

ИЗМЕРЕНИЕ МЕРЦАНИЙ НАВИГАЦИОННОГО СИГНАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОРУДОВАНИЯ NOVATEL GPStation-6 НА СРЕДНИХ ШИРОТАХ

^{1,2}С.В. Сыроватский, ^{1,2}Ю.В. Ясюкевич, ^{1,2}А.М. Веснин

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
semen_syrovatskii@iszf.irk.ru

MEASURING THE SCINTILLATIONS OF THE NAVIGATION SIGNAL, USING NOVATEL GPStation-6 EQUIPMENT AT MID-LATITUDES

^{1,2}S.V. Syrovatskii, ^{1,2}Yu.V. Yasyukevich, ^{1,2}A.M. Vesnin

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia,

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Аннотация. В работе представлены результаты измерений фазовых и амплитудных мерцаний навигационного сигнала с использованием приемника NOVATEL GPStation-6, расположенного в ИСЗФ СО РАН (Иркутск). В ходе работы был создан программный модуль для визуализации и первичной обработки данных мерцаний. Измерения проводятся для систем GPS (на частотах L1, L2, L5) и ГЛОНАСС (на частотах L1, L2). Наши результаты показывают отсутствие интенсивных амплитудных мерцаний на средних широтах даже во время сильных магнитных бурь. В то же время зарегистрирован ряд случаев появления интенсивных мерцаний до значений $S_4 \sim 1$.

Ключевые слова: ионосфера, мерцания, NOVATEL GPStation-6, средние широты.

Abstract. This work describes the results of measurements of the phase and amplitude scintillations of the navigation signal using the NOVATEL GPStation-6 receiver located in the ISTP SB RAS (Irkutsk). During this work a software module was created for visualization and primary processing of data of scintillations. The measurements are carried out for systems of GPS (at the frequencies L1, L2, L5) and GLONASS (at the frequencies L1, L2). Our results show the absence of intense amplitude scintillations at mid-latitudes, even during strong magnetic storms. At the same time, a number of cases of the appearance of intense scintillations to $S_4 \sim 1$ are recorded.

Keywords: ionosphere, scintillations, NOVATEL GPStation-6, mid-latitudes.

Введение

В ионосфере Земли всегда существуют высокочастотные нестационарные структуры электронной концентрации различного масштаба или так называемые неоднородности [Рекомендация МСЭ-R P.618–10. 2009].

Совокупность экспериментальных данных позволила установить, что ионосферные неоднородности существуют в широком спектральном диапазоне, который имеет степенной вид [Гундзе, Лю, 1982]:

$$\Phi_{\xi} \sim k^{-p}, \quad (1)$$

где p — показатель степени спектра, лежащий для ионосферы в пределах 4 ± 1 .

Неоднородности размера порядка радиуса первой зоны Френеля приводят к быстрым случайным изменениям амплитуды и фазы проходящего через них сигнала. Такой эффект называется ионосферными мерцаниями (амплитудными и фазовыми).

Появление ионосферных мерцаний может значительно понизить отношение сигнал/шум, а в экстремальных случаях привести к срыву сопровождения сигнала [Демьянов, Ясюкевич, 2014]. Для рабочих частот GPS и ГЛОНАСС (~ 1.2 – 1.6 ГГц) наибольшим эффектом амплитудных мерцаний наблюдается в присутствии неоднородностей размера ~ 150 – 300 м.

Известно, что существует две основные зоны локализации неоднородностей: авроральная (на ши-

ротах 65 – 90°) и экваториальная (на широтах 0 – 20°) [Kintner et al., 2009]. В средних же широтах мерцания возникают в исключительных случаях, например во время сильных геомагнитных бурь [Демьянов, Ясюкевич, 2014].

В настоящей работе представлены примеры наблюдения ионосферных мерцаний на средних широтах (Иркутск, 52° N, 104° E) с использованием оборудования NOVATEL GPStation-6.

Амплитудные мерцания

Одним из наиболее важных параметров в исследовании амплитудных ионосферных мерцаний является амплитудный индекс мерцаний S_4 , определяемый как нормированное среднеквадратичное отклонение флуктуаций интенсивности сигнала, принимаемого в определенный интервал времени, как правило, за 60 с [Рекомендация МСЭ-R P.618–10. 2009]:

$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2}}, \quad (2)$$

где I — интенсивность сигнала, а $\langle \rangle$ означает среднее по ансамблю.

Для удобства амплитудные мерцания можно классифицировать по их интенсивности на три режима, представленных в таблице [Рекомендация МСЭ-R P.618–10. 2009].

Классификация амплитудных мерцаний по режиму их интенсивности

Режим интенсивности	S_4
Низкий	<0.3
Средний	$0.3 \div 0.6$
Высокий	>0.6

Наилучшей аппроксимацией плотности распределения интенсивности при амплитудных мерцаниях является m -распределение Накагами, которое действует в широком диапазоне значений S_4 [Гундзе, Лю, 1982]:

$$p(I) = \frac{m^m I^{m-1}}{\Gamma(m) \langle I \rangle^m} \exp\left(-\frac{mI}{\langle I \rangle}\right), \quad (3)$$

где параметр $m = \frac{1}{S_4^2}$. I — интенсивность сигнала,

операция $\langle \rangle$ означает усреднение по времени, Γ — гамма-функция.

Фазовые мерцания

Согласно теории фазового экрана, фазовые мерцания подчиняются гауссовому распределению с нулевым средним:

$$p(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\varphi} e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2}}, \quad (4)$$

где φ — фаза, σ_φ — среднеквадратичное отклонение фазы.

Поэтому для их описания используется среднеквадратичное отклонение фазы σ_φ :

$$\sigma_\varphi = \sqrt{\langle \varphi^2 \rangle - \langle \varphi \rangle^2}. \quad (5)$$

Экспериментальные результаты

В ходе работы был создан программный модуль для первичной обработки, визуализации и сохранения данных мерцаний, получаемых с помощью приемника NOVATEL GPStation-6 в ИСЗФ СО РАН, для двух спутниковых систем: GPS (для частот L1, L2, L5) и ГЛОНАСС (для частот L1, L2). Выходными данными являются значения амплитудного индекса мерцаний S_4 , нормированного на угол места значения амплитудного индекса мерцаний S_4COR [Spogly et al.], 3-, 10-, 30- и 60-секундные среднеквадратичные отклонения фазы.

На рис. 1 представлены амплитудные мерцания сигнала GPS и ГЛОНАСС во время главной фазы сильнейшей магнитной бури 17 марта 2015 г. Пунктирная кривая показывает динамику индекса SYM/H. На рис. 2 представлены аналогичные данные для магнитной бури 23 июня 2015 г. Как можно видеть для данных событий отсутствуют интенсивные амплитудные мерцания на средних широтах несмотря на то, что эти бури являются достаточно сильными.

В то же время, зарегистрирован ряд случаев появления интенсивных мерцаний до значений $S_4 \sim 1$.

Один из таких примеров приведен на рис. 3. Можно видеть, что в спокойной геомагнитной обстановке возникают всплески по нескольким спутникам с резким возрастанием значений амплитудных мерцаний.

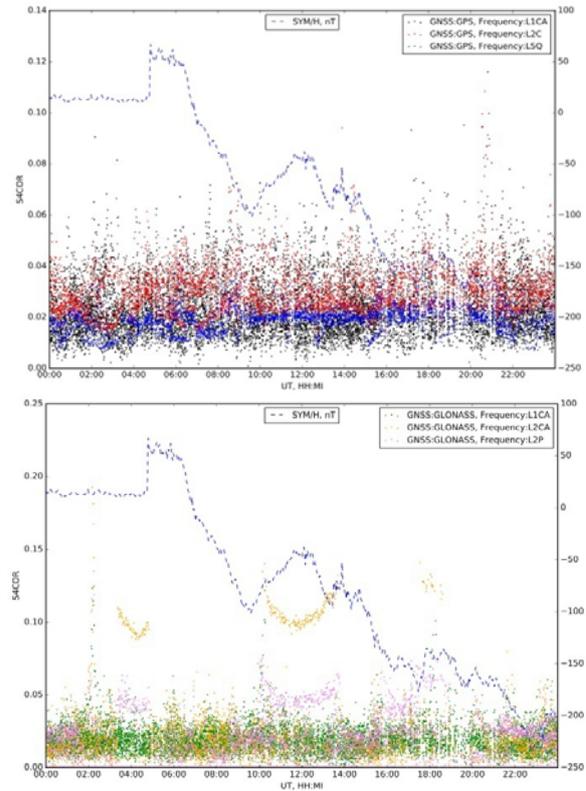


Рис. 1. Динамика индекса S_4 для GPS (вверху) и ГЛОНАСС во время магнитной бури 17 марта 2015 г. Штриховая кривая — индекс геомагнитной активности SYM/H (правая ось ординат)

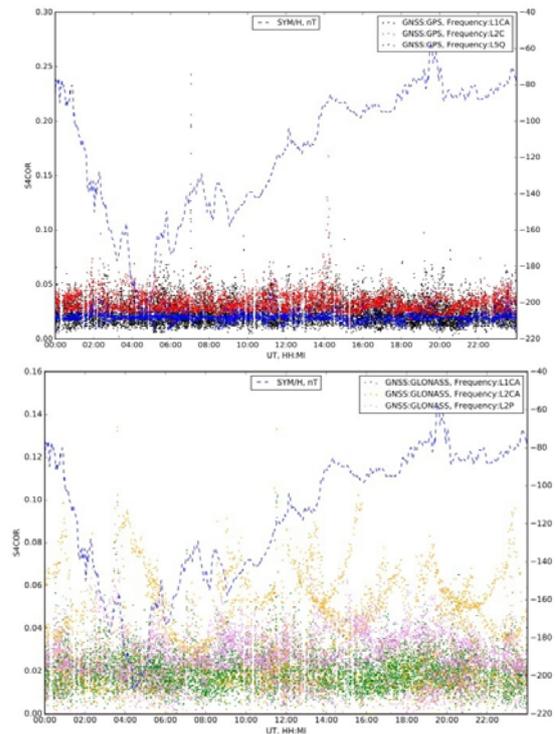


Рис. 2. Динамика индекса S_4 для GPS (вверху) и ГЛОНАСС во время магнитной бури 23 июня 2015 г. Штриховая кривая — индекс геомагнитной активности SYM/H (правая ось ординат)

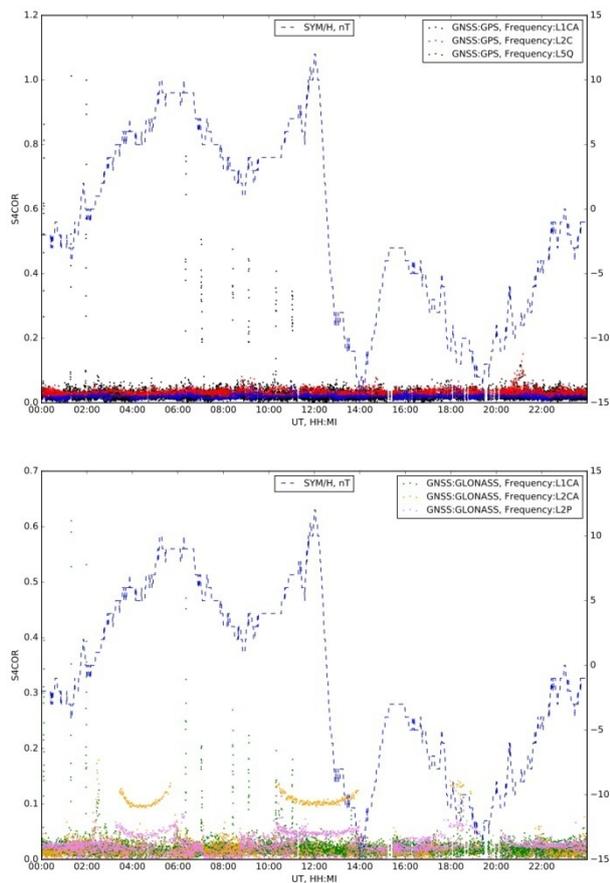


Рис. 3. Динамика индекса S_4 для GPS (вверху) и ГЛОНАСС в спокойных условиях 13 марта 2015 г. Штриховая кривая — индекс геомагнитной активности SYM/H (правая ось ординат)

Заключение

В настоящее время в ИСЗФ СО РАН имеется возможность проводить амплитудные и фазовые измерения навигационного сигнала. Измерения проводятся для систем GPS (на частотах L1, L2, L5) и ГЛОНАСС (на частотах L1, L2). Наши результаты показывают отсутствие интенсивных амплитудных мерцаний на средних широтах даже во время сильных магнитных бурь. В то же время, зарегистрирован ряд случаев появления интенсивных мерцаний до значений $S_4 \sim 1$. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 15-05-03946.

Список литературы

- Гундзе Е., Лю Ч., Мерцание радиоволн в ионосфере // ТИИИЭР. 1982. Т. 70, № 4. С. 5–45.
- Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования систем связи Земля-космос / Рекомендация МСЭ-R P.618–10. 2009. 26 с.
- Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В., Механизмы воздействия нерегулярных геофизических факторов на функционирование спутниковых радионавигационных систем. Иркутск: Иркут. гос. ун-т., 2014. 349 с.
- Kintner P., Humphreys T., Hinks J. GNSS and ionospheric scintillation: how to survive the next solar maximum // InsideGNSS. 2009. P. 22–30.
- Spogly L., Alfonsi L., De Franceschi G., et al. Climatology of GPS ionospheric scintillations over high and mid-latitude European regions // Annales Geophysicae. 2009. P. 3429–3437.