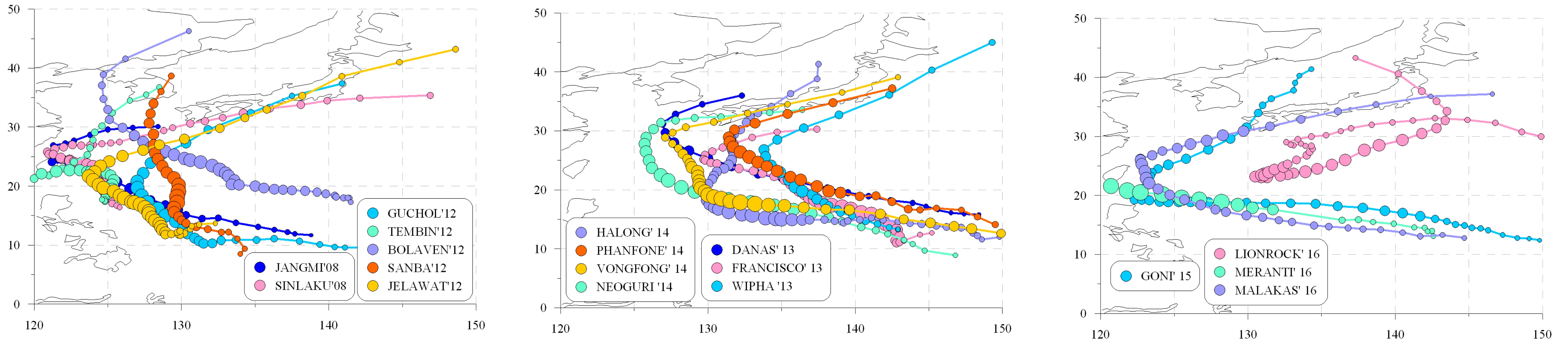


Эффекты прохождения тропических циклонов и солнечного терминатора в ПЭС над Японией

И.К. Едемский и А.С. Ясюкевич (Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск)

Солнечный терминатор (СТ) является источником возмущений ионосферы в широком диапазоне периодов и амплитуд [1]. В полном электронном содержании (ПЭС) эти вариации регистрируются в форме волновых пакетов (ВП) [2]. Другим масштабным источником возмущений ионосферы выступают тропические циклоны (ТЦ). Так, в работе [3] показано, что ТЦ в стадии урагана является эффективным источником возмущений, регистрируемых в ПЭС. Авторы работы [4], используя данные тайваньской сети ГНСС-приемников, показали, что при движении урагана Meranti (2016г) генерировались волновые возмущения ПЭС с четкой пространственной структурой. Учитывая, что оба источника возмущений оказывают протяженное как в пространстве, так и во времени воздействие, авторы [5] предложили гипотезу о повышении эффективности генерации волновых возмущений при совокупном воздействии солнечного терминатора и тропического циклона в стадии урагана. Приводя карты вариаций ПЭС, полученные при таком воздействии, авторы показывают повышение амплитуды волновых возмущений в данный период.

Цель данной работы состоит в проверке этой гипотезы посредством анализа вариаций ПЭС в периоды одновременного воздействия солнечного терминатора и тропического циклона в стадии урагана. Исследования отклика ПЭС проведены по данным японской сети ГНСС-приемников GSI (GEONET) за 2008-2016 гг. и охватывают период действия 18 ураганов, зародившихся в Тихом океане и подошедших к берегам Японии. На панелях представлены траектории прохождения ураганов, размер кружка указывает силу ветра в данной точке.



Ниже представлены вариации числа волновых пакетов во время действия циклонов 2008-2016 гг (левая шкала). Одному столбцу гистограммы соответствует число ВП за 1ч. Пунктирная линия отмечает на рисунках дальность центра тайфуна от береговой линии Японии в километрах (левая шкала). Красной линией показаны вариации индекса Kp (правая шкала). Прямоугольники отмечают стадии прохождения тайфуна вдалеке от и вблизи к берегу Японии; для каждого участка соответствующим цветом построено распределение амплитуд волновых пакетов (колонка В). Участки серого цвета обозначают прохождение СТ (наступление ночи) на высоте 300 км для условной центральной точки Японии (35°N, 135°E).

Число волновых пакетов различно в течение года и для средних широт Северного полушария достигает наибольших значений в летние месяцы. Основным источником возмущений с периодами 10-20 мин здесь выступает вечерний солнечный терминатор [2]. Наши данные также показывают, что **летом** (панели A2, A6, A8, B2, B5, B7) число ВП значительно выше, чем в осенние месяцы и приходится на ночное время. В осенний (переходный) период возрастает эффективность генерации ВП утренним терминатором [2] и их число в дневное время возрастает.

Различия в условиях генерации ВП в течение года должны привести к тому, что воздействие циклона должно быть различным в зависимости от сезона. Наблюдая параметры ВП при удаленном ТЦ и с его приближением можно предположить наличие таких эффектов в летний сезон: **рост числа дневных ВП (A2, B2, B7), снижение числа ночных ВП (A6, A8, B7), изменение амплитуд ВП (см. колонку С): рост (A2), падение (A6, B5, B7, A8).**

В осенние месяцы можно наблюдать следующие эффекты воздействия ТЦ: **рост числа ночных ВП (A1, B8), падение числа дневных ВП (A1, A3, A7, B3, B4, B7), рост амплитуд (A2, B8), падение амплитуд (A3, B1, B4, B5, B7).** Рост числа дневных и падения числа ночных ВП мы не рассматриваем в качестве признаков, считая (согласно [2]) это связанным с переходом к осени.

Прохождение отдельных циклонов не оказало видимого эффекта на число волновых пакетов и распределение их амплитуд (A4, A5, B6), тогда как некоторые демонстрируют изменение сразу нескольких показателей (A1 (2), A2 (3), A3(2), A6 (2), A8 (2), B4 (2), B5(2), B7 (5), B8 (2)). Наиболее часто встречающиеся признаки: **снижение амплитуд ВП (9), числа дневных (6) и ночных (3) ВП.**

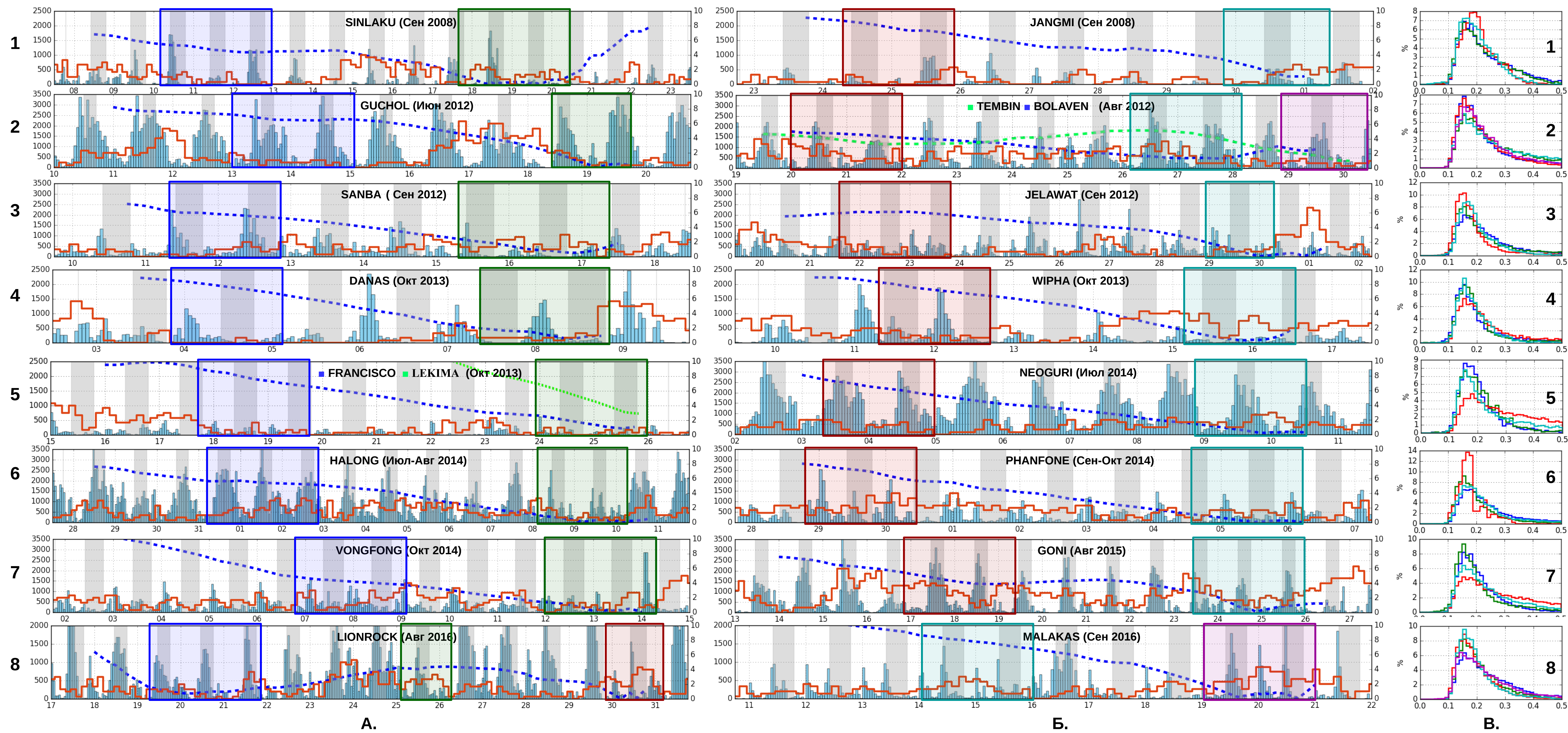
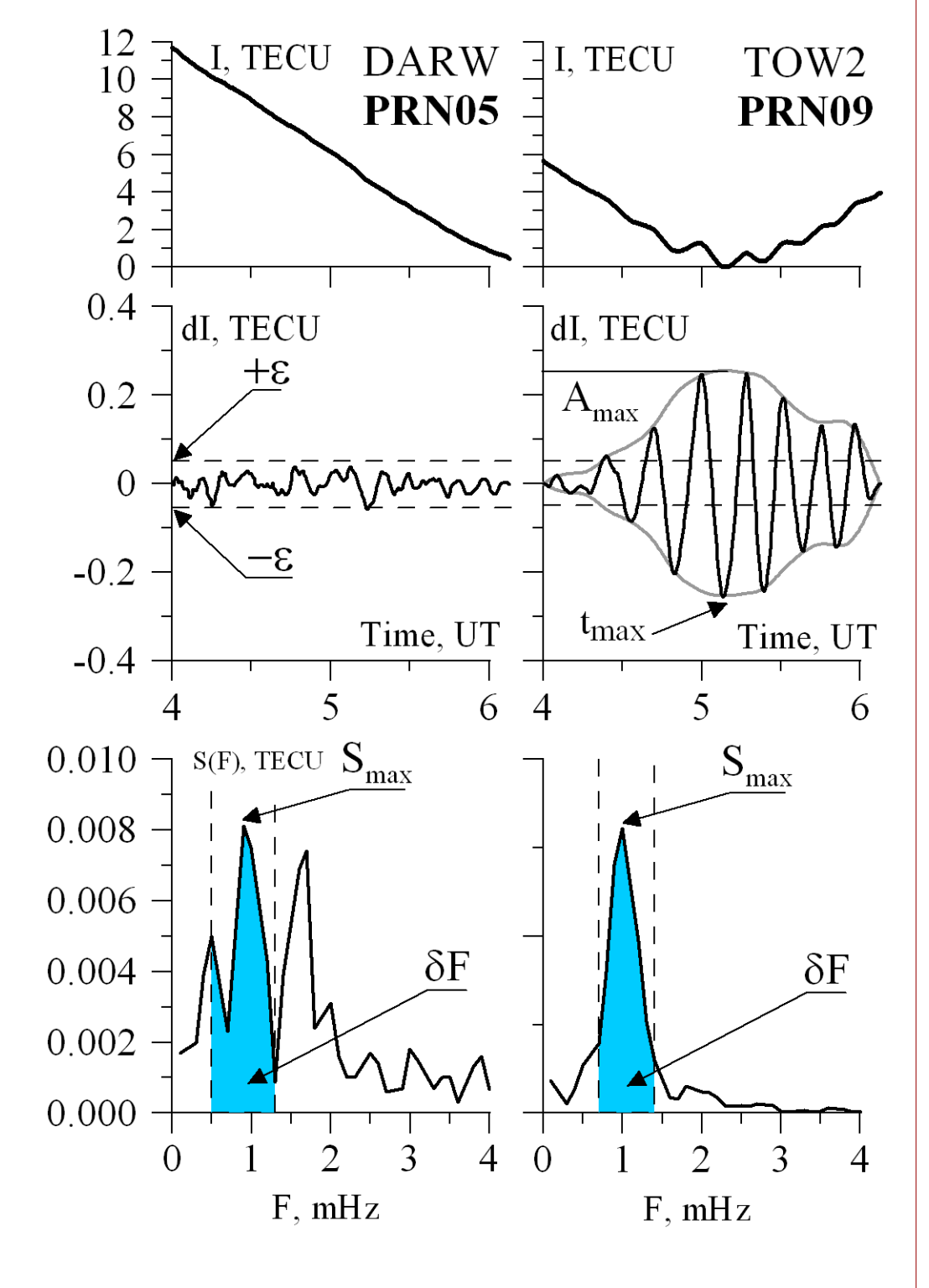
Методика отбора волновых пакетов описана в [2] и основана на анализе рядов ПЭС после фильтрации в заданном диапазоне периодов (10-20 мин).

Мы полагаем, что ряд ПЭС содержит волновой пакет, если:

1) Амплитуда колебаний A отфильтрованного ряда превышает заданный порог $\epsilon=0.05$ TECU.

2) Плотность спектра колебаний сосредоточена в узкой полосе частот δF (т.е. отношение плотности в полосе к плотности за ее пределами $\gg 1$)

Амплитудой волнового пакета при этом считается максимум огибающей A_{max} в момент достижения огибающей этой величины.

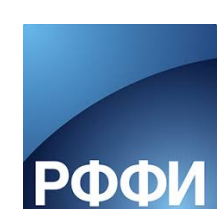


Анализ 18 тропических циклонов, перешедших в стадию урагана и достигших побережья Японии не показал наличия выраженного влияния последних на параметры волновых пакетов ПЭС. **При прохождении половины из рассмотренных ТЦ наблюдался эффект обратный ожидавшемуся: средняя амплитуда ВП уменьшалась, распределение становилось более узким; число регистрируемых волновых пакетов уменьшалось** (ночных летом, дневных — осенью). Можно предполагать, что прохождение ТЦ нарушает механизм генерации ВП солнечным терминатором, снижая эффективность его воздействия на ионосферу.

Необходимо отметить, что использованная в работе методика предполагала наибольшее воздействие циклона в момент его прохождения вблизи берега Японии. При этом в расчет не принимались: а) скорость ветра в циклоне и его изменение при удалении от центра; б) углы места регистрируемых волновых пакетов; в) наличие дополнительных возможных источников возмущения (сейсмических, антропогенных и т.п.); г) размеры области охвата урагана. Интервалы времени, отобранные для получения распределения амплитуд, выбирались произвольно, что также могло сказаться на результатах. Дальнейшие исследования эффектов совокупного воздействия ТЦ и СТ, по-видимому, следует проводить с ограничением региона, находящегося под воздействием ураганного ветра. При этом следует рассмотреть не только распределение амплитуд, но и периодов. Целесообразным представляется также рассмотрение зависимости параметров вариаций ПЭС от скорости ветра ТЦ.

Литература

- [1] Сомских, В.М. Геомагнетизм и аэрономия, 2011, том 51, № 6, с. 723-735
- [2] Ясюкевич, Ю.В., Едемский, И.К., Первалова, Н.П., Полякова, А.С. - Иркутск 2013 г., 259 с., ISBN 978-5-9624-0879-8
- [3] Полякова А.С. Современные проблемы ДЗЗ из космоса. 2013, т.10, №2, сс. 197-205
- [4] Chou, M. Y., C. C. H. Lin, J. Yue, H. F. Tsai, Y. Sun, J. Y. Liu, and C. H. Chen, GRL, 44, 1219-1226, doi:10.1002/2016GL072205.
- [5] Пол. Полякова А.С., Ясюкевич Ю.В. Труды «БШФ-2015», сс. 181-183



Авторы благодарны С.В. Воейкову и И.В. Живетьеву (<http://www.gnss-lab.org/>) за помощь в обработке данных, сети GEONET (GSI, <http://www.gsi.go.jp/>) и агентству NOAA (CIRA, <http://rammb.cira.colostate.edu/>) за предоставленные данные. В работе использованы методики и алгоритмы, разработанные в рамках проекта ИЛ.16.1.4 (рег. номер АААА-А16-116120610103-3), работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-35-00027).

