

УДК 528.2:550.341:550.24

ПРОЯВЛЕНИЕ ЛУННО-СОЛНЕЧНОГО ПРИЛИВА В СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ КООРДИНАТНЫХ ДАННЫХ GPS

А. А. Спивак*, В. А. Харламов

Представлено академиком РАН В.В. Адушкиным 20.12.2018 г.

Поступило 25.12.2018 г.

Приведены результаты спектрального анализа координатных данных, полученных в результате проведения постоянной регистрации в Геофизической обсерватории “Михнево” ИДГ РАН с использованием стационарного GPS-приёмника. Детальный анализ цифровых рядов данных за длительный период времени (наблюдения выполняются с июня 2014 г. по настоящее время) показал, что спектр вариаций координатных данных характеризуется наличием значительного количества квазигармонических составляющих, среди которых выделяются колебания с периодами, близкими к периодам приливных волн.

Ключевые слова: позиционирование, координатные данные, спектр, лунно-солнечный прилив.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524892179-182>

В последнее время для определения горизонтальных и вертикальных смещений земной коры, а также выделения собственных колебаний Земли широко применяются методы космической геодезии, основанные, в частности, на использовании системы GPS [1–5]. При этом основным препятствием для повышения надёжности и точности получаемых данных являются шумы в системе глобального позиционирования, а именно: возмущения, вызываемые флуктуациями в ионосфере и атмосфере, нестабильность в ориентации космических аппаратов системы GPS и т.д. [6–9]. Оценка и подтверждение возможностей использования данных, получаемых в результате космического позиционирования, для высокоточного определения координат наблюдателя в динамике вызывают необходимость изучения спектральных характеристик координатных данных. При этом наиболее простым и очевидным подходом к демонстрации возможностей GPS-позиционирования является выделение в спектрах координатных данных проявлений природных процессов, например лунно-солнечного прилива.

В настоящей работе анализируется спектр координатных данных GPS с целью выделения квазигармонических составляющих с периодами, соответствующими приливным волнам.

Исходными данными послужили цифровые ряды координат GPS-приёмника, расположенного на территории геофизической обсерватории “Михнево” (ГФО МНВ) ИДГ РАН (54,959° с.ш.; 37,766° в.д.).

*Институт динамики геосфер
Российской Академии наук, Москва
E-mail: spivak@idg.chph.ras.ru

GPS-приёмник Javad Sigma-G3T располагался на мачте высотой 8 м, удалённой на расстояние не менее 12 м от ближайшей лесной растительности. В результате измерений определялись координаты приёмника, что позволяло устанавливать как его вертикальные, так и горизонтальные перемещения, а также ошибку позиционирования. Результаты регистрации выложены на сайте ИДГ РАН в графическом и цифровом виде (www.idg.chph.ras.ru/~mikhnevo/).

При анализе использовались временные ряды цифровых данных за период 2015–2017 гг., сформированные с дискретностью 1 мин. Генеральные спектры координатных данных и ошибки позиционирования вычислялись за период длительностью 1 год. При выделении квазигармонических составляющих с близкими частотами были использованы данные, полученные за 3-летний период.

Квазигармонические составляющие спектра вариаций координатных данных выделялись с применением метода адаптивной режекторной фильтрации [11]. При этом применялись узкополосные полосовые фильтры, разработанные в [12] и обеспечивающие добротность в интервале $10^3-2 \cdot 10^3$.

В качестве примера на рис. 1 приведены результаты суточной регистрации широты *Lat*, долготы *Lon* и высоты *H* пункта GPS-наблюдений ГФО МНВ, а также величина ошибки позиционирования *E*. Данные приведены за 10.09.2017 г. — сутки, характеризующиеся невозмущённым состоянием атмосферы, магнитного и электрического полей Земли. Приведённые на рис. 1 графики свидетельствуют о том, что даже в этом случае наблюдаются

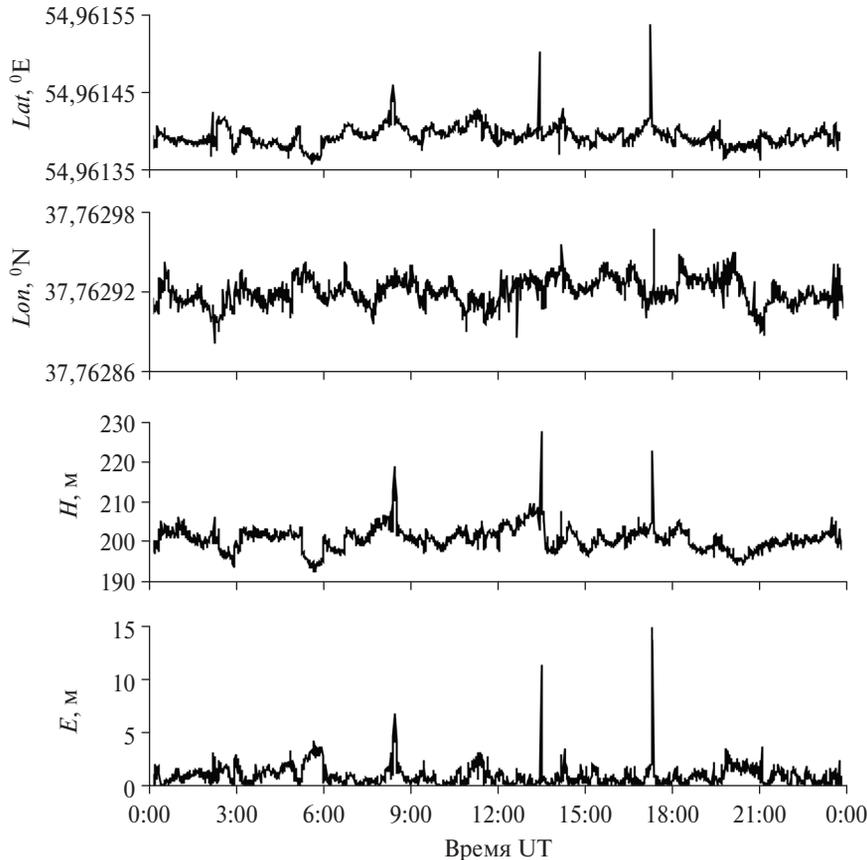


Рис. 1. Пример записи данных GPS-позиционирования за 10.09.2017 г.

заметные вариации координатных данных, природу которых ещё предстоит выяснить.

Нас заинтересовало возможное влияние лунно-солнечного прилива на результаты GPS-регистрации. Выполненные спектральные оценки показали, что в спектрах координат выделяются периоды, совпадающие с периодами основных приливных волн. Примеры выделения приливных волн около-суточного и полусуточного диапазона периодов представлены на рис. 2–4. Из рис. 2 и 4 следует, что чувствительности GPS-регистрации достаточно для выделения приливных волн с периодами в около-суточном и полусуточном диапазонах. При этом следует отметить, что для полусуточного диапазона периодов максимальная спектральная амплитуда наблюдается в приливной волне K_2 , что естественно образом отражает характер вертикального смещения в приливном горбе. Действительно, в отличие от атмосферного прилива, в котором максимум спектральной амплитуды полусуточного диапазона микробарических вариаций соответствует приливной волне S_2 (солнечный прилив [13]), максимум спектральной амплитуды вариаций данных GPS-регистрации соответствует приливной волне K_2 , в которой смещения как вертикальные, так и го-

ризонтальные максимальны по сравнению с другими приливными волнами [14].

Более детальный анализ свидетельствует о принципиальной возможности выделения в вариациях GPS-данных приливных волн с близкими периодами, что хорошо продемонстрировано на рис. 3.

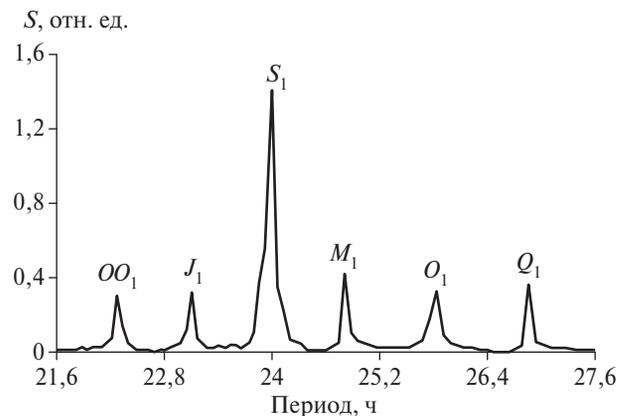


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности около-суточных вариаций вертикальной компоненты GPS-данных от периода на ГФО МНУ по результатам регистрации в 2017 г. (спектральные пики, близкие по периодам к приливным волнам, помечены в поле этого и других рисунков в соответствии с принятыми обозначениями).

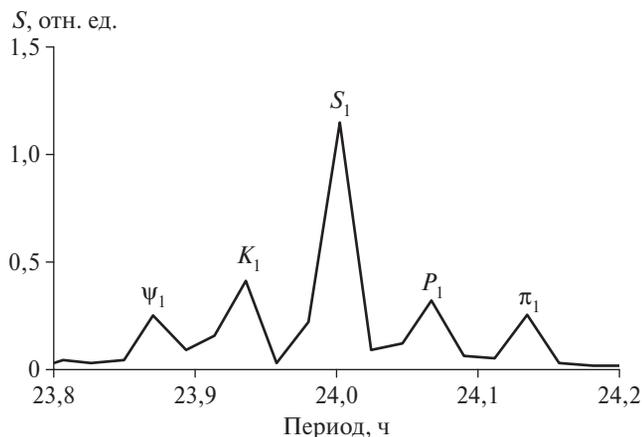


Рис. 3. Пример разделения близких по периодам спектральных пиков (данные рис. 2).

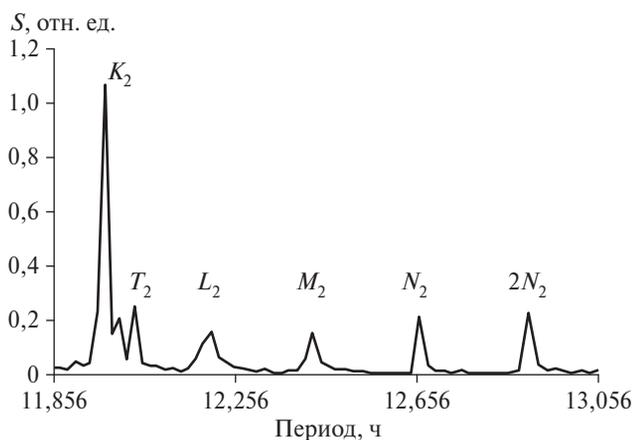


Рис. 4. Зависимость спектральной плотности полусуточных вариаций вертикальной компоненты GPS-данных от периода на ГФО МНУ по результатам регистрации в 2017 г.

Полученные результаты позволяют констатировать, что лунно-солнечный прилив не только проявляется в вариациях данных GPS, но его влияние потенциально может вызывать значимое изменение ошибки позиционирования. Об этом свидетельствуют относительные амплитуды спектральных составляющих, соответствующих приливным волнам.

Источник финансирования. Исследования выполнены по Программе фундаментальных исследований Президиума РАН № 19 «Фундаментальные проблемы геолого-геофизического изучения литосферных процессов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. М.: Эко-Трендз, 2003. 299 с.
2. Захаров В.С., Симонов Д.А. Анализ современных дискретных движений блоков земной коры в геодинамически активных областях по данным GPS // Вестн. моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2010. № 3. С. 25–33.
3. Милуков В.К., Дробышев В.Н., Миронов А.П., Стеблов Г.М., Хубаев Х.М. Осетинская геодезическая спутниковая сеть: создание и первые результаты геодезического мониторинга // Вестн. Владикавказ. науч. центра. 2014. Т. 14. № 4. С. 2–11.
4. Larson K.M., Boden P., Gombert J. Using 1-Hz GPS Data to Measure Deformations Caused by the Denali Fault Earthquake // Science. 2003. V. 300. P. 1421–1424.
5. Houlié N., Occhipinti G., Blanchard T., Shapiro N., Lognonne P., Murakami M. New Approach to Detect Seismic Surface Waves in 1Hz-Sampled GPS Time Series // Scientific Reports. 2011. V. 1. DOI: 10.1038/srep00044.
6. Mitsui Y., Heki K. Observation of Earth's Free Oscillation by Dense GPS Array: After the 2011 Tohoku Megathrust Earthquake // Scientific Reports. 2012. V. 2. DOI: 10.1038/srep00931.
7. Афраймович Э.Л., Караченцев В.А., Неудакин А.А. Тестирование трансионосферного канала распространения радиоволн по данным глобальной сети многоканальных двухчастотных приемников GPS // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49. № 5. С. 1–10.
8. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Механизмы воздействия нерегулярных геофизических факторов на функционирование спутниковых радионавигационных систем // Солнечно-земная физика. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 349 с.
9. Кузьмичева М.Ю., Ряховский И.А., Поклад Ю.В., Гаврилов Б.Г. Влияние геометрических факторов и алгоритмов обработки данных на ошибки позиционирования ГНСС в ГФО «Михнево» // Динамические процессы в геосферах. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2017. С. 136–143.
10. Адушкин В.В., Овчинников В.М., Санина И.А., Ризниченко О.Ю. «Михнево»: от сейсмостанции № 1 до современной геофизической обсерватории // Физика Земли. 2016. № 1. С. 108–119.
11. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
12. Swanson C.D. Signal Processing for Intelligent Sensor Systems with MATLAB (Second Edition). CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011. 688 p.
13. Адушкин В.В., Спивак А.А., Харламов В.А. Инструментальные наблюдения приливных волн в атмосфере // ДАН. 2016. Т. 469. № 3. С. 343–346.
14. Адушкин В.В., Спивак А.А. Влияние лунно-солнечного прилива на вариации геофизических полей на границе земная кора — атмосфера // Физика Земли. 2012. № 2. С. 14–26.

MANIFESTATION OF THE LUNAR—SOLAR TIDE IN SPECTRUMS OF COORDINATE GPS DATA

A. A. Spivak, V. A. Kharlamov

Institute of Geosphere Dynamics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Presented by Academician of the RAS V.V. Adushkin December 20, 2018

Received December 25, 2018

The results of the spectral analysis of coordinate data obtained as a result of the permanent registration in the Geophysical Observatory “Mikhnevo” IDG RAS using a stationary GPS receiver. A detailed analysis of digital data series for a long period of time (observations are carried out from June 2014 to the present time) showed that the spectrum of variations of coordinate data is characterized by the presence of a significant number of quasi-harmonic components, among which there are fluctuations with periods close to the periods of tidal waves.

Keywords: positioning, coordinate data, spectrum, lunar-solar tide.