

О ВЛИЯНИИ ГЕОМАГНИТНОЙ ВОЗМУЩЕННОСТИ НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Е.И. Данильчук, В.Б. Иванов

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
danilchuk.k@mail.ru

EFFECTS OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES ON POSITIONING ACCURACY OF SATELLITE RADIO NAVIGATION SYSTEMS

E.I. Danilchuk, V.B. Ivanov

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
danilchuk.k@mail.ru

Аннотация. Целью работы является исследование влияния геомагнитной возмущенности на точность позиционирования спутниковых радионавигационных систем. В работе использовались навигационные данные приемников сети IGS: NRC1, TIDB и INVK. Были посчитаны коэффициенты корреляции между значениями 3D-ошибок позиционирования и A_p -индекса, в результате было определено, что при низкой солнечной активности корреляция между этими величинами практически не наблюдается.

Ключевые слова: ГНСС, ПЭС, геомагнитная буря, ошибки позиционирования, корреляция.

Abstract. The aim of the study is to investigate the geomagnetic disturbance effects on positioning accuracy of satellite radio navigation systems. The navigation data of IGS network receivers, such as NRC1, TIDB and INVK, were used in the study. The correlation coefficients between the values of 3D positioning errors and A_p -index were calculated, as result it was determined that during low solar activity there is practically no correlation between these values.

Keywords: GNSS, TEC, geomagnetic storm, positioning errors, correlation.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) представляют широко используемый инструмент в решении навигационной задачи. Существенным недостатком ГНСС является наличие ошибок позиционирования, возникающих при распространении сигнала. Существенный вклад в значения ошибок вносит ионосферная погрешность, определяемая полным электронным содержанием (ПЭС) [Антонович, 2005].

Геомагнитная буря может вызывать сильные возмущения в области ионосферы. Ионосферная буря — это глобальное возмущение ПЭС, электронной концентрации в максимуме слоя F и высоты максимума во время геомагнитной бури [Благовещенский, 2013]. В среднем бывает 1–2 достаточно сильных геомагнитных бурь в месяц, при этом на каждую бурю приходится 3–5 возмущенных дней. Однако серьезные изменения наблюдаются только в первые два дня бури, поэтому большинство дней в месяце являются невозмущенными [Mendillo, 2006].

Характерным признаком влияния бури на ПЭС является почти всегда положительное изменение в первые 24 ч. Данное увеличение ПЭС может быть достаточно большим, вплоть до двукратного увеличения по сравнению с невозмущенной ионосферой. Во вторые 24 ч бури ПЭС падает ниже среднего значения спокойной ионосферы. Далее следует фаза восстановления ПЭС до невозмущенных значений в течение 1–2 дней. При этом для большинства более слабых или коротких магнитных возмущений ионосферные колебания не длятся дольше 24 ч и проявляются только положительным отклонением [Hibberd, 1967].

Целью данной работы является исследование влияния геомагнитной возмущенности на точность позиционирования ГНСС.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В работе использовались навигационные данные станций сети IGS (International GNSS Service), представленные в RINEX формате, которые были получены с сайта [<http://sopac.ucsd.edu/dataBrowser.shtml>]. В работе были рассмотрены следующие станции:

1. NRC1 (National Research Council: 45.454° N, 75.624° W) расположена в Институте национальных стандартов измерений Национального научно-исследовательского совета Канады в Оттаве.

2. TIDB (Tidbinbilla: 35.399° S, 148.979° E) расположена в CDSCC (Canberra Deep Space Communications Complex, комплекс дальней космической связи в Канберре), Австралия.

3. INVK (Inuvik: 68.306° N, 133.527° W) — GPS станция GSC (Geological Survey of Canada, геологическая служба Канады).

Станции расположены в средних, умеренно высоких и умеренно низких широтах.

Геомагнитная активность характеризовалась планетарным A_p -индексом, представляющим изменение магнитного поля за трехчасовой временной интервал. Поведение A_p -индекса за сентябрь 2018 г. представлен на рисунке. Стоит отметить, что за данный период наблюдались две геомагнитные бури, которые произошли 11 и 22 сентября. Причем первая буря была очень мощной, значения A_p -индекса достигали 80 нТл.

В качестве инструмента решения навигационной задачи была использована программа RTKPOST, которая является программой пакета RTKLIB с открытым исходным кодом для постобработки данных ГНСС [Takasu, 2013].

Навигационные данные каждого приемника с шагом 30 с (за сентябрь 2018 г.) были обработаны программой RTKPOST. В результате по полученным

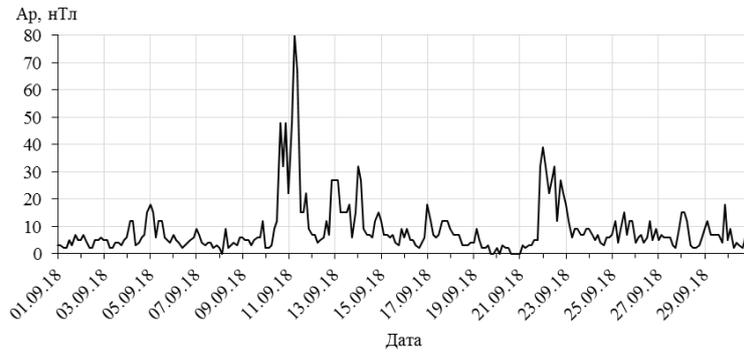


Рис. Значения A_p -индекса за сентябрь 2018 г.

Коэффициенты корреляции для данных за сентябрь 2018 г.

Станции	Временные интервалы, ч							
	00–03	03–06	06–09	09–12	12–15	15–18	18–21	21–24
NRC1	-0.0565	-0.0062	-0.1486	-0.0383	-0.0258	-0.1885	-0.1069	0.0481
INVK	-0.1027	-0.0396	-0.0254	-0.1067	-0.1447	-0.1770	-0.0387	-0.1109
TIDB	0.0496	-0.1515	-0.1074	0.0936	-0.1058	0.0769	-0.1268	0.1107

координатам определялись ошибки позиционирования по широте, долготе и высоте, по которым далее вычислялась 3D-ошибка позиционирования за трехчасовой интервал для каждого дня месяца. Далее вычислялись коэффициенты корреляции между значениями 3D-ошибок позиционирования и A_p -индекса за каждый день месяца для каждого трехчасового интервала по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum_1^n (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_1^n (X - \bar{X})^2 \sum_1^n (Y - \bar{Y})^2}},$$

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_1^n X$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_1^n Y$ — средние значения, а X и Y — соответственно значения 3D-ошибок позиционирования и A_p -индекса.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице представлены коэффициенты корреляции между значениями 3D-ошибок позиционирования и A_p -индекса.

Как видно из полученных результатов, в большинстве случаев наблюдается отрицательные коэффициенты корреляции, причем значения всех коэффициентов корреляции не превышают 0.2 по модулю. Такие значения коэффициентов корреляции говорят о практическом отсутствии взаимосвязи между значениями 3D-ошибок позиционирования и A_p -индекса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты на первый взгляд выглядят противоречащими тому факту, что ПЭС, а, следовательно, и ошибка позиционирования, связанная с ионосферой, должны реагировать на геомагнитную бурю. Возможное устранение этого противоречия может быть объяснено следующим образом. Данные, использованные в расчетах, относятся к периоду крайне низкой солнечной активности —

индекс F10.7 составлял величину около 70 единиц, а максимальные ПЭС не превышают 12 TECU. В этих условиях ионосферная составляющая ошибок позиционирования мала по сравнению с другими источниками ошибок, например, с погрешностями эфемерид. Тогда ошибки местоопределения практически не будут коррелированы с вариациями ПЭС, а, следовательно, и с геомагнитной возмущенностью. Проверку этой гипотезы предполагается выполнить в дальнейшем, рассмотрев условия средней и высокой солнечной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Монография. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. Т. 1. 344 с.
- Благовещенский Д.В. Влияние геомагнитных бурь, суббурь на ионосферу. Ч. 1. (обзор) // Геомагнетизм и аэронавигация. 2013. Т. 53, № 3. С. 291–307.
- Hibberd F.H., Ross W.J. Variations in total electron content and other ionospheric parameters associated with magnetic storms // J. Geophys. Res. 1967. N 21. P. 5331–5337.
- Mendillo M. Storms in the ionosphere: Patterns and processes for total electron content // Rev. Geophys. 2006. N 44. RG4001.
- URL: <http://www.rtklib.com>.
- URL: <http://sopac.ucsd.edu/dataBrowser.shtml>.