

УДК 550.34

## АНАЛИЗ КОГЕРЕНТНОСТИ ДАННЫХ РАДИОВОЛНОВОГО МОНИТОРИНГА ЗА ПЕРИОД НАБЛЮДЕНИЙ 2000-2018 ГГ.

Любушин А.А.<sup>1</sup>, Копылова Г.Н.<sup>2</sup>, Рожной А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт физики Земли РАН, Москва, lyubushin@yandex.ru

<sup>2</sup> Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский

### Введение

Представлены результаты совместного анализа 4-х временных рядов среднечасовых значений амплитуд радиоволн за период наблюдений длительностью 18 лет (2000-2018 гг.) Целью анализа является выделение эффектов когерентного изменения значений амплитуд. Для этого в скользящем временном окне длиной 672 часа (28 суток) со смещением 24 часа вычислялась множественная функция когерентности, которая визуализировалась в виде традиционных частотно-временных диаграмм. Поиск точки резкого изменения среднего значения множественной когерентности с помощью отношения Фишера выявил статистически значимый эффект ее быстрого увеличения в середине 2011 года. Этот результат сопоставляется с найденным ранее скачком в 2010-2011 гг. средней когерентности ежесуточных временных рядов смещений земной поверхности, фиксированных глобальной сетью GPS.

### Данные

Рассматриваются временные ряды амплитуд радиоволн в ионосфере при распространении по 4-м трассам. Данные получены на сети ОНЧ/НЧ принимающих станций, которая состоит из приемника в Петропавловске-Камчатском и шести японских приемников. Источниками сигналов в системе являются низкочастотные навигационные радиопередатчики, расположенные в Австралии, на Гавайях и 2 станции в Японии. Первичной целью организации таких наблюдений является выявление локальных возмущений в атмосфере и ионосфере, связанных с землетрясениями, извержениями вулканов и цунами на фоне глобальных процессов, вызванных атмосферной циркуляцией, солнечной активностью и магнитными бурями. В Таблице 1 приведена информация о станциях, а на рис. 1 представлены графики исходных данных для среднечасовых отсчетов.

Таблица 1. Информация о положении станций радиоволнового мониторинга.

Станция	Район	Координаты, град		Частота, кГц
JJY	Япония	37.37 с.ш.	140.85 в.д.	40.0
JJI	Япония	31.95 с.ш.	130.84 в.д.	22.2
NWC	Австралия	21.82 ю.ш.	114.036 в.д.	19.8
NPM	Гавайи	21.4 с.ш.	157.8 в.д.	21.4

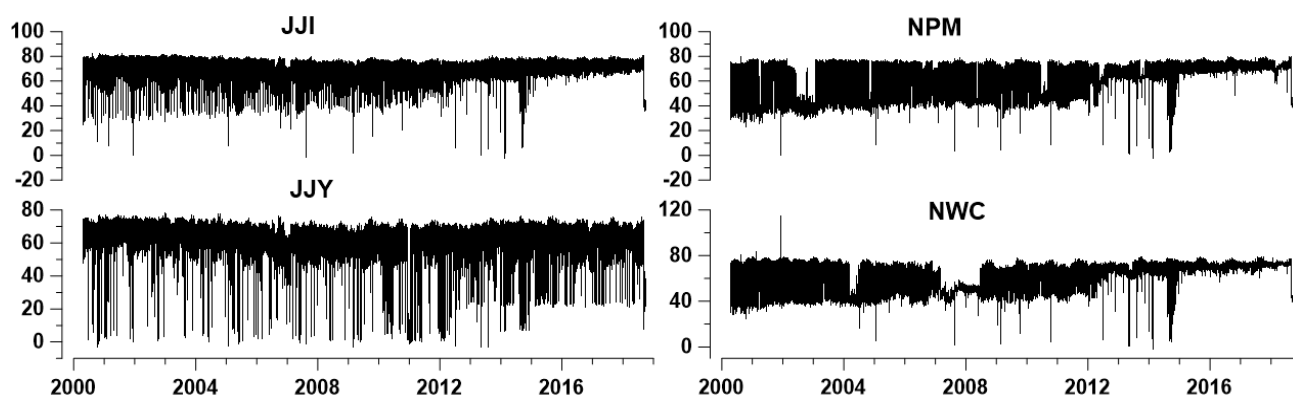


Рис. 1. Графики среднечасовых амплитуд радиосигналов, распространяющихся по 4-м трассам.

### Результаты анализа

В данном исследовании нас интересуют эффекты синхронизации изменений амплитуд радиоволн по 4 трассам, проходящим над Тихим океаном. Для оценки этих эффектов вычислим средние значения попарных квадратичных когерентностей между всеми исследуемыми сигналами в скользящем временном окне. Для 4 сигналов число различных пар равно 6. Выберем длину временного окна равную 672 часам или 28 суткам (лунный месяц) и возьмем смещение окон 24 часа. Для вычисления когерентностей используем векторную модель авторегрессии 10-го порядка. Использование авторегрессионной модели обеспечивает высокое разрешение по частоте. Технические детали вычислений подробно изложены в [1]. На рис.1 представлена частотно-временная диаграмма средней квадратичной когерентности.

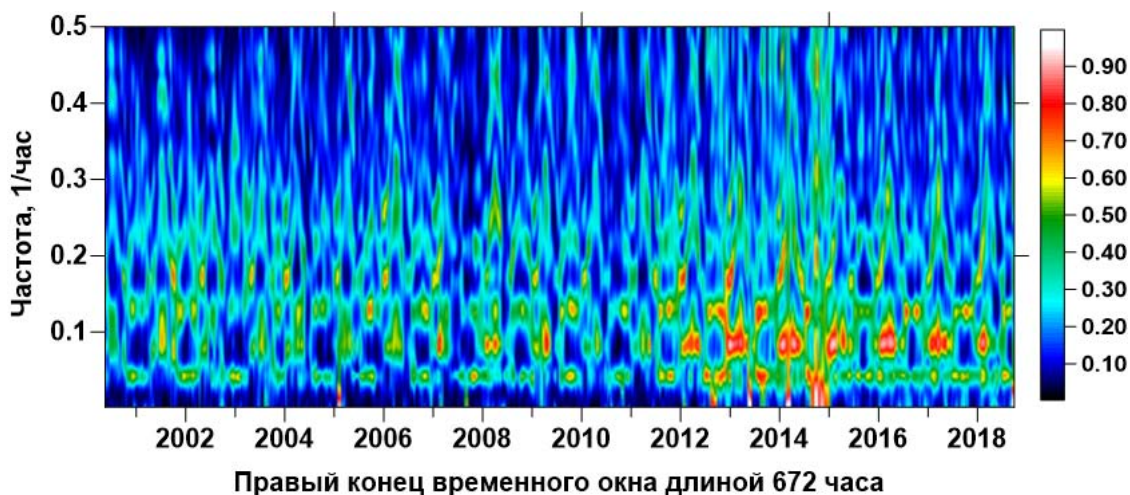


Рис.2. Средняя квадратичная когерентность между среднечасовыми амплитудами.

Из диаграммы на рис.2 следует, что когерентность представляет собой последовательность всплесков преимущественно на периодах 24, 12 и 8 часов. При этом заметно увеличение амплитуд этих всплесков примерно после 2012 г. Для более точной оценки момента времени увеличения когерентности рассмотрим средние значения по всем частотам в каждом окне.

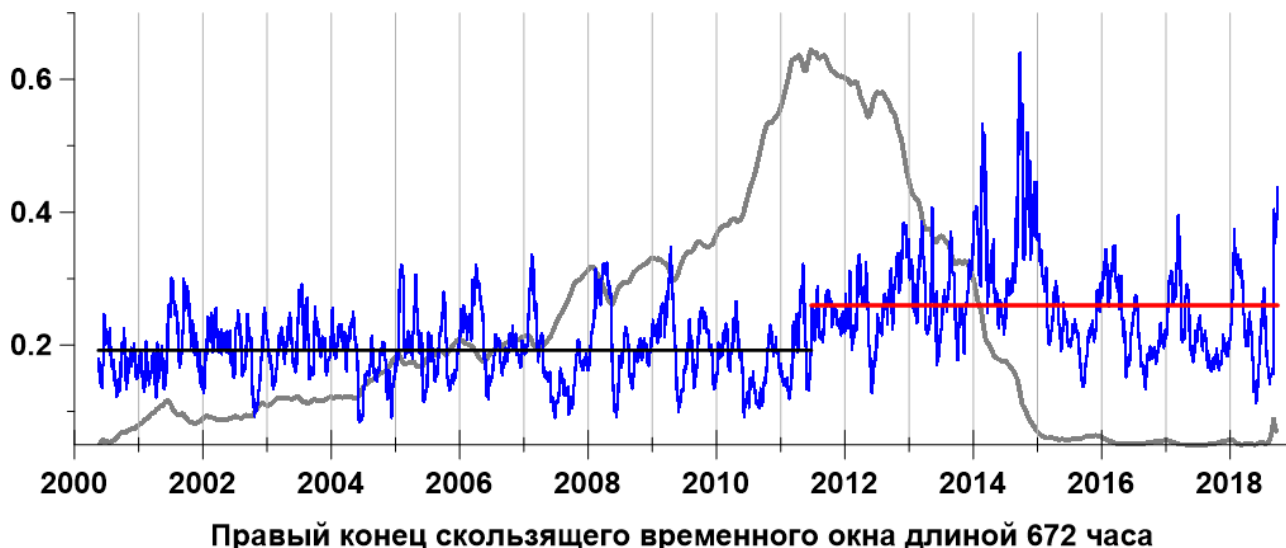


Рис.3. Средние значения по частотам средней квадратичной когерентности данных радиоволнового мониторинга и выделение скачка когерентности с использованием отношения Фишера (пояснения в тексте).

На рис.3 синей линией представлены средние значения, взятые по всем частотам в каждом временном окне от меры когерентности, вычисленной путем усреднения всех 6 попарных квадратичных когерентностей среднечасовых амплитуд от 4-х станций JJJ, JJY, NPM, NWC в скользящем окне длиной 672 часа со смещением 24 часа. Толстая серая линия - значение отношения

Фишера для поиска точки существенного изменения среднего значения. Эта точка определена как 2011.477 - примерно 2011.06.23. Горизонтальные черные и красные линии представляют средние значения меры когерентности до и после точки скачка среднего. Техника вычисления отношения Фишера подробно изложена в [1].

При интерпретации скачка когерентности данных радиоволнового мониторинга, представленного на рис.3, можно вспомнить результат, полученный в работе [1] о выделении глобального скачка земной дрожи, измеряемой средствами GPS, примерно в это же время.



Рис.4. Среднее значения по частотам средней квадратичной когерентности земной дрожи в Японии в направлении Север-Юг и выделение скачка когерентности с использованием отношения Фишера (пояснения в тексте). Рисунок взят из работы [1].

На рис.4 синей линией представлен график среднего значения средней квадратичной когерентности между ежесуточными смещениями земной поверхности в направлении Север-Юг для 30 станций в Японии в скользящем временном окне длиной 182 суток. Толстая серая линия - значение отношения Фишера для поиска точки существенного изменения среднего значения. Эта точка определена как 2012 г. Горизонтальные черные и красные линии представляют средние значения меры когерентности до и после точки скачка среднего. В работе [1] рассмотрены 9 регионов мира (всего 1191 станций) и все 3 компоненты смещения для ежесуточных временных рядов для непрерывных измерений с мая 2006 г. по май 2018 г. Для всех рассмотренных вариантов выделяются скачки среднего уровня когерентности в интервале времени от середины 2010 г. до начал 2012 г.

### Заключение

Полученный результат дает основание выдвинуть гипотезу о том, что причиной синхронного увеличения когерентности дрожи земной поверхности, измеряемой сетью GPS [1], могут быть процессы в ионосфере, которые нашли свое отражение в увеличении когерентности данных радиоволнового мониторинга, то есть имеет место некоторое глобальное воздействие ионосферы на процессы в земной коре.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 18-05-00133 и № 18-05-00337).

### Список литературы

1. Lyubushin A. Global coherence of GPS-measured high-frequency surface tremor motions. GPS Solutions. October 2018, 22:116. <https://doi.org/10.1007/s10291-018-0781-3>.