

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОДНОЧАСТОТНЫХ ПРИЕМНИКОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ СОБЫТИЙ В ИОНОСФЕРЕ

А.А. Холмогоров, В.Б. Иванов

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
varagon007@yandex.ru, ivb@ivb.baikal.ru

USING SINGLE-FREQUENCY RECEIVERS FOR REGISTRING OF IRREGULAR EVENTS IN THE IONOSPHERE

A.A. Kholmogorov, V.B. Ivanov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Аннотация. Целью данной работы является исследование возможности одночастотных приемников ГНСС для диагностики ионосферы. Исследование проводилось на примере нескольких крупномасштабных событий, таких как солнечное затмение, мощные землетрясения, взрыв Челябинского метеороида. Показано, что одночастотные приемники позволяют регистрировать нерегулярные события в ионосфере, хоть и с меньшей точностью по сравнению с двухчастотными приемниками.

Ключевые слова: GPS, ионосфера, одночастотные приемник.

Abstract. The aim of this study is to investigate the possibility of single-frequency GNSS receivers for diagnostics of ionosphere. The study was carried out on the example of several large-scale events, such as a solar eclipse, powerful earthquakes, and the explosion of the Chelyabinsk meteoroid. It was shown that single-frequency receivers allow recording of irregular events in the ionosphere, though with less accuracy compared to two-frequency receivers.

Keywords: GSP, ionosphere, single-frequency receiver.

Введение

Как известно, диагностика ионосферы с использованием ГНСС осуществляется при помощи измерения ПЭС и его динамики на луче спутник-приемник. При регистрации сигналов GPS/ГЛОНАСС на двух частотах L1 и L2 возможно измерение временных ходов фазы принимаемых сигналов с точностью до неизвестной аддитивной постоянной — так называемая фазовая неоднозначность. Величина полного электронного содержания вдоль луча от фазового центра антенны спутника до антенны приемника определяется известной формулой

$$I = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} [(L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) + const],$$

где f_1 и f_2 — частоты радиоволн, $L_1 \lambda_1$ и $L_2 \lambda_2$ — фазовые пути на соответствующих частотах. Наличие неизвестной константы $const$ в формуле связано именно с фазовой неоднозначностью. Таким образом, имеется возможность измерять не абсолютное значение ПЭС, а только его изменения во времени относительно начального момента регистрации. В одночастотных приемниках можно восстановить ПЭС из разности псевдодалностей измеренных по данным кодовых и фазовых наблюдений, так как ионосферная поправка входит в них с противоположным знаком. После всех упрощений получается формула для вычисления ПЭС

$$I = 3.08(C1 - L_1 \lambda_1).$$

Для единообразия с формулой для двухчастотного режима вновь использовано произведение $L_1 \lambda_1$. Под C1 следует понимать псевдодалность, полученную для сигнала кода C/A. ПЭС рассчитан-

ное по формуле, представлено уже в единицах TECU.

Первым этапом исследования было наблюдения за солнечным затмением 20 марта 2015 г. по данным двухчастотных и одночастотных приемников [Горбачев и др., 2015; Kholmogorov, Ivanov, 2016]. Ниже представлены графики (рис. 1) поведения ПЭС на луче станция IGS — спутник (MORP-G10) по данным двухчастотных наблюдений (верхний график) для дня землетрясения (штриховая линия), дня до (сплошная линия) и дня после (штрихпунктирная линия) и сравнение двухчастотных наблюдений с одночастотными для дня землетрясения (нижний график) — одночастотные измерения — сплошная линия, двухчастотные — пунктирная. Вертикальной линией отмечено время начала солнечного затмения.

Несмотря на то что в одночастотных данных наблюдается, как и ожидалось, значительная зашумленность, видно, что оба графика качественно совпадают и на обоих графиках регистрируется эффект снижения ПЭС в результате затмения. Некоторое систематическое среднее смещение одной кривой от другой по вертикали несущественно с учетом того, что здесь представлены вариации относительно начального момента.

Аналогичные наблюдения были проведены для землетрясения в Чили 27 февраля 2010 г. [Горбачев и др., 2016]. Сравнение одночастотных и двухчастотных наблюдения для пары станции-спутник (SANT-PRN23) представлены на рис. 2.

Проведенное исследование показало, что мощные землетрясения уверенно детектируются одночастотной спутниковой радионавигационной аппаратурой, в том числе и в одночастотном режиме. Наряду с откликами ионосферы в виде квазиперио-

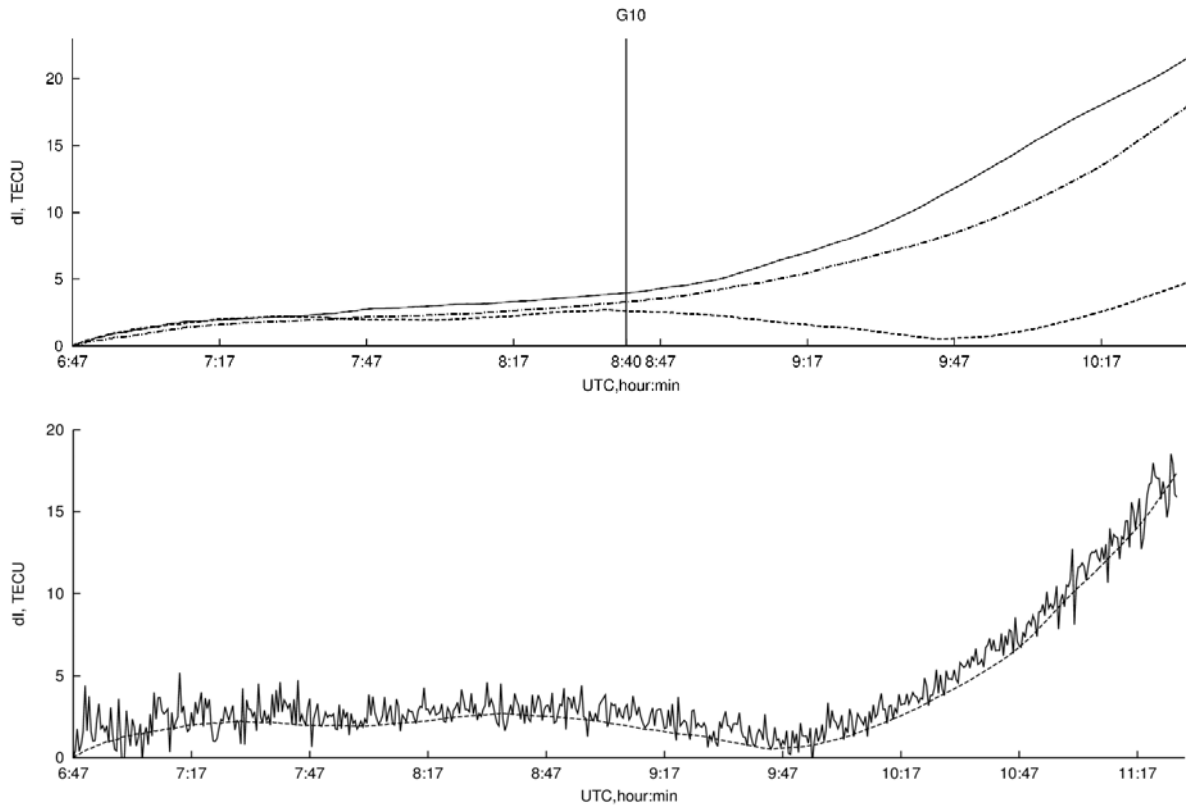


Рис. 1. Относительные временные вариации наклонного ПЭС для дня затмения по данным двухчастотных измерений для дня землетрясения и соседних дней (верхний график) и сравнение двухчастотных и одночастотных наблюдений для дня затмения (нижний график)

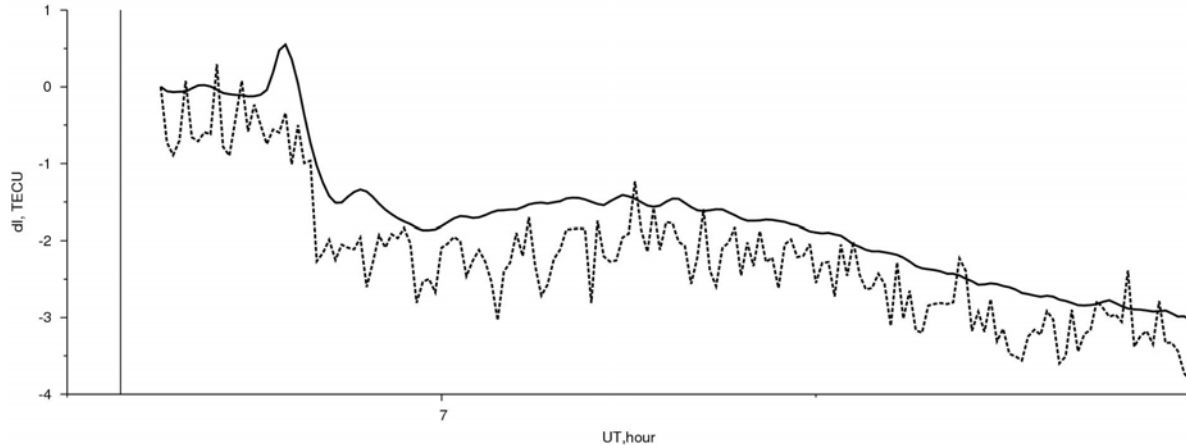


Рис. 2. Сравнение временных вариаций ПЭС, определяемых по двухчастотным фазовым измерениям (сплошная линия) и одночастотным измерениям (пунктирная линия) для землетрясения в Чили 27 февраля 2010 г.

дических возмущений ПЭС, детектируются вариации качественно иного характера — излома на временном ходе ПЭС.

Третьем этапом был анализ возможности использования одночастотных приемников для регистрации таких эффектов, как взрыв крупных метеороидов, на примере взрыва Челябинского метеороида [Холмогоров, Иванов, 2017]. Поскольку кодовые измерения существенно зашумлены по сравнению с чисто фазовыми (как в двухчастотном режиме), данные одночастотных измерений были подвергнуты предварительной обработке, заключающейся в усреднении, с использованием плавающего среднего

с временным интервалом в 7 мин. Типичная ситуация показана на рис. 3. Здесь для пары ARTU — PRN26 представлен временной ход ПЭС в обоих режимах. Сплошной линией показан ход наклонного ПЭС, вычисленного по двухчастотным измерениям и штрихпунктирной — соответственно по одночастотным измерениям.

Проведенные выше исследование показали, что использование одночастотных приемников сигналов ГНСС позволяет производить диагностику ионосферы, хотя, возможно, и с меньшей точностью, чем при использовании двухчастотных приемников. Полученные результаты показали возмож-

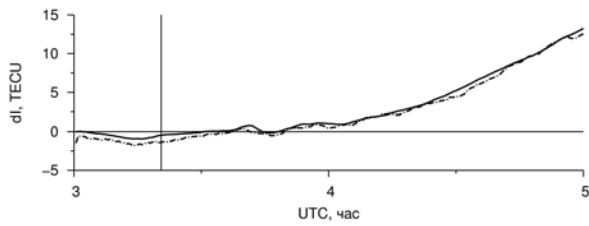


Рис. 3. Сравнение поведения наклонного ПЭС вычисленного по двухчастотным (сплошная линия) и одночастотным (штрихпунктирная линия) измерениям для пары ARTU — PRN26

ность детектирования таких эффектов, как солнечное затмение, мощные землетрясения и взрывы больших метеороидов.

Список литературы

Горбачев О.А., Иванов В.Б., Холмогоров А.А. Регистрация ионосферного эффекта солнечного затмения 20 марта 2015 г. по данным GPS-мониторинга в одночастотном режиме // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1, № 4. С. 35–39. DOI: 10.12737/12068.

Горбачев О.А., Иванов В.Б., Холмогоров А.А. GPS-регистрация ионосферных эффектов землетрясений в двухчастотном и одночастотном режимах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13, № 5. С. 251–261.

Холмогоров А. А., Иванов В.Б. Оценка возможности использования одночастотной аппаратуры GPS для регистрации отклика ионосферы на падение Челябинского метеороида // Сборник научных трудов «Современные проблемы радиоэлектроники», 2017 – Красноярск, 2016. С. 252–256.

Kholmogorov A.A., Ivanov V.B. GPS-Monitoring of the Ionospheric Reaction on Solar Eclipse using Single-Frequency Mode on the Example of Event 20 March 2015 // Proc. V International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”. Kaliningrad: 2016. P. 161–165.