с целью их прогнозирования. Известным фактом является связь процессов на Солнце и литосфере Земли с процессами в ионосфере, проявляющихся в виде регистрируемых предвестников (см., например, монографию [Пулинец и др., 2014] и, приведенные там же, ссылки на литературу). Однако регистрация надежного прогностического признака сейсмического события в поведении параметров ионосферы сталкивается с трудностями, которые связаны с тем, что атмосфера Земли, являясь открытой динамической системой, подвержена влиянию различных физических процессов, имеющих по отношению к ионосфере внешнее воздействие. Следовательно, вариации ионосферных параметров не могут быть в полной мере объяснены без учета влияния нижележащих слоев атмосферы. Поэтому физические процессы, формирующиеся в нижней и средней атмосфере, могут влиять на изменение параметров в вышележащих слоях, включая ионосферу. Возможно, что такие атмосферные явления, как циклоны, в той или иной степени, могут оказывать влияние на состояние ионосферы. А поскольку территория Камчатского края омывается Тихим океаном, Охотским и Беринговым морями, которые являются зонами повышенной циклонической деятельности, то Камчатку, при оснащении соответствующими измерительными комплексами, можно рассматривать как полигон по изучению влияния циклонической активности на процессы в ионосфере.

К настоящему моменту уже был проведен определенный цикл работ, где исследовалось наличие связей между волновыми возмущениями в атмосфере и погодными условиями. Отмечались волнообразные возмущения в ионосферных параметрах во время прохождения штормов [Baker et al, 1965]. Были выявлены квазипериодические колебания во время прохождения сильных гроз [Prasad et al., 1975]. В настоящий момент появились статьи, посвященные изучению возможного влияния тропических циклонов на разные слои ионосферы. Возмущения такого рода регистрировались различными способами. В период прохождения штормов с помощью измерений доплеровского сдвига частоты в ионосфере были выявлены среднemasштабные ПИВ с периодом около 20 минут [Xiao et al., 2007]. С помощью ионозондов вертикального и наклонного зондирования было показано, что на расстоянии порядка 3-5 тысяч км от центра циклона наблюдалось изменение параметра f_0F_2 на 10-20% [Ванина-Дарт, Романов и др., 2011]. Авторы работ считают, что увеличение [Rice et al., 2012] или уменьшение [Liu et al., 2006] критической частоты f_0F_2 может быть связано с задержкой момента измерения относительно времени зарождения циклона. В работах [Михайлов и др., 2005], [Черниговская и др., 2010] были выявлены временные интервалы усиления мощности спектра сигнала на определенных частотах. С помощью GPS-измерений [Захаров, Куницын, 2012] на стадии быстрого изменения мощности урагана было установлено увеличение на 20-30% активности акустико-гравитационных волн (АГВ). Однако есть публикации, где отклик ионосферы не обнаружен [Айфромович и др., 2008].

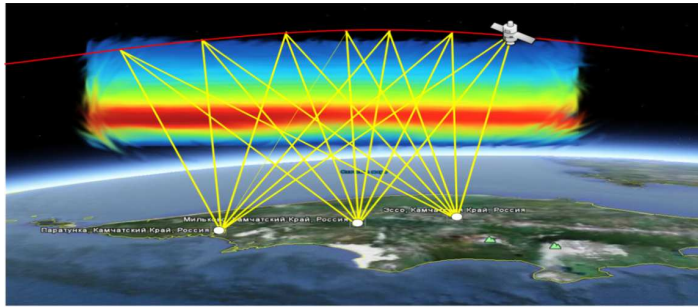


Рис. 1. Схема расположения станций приема и распространения зондирующего сигнала

В данной работе на примере зимних и весенних циклонов продолжен цикл исследований влияния тропосферных возмущений на поведение параметров ионосферы. В исследовании использовались данные, полученные методом томографического зондирования с помощью цепочки томографических станций, расположенных на п-ве Камчатка. Отличительной особенностью этой работы является расположение приемных станций томографического зондирования в районе действия циклонов.

Описание метода

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. Несколько станций приема навигационного сигнала располагаются на поверхности Земли в плоскости, которая соответствует углу наклона плоскости орбиты спутников. В случае использования космических систем типа "Цикада/Транзит", наклонение орбиты которых составляет $83^\circ - 90^\circ$ градусов, наземные приемные станции навигационных сигналов должны располагаться в меридиональном направлении.

На земле по приведенным фазам сигналов с частотами 150 и 400 МГц можно рассчитать электронное содержание на пути распространения навигационного сигнала. За время пролета спутника над развернутой системой наземных станций проводится серия измерений, при этом для каждой станции приема навигационного сигнала, и определяется $TEC = \int_p N_e ds$, (где TEC – полное электронное содержание вдоль пути распространения сигнала между источником и приемником p, N_e – электронное содержание), на элементе пути распространения ds , после этого проводится реконструкцию томографического разреза ионосферы, путем решения обратной задачи [Андреева Е.С. и др.1992, Романов А.А. и др., 2006]. На рис.1 представлена схема реализации метода томографического зондирования ионосферы, позволяющего восстановить электронную концентрацию в верхней атмосфере. В качестве источников когерентного сигнала используются низкоорбитальные навигационные спутники типа "Космос" что позволяет восстановить вертикальное распределение концентрации вдоль трассы пролета спутника с хорошим разрешением (25 км по высоте и 50 км по широте). Наземные приемники сигналов расположены в селах Паратунка (*Par*), Мильково (*Ml*), Эссо (*Ess*) в субмеридиональном направлении ($158^\circ 31'$ в.д.). Приемные станции работают в автоматическом режиме.

Анализ экспериментальных результатов

Для исследования отклика ионосферы были отобраны циклоны, прошедшие над Камчаткой за период с января 2012 по февраль 2014 гг. (см. Таблицу 1) в условиях спокойной и

Таблица 1

День с циклоном			День без циклона		
Дата	Время пролета спутника, UT	Суммарный Кр индекс	Дата	Время пролета спутника, UT	Суммарный Кр индекс
13.01.2012	15:10	9	09.01.2012	15:06	10
01.04.2012	12:49	14	29.03.2012	12:32	4
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
18.02.2013	09:20	5	15.02.2013	09:46	7
31.01.2014	14:15	0	25.01.2014	14:40	13
05.02.2014	17:05	9	25.01.2014	17:33	13

Таблица 2

Максимальное значение концентрации электронов ионосферы, $\text{el}/\text{m}^3 (\times 10^{11})$			
Пролет спутника/ 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

умеренно спокойной магнитной обстановки ($K \leq 17$). В период их прохождения в камчатском регионе отсутствовали сильные землетрясения и сейсмический режим соответствовал фоновому. Это дает возможность надеяться, что если существуют эффекты влияния циклонов на ионосферу, то это влияние не будет замаскировано процессами, происходящими в литосфере сейсмоактивного региона. В левой половине Таблицы 1, обозначенной как "День с циклоном" приведены дата его прохождения, время пролета спутника (UT), суммарный на эту дату трехчасовой индекс магнитной активности (Кр) по магнитной станции "Паратунка". Во второй половине таблицы ("День без циклона") представлена информация ближайшего к циклону опорного дня, по отношению к которому для сравнения определялось меридиональное распределение электронов. Время пролета спутника в опорный день выбиралось максимально близким ко времени пролета в день циклона.

В качестве примера на рис. 2 представлены синоптические карты и томограммы субмеридионального распределения электронов по высоте для двух дней с циклоном (18.01.2013) с циклоном и без него (12.01.2013). На томограммах по оси абсцисс отложена широта в градусах и обозначены станции приема спутниковой информации *Par*, *Ml*, *Ess*, по оси ординат высота в км. Справа от томограммы приведена шкала распределения концентрации электронов. Томограммы снимаются в интервале широт 48.01 ° -61.52 ° с.ш.

В Таблице 2 представлены максимальные значения концентрации электронов для трех выбранных широт 48.01 ° с.ш., 52.96 ° с.ш. и 61.52 ° с.ш. для рассматриваемого циклона и соответствующего опорного дня.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №11-05-00915, по Программе президиума РАН №12-1-П22-01 и целевой программе ДВО РАН "Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных научных исследований ДВО РАН".

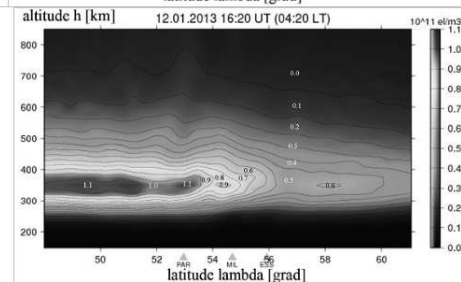
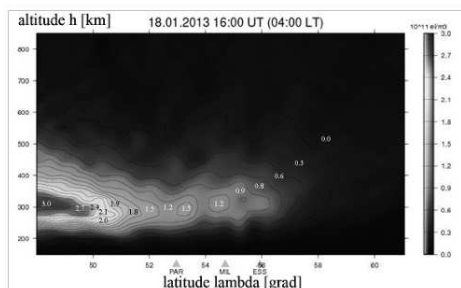
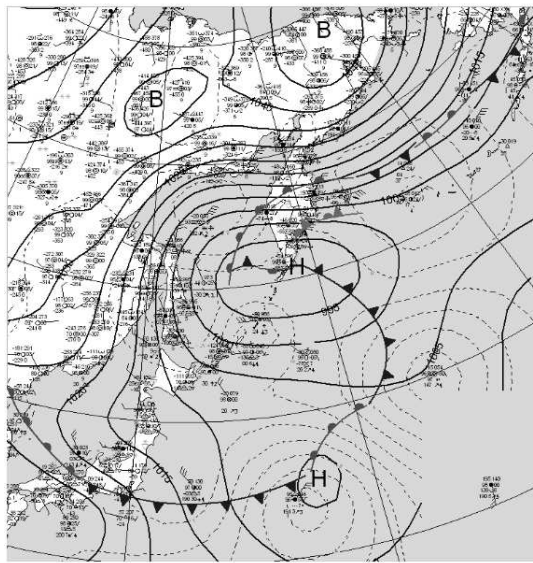


Рис. 2. Циклон 18.01.2013 год. а) Синоптическая карта соответствует 12 UT. Ветер восточного направления достигал 30 м/с на высоте 5 км. Эпицентр циклона располагался в южной части полуострова на $\sim 48^\circ$ с.ш. (12 UT) б) 18.01.2013 г. в 16:00 UT наблюдается турбулизация ионосферной плазмы с ярко выраженным плазменным образованием в интервале широт $48^\circ - 49^\circ$ с.ш. и высот 290-350 км с ростом широты (12.01.2013 г. - опорный день).

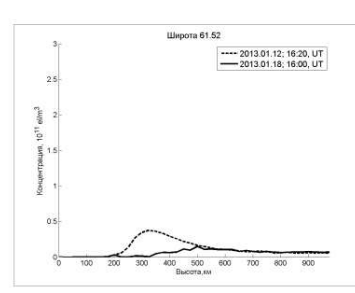
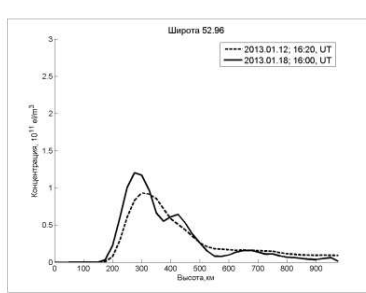
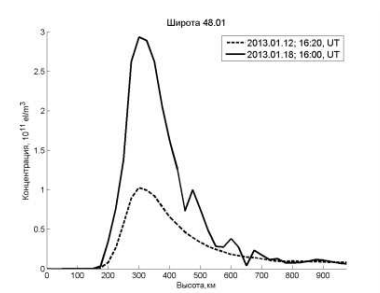


Рис. 3. Разрез распределения плотности электронов в ионосфере для циклона за 18.01.2013 г. в 16:00 UT (04:00 LT) (сплошная линия) для трех широт в сравнении с опорным днем 12.01.2013г. (пунктирная линия).

Выводы

Проведенный анализ развития циклонов показал, что:

- Для пяти из восьми циклонов наблюдается превышение концентрации электронов по сравнению с опорными днями вблизи центра циклона.
- Наибольшая турбулизация ионосферы происходит непосредственно над областью расположения центра циклона, что характеризуется резкими градиентами в распределении электронов.
- Изменение концентрации электронов ионосферы может быть объяснено за счет переноса механического импульса нижележащих слоев ионосферы и нейтральной атмосферы [Данилов и др., 1987] на высоты F-слоя и влиянием АГВ, генерируемых циклоном.
- Необходимо проводить дальнейшие исследования влияния циклона на ионосферу для набора статистики, построения соответствующих физических моделей и выяснения механизма передачи импульса вихревого движения циклона на ионосферные высоты.

Литература

- Андреева Е.С., Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. Фазоразностная томография ионосферы // *Геомagnetизм и аэрономия*, 1992. Т.32. №1. С104-110.
- 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. Т.51. №6. С790-798.
- Данилов А. Д., Казимировский Э. С. и др. Метеорологические эффекты в ионосфере // *Гидрометеоиздат*, 1987.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В, Дружин Г. И., Чернева Н. В. Возможные атмосферные эффекты в нижней ионосфере по наблюдениям атмосферных радиошумов на Камчатке во время тропических циклонов // *Геомagnetизм и аэрономия*. Т.45.№6. С.824-839.2005.
- Пулинец С.А., Узунов Д.Л., Давиденко Д.В., Дудкин С.А., Цадиковский Е.И. Прогноз землетрясений возможен?! // *“Трoвант”*, 2014. - 144с.
- 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.
- Черниговская М.А., Куркин В.И., Орлов И.И. и др. Исследование связи короткопериодных временных вариаций параметров ионосферы в Северо-Восточном регионе России с проявлениями тропических циклонов // *Исслед. Земли из космоса*. 2010. № 5. С. 32–41.
- Afraimovich E.L., Voeikov S.V., Ishin A.B., et al. Variations in the total electron content during the powerful typhoon of August 5–11, 2006, near the southeastern coast of China // *Geomagnetism and Aeronomy.*, V. 48. Iss. 5. P. 674–679. 2008.
- Baker, Davis, 1965. Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.* 70: 2251–2253.
- Liu Y.-M., Wang J.-S., Suo Y.-C. Effects of typhoon on the ionosphere // *Adv. Geosci.* 2006. V. 29. P. 351–360.
- Prasad S.S., Schneck L.J., Davies K., Ionospheric disturbances by severe tropospheric weather storms. *J. At-mos. Terr. Phys.*, 1975, Vol. 37, pp. 1357-1363.
- Rice D.D., Sojka J.J., Eccles J.V., Schunk R.W. Typhoon Melor and ionospheric weather in the Asian sector: A case study // *Radio Sci.* 2012. V. 47.