

Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - «Муром 2021»

Использование смартфона с двухчастотным ГНСС модулем для измерения полного электронного содержания

Д.А. Когогин, И.А. Насыров, Р.В. Загретдинов, Д.С. Максимов

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18, E-mail: denis.kogogin@gmail.com

В докладе представлены результаты измерений параметров ГНСС радиозондирования с помощью смартфона Xiaomi Mi 8, оснащенного двухчастотным ГНСС модулем, способным принимать и обрабатывать сигналы систем GPS, Galileo, QZSS в частотных поддиапазонах L1 и L5, а ГЛОНАСС и BeiDou только в L1. Проведен сравнительный анализ полученных данных с синхронно записанными данными со станции KZN2 сети IGS, оснащенной профессиональным ГНСС приемником геодезического класса. Показано, что медианное значение отношения сигнал/шум на частотах L1, L5 для данных полученных от спутника G08 на смартфоне Xiaomi Mi 8 на ~24% ниже, чем для станции KZN2, а вариации ПЭС, параметры ROT и ROTI зарегистрированные с помощью смартфона, имеют более высокое отношение сигнал/шум по сравнению с данными станции KZN2. Возможность регистрации ПЭС на основе двухчастотных фазовых и групповых запаздываний сигналов ГНСС полученных на смартфоне открывает перспективы привлечения как можно более широкого сообщества для сбора ГНСС данных ионосферного мониторинга.

Ключевые слова: ГНСС, ПЭС, ионосфера, дистанционное зондирование, смартфон

Using android smartphones with dual-frequency multi-gnss receiver to measure the total electron content of the ionosphere

D.A. Kogogin, I.A. Nasyrov, R.V. Zagretdinov, D.S. Maksimov

Kazan Federal University, Kazan.

The results of measurements of the parameters of GNSS radio sounding using a Xiaomi Mi 8 smartphone equipped with a dual-frequency GNSS module capable of receiving and processing signals from the GPS, Galileo, QZSS systems in the L1 and L5 frequency sub-bands, and GLONASS and BeiDou only in L1 are presented. A comparative analysis of the data obtained with the simultaneous recorded data from the KZN2 station of the IGS network, equipped with a professional GNSS receiver of a geodetic class, has been carried out. It is shown that the median value of the signal-to-noise ratio at the L1, L5 frequencies for the data obtained from the G08 satellite on the Xiaomi Mi 8 smartphone is ~ 24% lower than for the KZN2 station. TEC, ROT and ROTI parameters registered with the smartphone, have higher signal-to-noise ratio in comparison with the data of KZN2 station. The possibility of registering TEC based on dual-frequency phase and group delays of GNSS signals received on a smartphone opens up prospects for attracting as wide a community as possible for collecting GNSS data and ionospheric monitoring.

Keywords: GNSS, TEC, ionosphere, remote sensing, android, smartphones, Xiaomi Mi 8

Введение

Начиная с выпуска операционной системы для смартфонов Android 7 (2016 год), у пользователей появилась возможность получать необработанные ГНСС данные, записанные с помощью ГНСС модуля, установленного в смартфон [1]. Однако возможности данных модулей на тот момент, позволяли принимать навигационные сигналы от основных ГНСС созвездий (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) только в

поддиапазоне L1¹. Полученные в результате одночастотных измерений данные полного электронного содержания (ПЭС) (путем использования комбинации фазовых и групповых измерений на одной частоте) обладают существенно большим отношением сигнал/шум по сравнению с данными ПЭС, полученными комбинацией двухчастотных фазовых измерений на частотах L1/L2, L1/L5. Однако, с появлением на рынке двухчастотного ГНСС модуля BCM47755 [2], обеспечивающего прием в частотных поддиапазонах L1 и L5 для систем GPS, Galileo и QZSS появилась возможность расчёта ПЭС на основе двухчастотных фазовых измерений на частотах L1 и L5 записанных на смартфоне. Учитывая вышесказанное, можно предположить, что использование смартфона, как самостоятельного бюджетного и мобильного ГНСС приемника, в ряде случаев, может послужить дополнительным каналом информации о состоянии верхней атмосферы, а учитывая рост количества смартфонов, оснащенных двухчастотными навигационными чипами будет полезным и для непрерывного мониторинга состояния околоземного космического пространства. Возможности смартфонов, оснащенных двухчастотным ГНСС модулем, как с точки зрения ионосферных исследований, так и с точки зрения точного позиционирования рассмотрены в ряде последних работ [3-6].

Описание измерительной аппаратуры и организации эксперимента

Для записи параметров ГНСС радиосигналов в работе использован смартфон Xiaomi Mi 8, являющийся первым коммерческим аппаратом, оснащенным ГНСС модулем BCM47755. BCM47755 позволяет принимать и обрабатывать следующие ГНСС сигналы: GPS L1C/A, L5, GLONASS L1, BeiDou (BDS) B1, QZSS L1, L5, Galileo E1, E5a.

С целью первичной оценки качества работы ГНСС приемника, установленного в смартфон, проводился сравнительный анализ ГНСС данных полученных на смартфоне Xiaomi Mi 8, с данными синхронно записанными на станции KZN2 [7], входящей в мировую сеть ГНСС станций (International GNSS Service – IGS). Учитывая высокие требования, применяемые к станциям сети IGS и длинный ряд непрерывных измерений, данные, полученные на станции KZN2, будем считать опорными и верифицированными. Смартфон во время записи (30.04.2020) был расположен в городской среде (геогр. коорд.: 55,79° с.ш, 49,11° в.д), на расстоянии ~ 148 метров от станции сети IGS – KZN2, которая оснащена профессиональным ГНСС приемником Trimble Alloy с антенной Trimble TRM 59800. Смартфон находился в статичном положении в течение всего периода записи. Общая схема местоположения устройств представлена на рисунке 1.

¹L-диапазон – это диапазон частот от 1 до 2 ГГц. Например, центральные частоты в L-диапазоне системы GPS следующие: L1 – 1575, 42 МГц; L2 – 1227, 60 МГц; L3 – 1381, 05 МГц; L5 – 1176, 45 МГц.

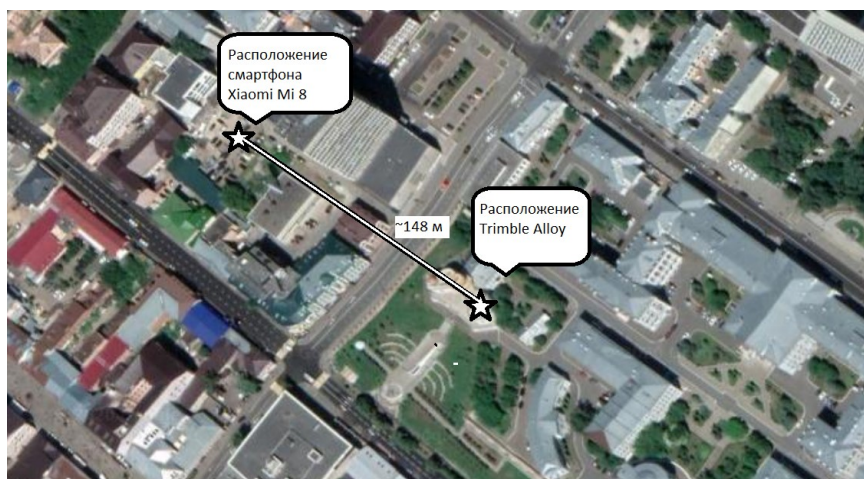


Рис. 1. Местоположения смартфона Xiaomi Mi 8 и станции KZN2 сети IGS во время записи данных 30.04.2020.

В магазине приложений для смартфонов на операционной системе Android – GooglePlay доступны различные варианты приложений, позволяющие преобразовывать измерения ГНСС в формат RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) и/или RINEX (Receiver Independent Exchange Format). В данной работе запись данных производилась в формате RINEX 3.03 [9] при помощи приложения Geo++ RINEX Logger [10] часовыми файлами с частотой регистрации параметров 1 Гц. Аналогичный формат RINEX, частота регистрации данных и период их записи был использован и на станции KZN2.

Полученные результаты

На рис. 2 представлены результаты фазовых измерений на частотах L1 и L5 для спутника G08 системы GPS в интервале 18:00-19:00 UTC. Данные других спутников на этом временном интервале содержали срывы сопровождения фазы на частоте L5 для смартфона Xiaomi Mi 8 и поэтому были исключены из дальнейшего анализа. На рис. 2а показаны данные записанные ГНСС приемником Trimble Alloy (станция сети IGS – KZN2), на рис. 2б смартфоном Xiaomi Mi 8. Измерения на частоте L1 показаны синей линией, на частоте L5 красной линией. Разница в фазовых измерениях на L1 и L5, между смартфоном и данными станции KZN2 составляет порядка ± 1500 полных циклов в обоих случаях. Для псевдодальномерных измерений имеем $\sim \pm 200$ м на L1 и L5.

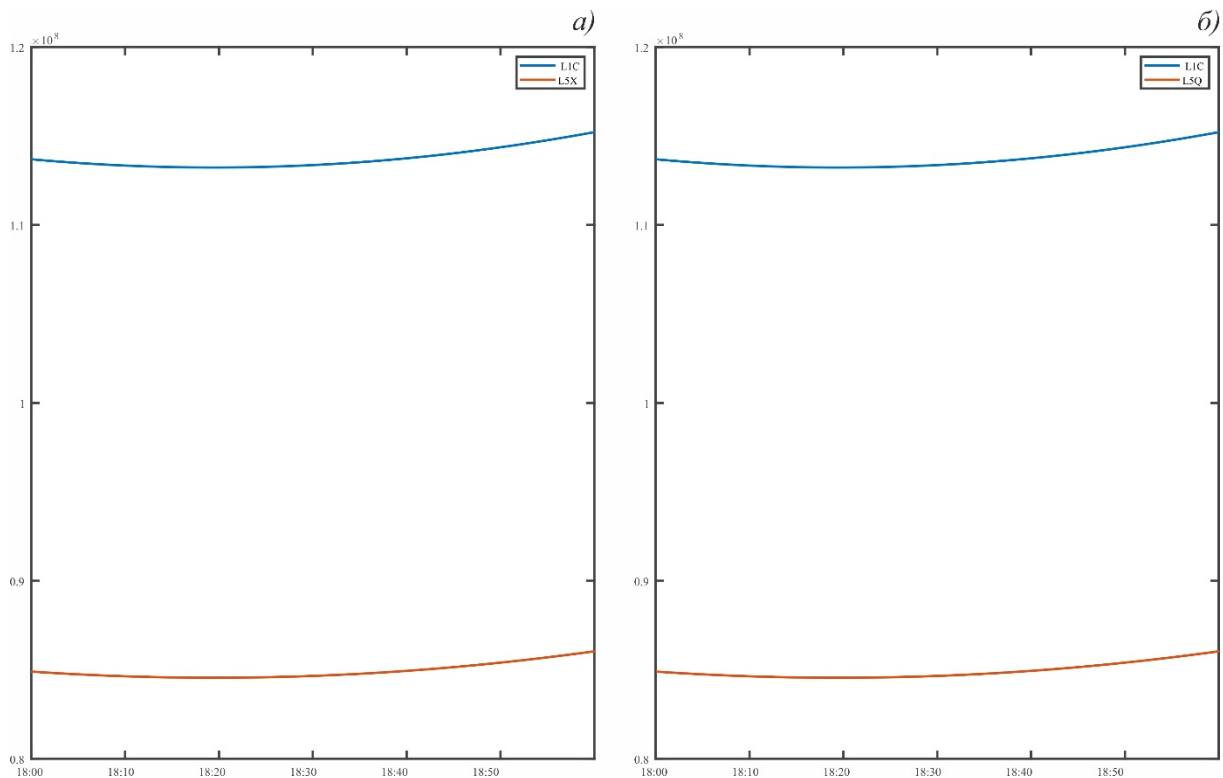


Рис. 2. Измерения фазы на частотах L1 и L5 для спутника G08. Данные (L1C - синяя, L5X – красная линия соответственно) записанные ГНСС приемником TrimbleAlloy станция IGS KZN2 (а); данные (L1C – синяя, L5Q – красная линия соответственно) записанные смартфоном XiaomiMi 8 (б).

На рис. 3 представлено отношение сигнал/шум для данных спутника G08 (а – KZN2TrimbleAlloy; б – XiaomiMi 8). Медианное значение с/ш на L1 для KZN2 – 48,4 ДБГц, на L5 – 52,2 ДБГц. Аналогичные параметры на XiaomiMi 8 – 39 и 42,1 ДБГц соответственно. Разница составляет ~24% в обоих случаях.

Далее был выполнен расчет относительного наклонного ПЭС (*slantTEC* или *sTEC* в англоязычной литературе) для лучей G08-KZN2 (рис. 2а) и G08 - XiaomiMi 8 (рис. 2б) в интервале 18:00-19:00 UTC и выделены вариации ПЭС, представленные на рис. 2в и рис. 2г для станции KZN2 и смартфона XiaomiMi 8 соответственно. Для выделения вариаций ПЭС из исходного ряда наклонного ПЭС сначала удалялся тренд, выделенный полиномом 6-ой степени, а после полученные значения были отфильтрованы с помощью скользящего среднего (с окном равным 601 с). Полученные результаты представлены на рис. 4.

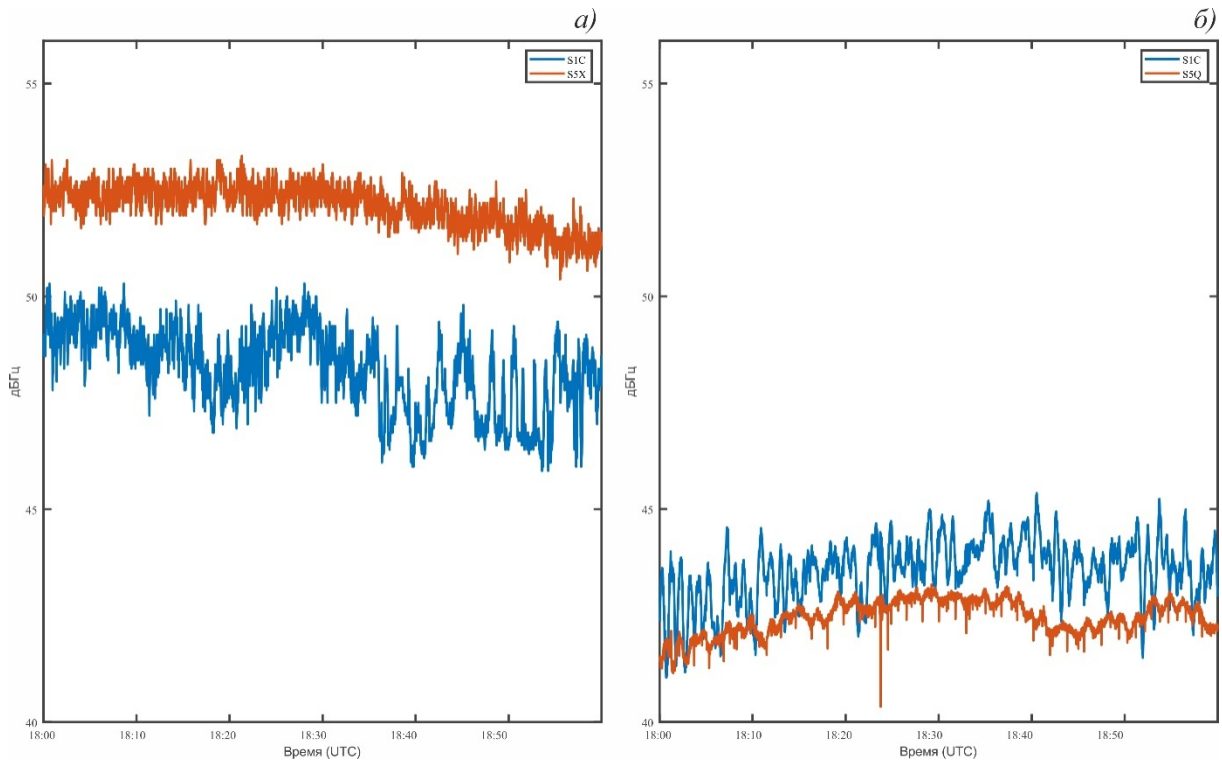


Рис. 3. Отношение сигнал/шум на частотах L1 и L5 для спутника G08. Панели, а и б аналогично рис. 2

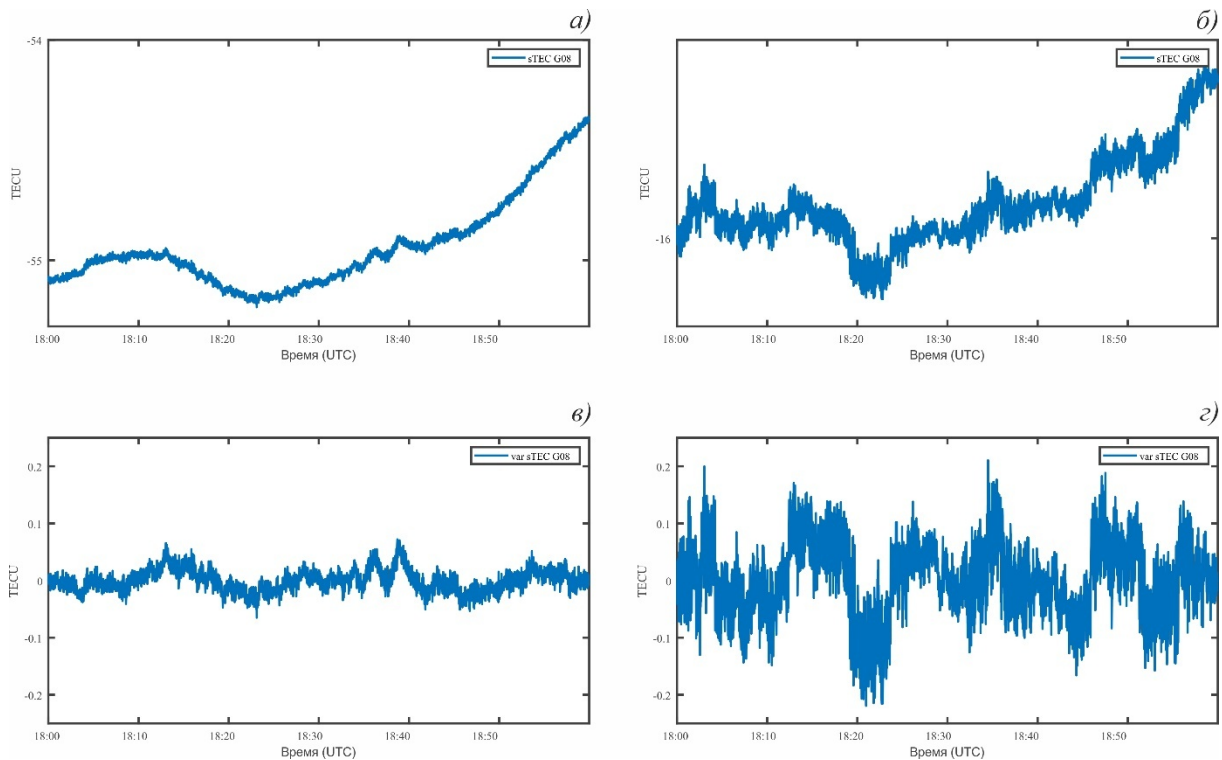


Рис. 4. Относительный наклонный ПЭС и вариации ПЭС для луча. а, в - G08 - KZN2; б, г - G08 - XiaomiMi 8.

На рис. 5-6 представлены результаты расчета параметров ROT (ROT – TheRateofTEC) и ROTI (ROTI – TheRateofTECIndex) по данным спутника G08. Данные параметры были рассчитаны по следующим формулам:

$$ROT(t) = \frac{sTEC(t + \Delta t) - sTEC(t)}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $sTEC$ – значение наклонного ПЭС в момент времени t , $\Delta t = 1$ минута

$$ROTI(t) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |ROT(t) - \overline{ROT}|^2}, \quad (2)$$

где \overline{ROT} – среднее значение ROT за 5 минутный интервал, N – объем выборки.

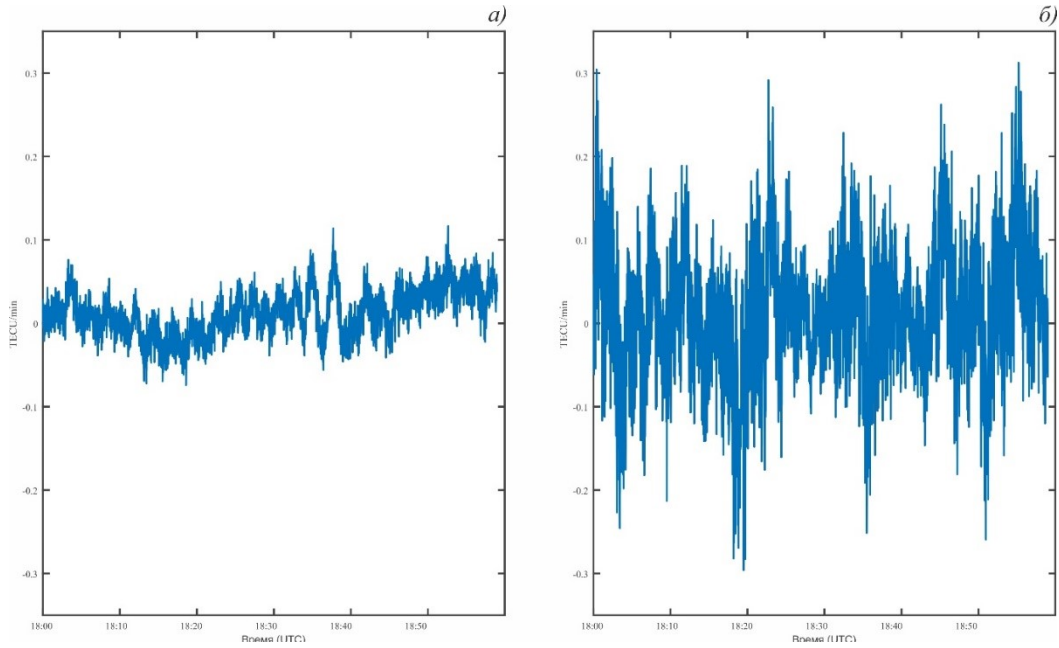


Рис. 5. Изменение параметра ROT. Панели, а и б аналогично рис. 2.

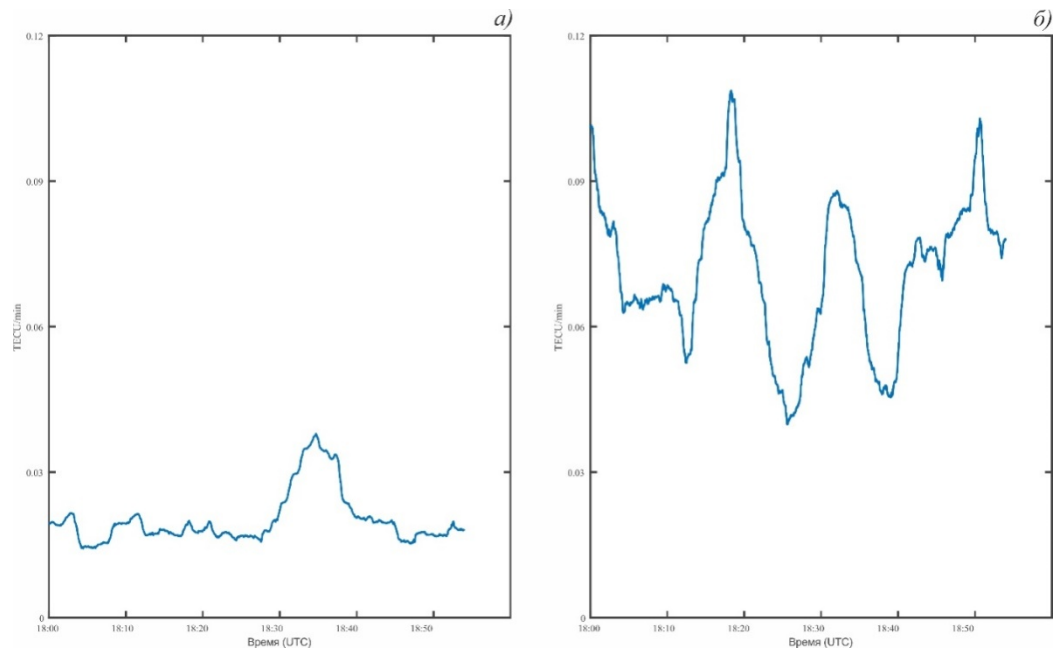


Рис. 6. Изменение параметра ROTI. Панели, а и б аналогично рис. 2.

Заключение

В работе выполнена запись данных ГНСС радиозондирования при помощи смартфона, оснащенного двухчастотным ГНСС модулем. На основе данных фазовых и псевдодальномерных измерений на частотах L1, L5; отношений сигнал/шум на частотах L1, L5; измерений относительного наклонного ПЭС и его вариаций; измерений параметров ROT и ROTI проведен сравнительный анализ с аналогичными синхронно записанными данными, полученными на станции KZN2, входящей в мировую сеть IGS.

Установлено, что медианное значение отношения сигнал/шум на частотах L1, L5 для данных полученных от спутника G08 на смартфоне Xiaomi Mi 8 на ~24% ниже, чем для станции KZN2. В целом же отношение сигнал/шум для смартфона всегда на $\sim 3 \div 10$ ДБГц ниже, чем для геодезических приемников и слабо зависит от угла возвышения спутника, что также согласуется с результатами сравнительного анализа, проведенного в работе [11]. Вариации ПЭС, параметры ROT и ROTI зарегистрированные с помощью смартфона, имеют более высокое отношение сигнал/шум по сравнению с данными станции KZN2, оснащенной профессиональным ГНСС приемником Trimble Alloy с прецизионной ГНСС антенной со стабильным фазовым центром, в отличие от антенны в смартфоне. Однако, использование даже простейших методов цифровой фильтрации вполне позволяет использовать данные измерений ПЭС (и других индексов оценки ионосферной возмущенности, вычисляемых на его основе) полученные на смартфонах с двухчастотным ГНСС модулем в качестве компактного устройства регистрации ионосферных возмущений. Перспективным также представляется возможность использования таких устройств в научно-популярных и научно-методических целях для знакомства аудитории с современным состоянием исследований атмосферы Земли с помощью сигналов ГНСС.

Для более полной оценки возможностей смартфонов с двухчастотным ГНСС модулем в ионосферных исследованиях требуется проведение дальнейших измерений с использованием данных различных моделей смартфонов и накопление большей выборки данных. Рост количества смартфонов, оснащенных подобными модулями открывает большие перспективы для ионосферного мониторинга, так как в настоящий момент смартфон является одним из наиболее массовых устройств на планете и возможность его использования в качестве доступного инструмента для оперативной регистрации ПЭС позволит привлечь как можно более широкое сообщество как профессионалов, так и любителей для сбора ГНСС данных.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 19-72-00072).

Литература

1. RawGNSSMeasurements [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.android.com/guide/topics/sensors/gnss>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. англ. (дата обращения 19.01.2021).
2. Third-GenerationGNSSLocationHubwithDualFrequencySupport [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.broadcom.com/products/wireless/gnss-gps-socs/bcm47755>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. англ. (дата обращения 19.01.2021).
3. Håkansson M. Characterization of GNSS observations from a Nexus 9 Android tablet. *GPS Solut* 23, 21 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-018-0818-7>
4. Humphreys T. E., Murrian M., Diggelen F. van, Podshivalov S. and Pesyna K. M. On the feasibility of cm-accurate positioning via a smartphone's antenna and GNSS chip / 2016

IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS), Savannah, GA, 2016, pp. 232-242, doi: 10.1109/PLANS.2016.7479707.

5. Wu, Q.; Sun, M.; Zhou, C.; Zhang, P. Precise Point Positioning Using Dual-Frequency GNSS Observations on Smartphone. *Sensors* 2019, *19*, 2189. doi: 10.3390/s19092189

6. Fortunato, M.; Ravanelli, M.; Mazzoni, A. Real-Time Geophysical Applications with Android GNSS Raw Measurements. *Remote Sens.* 2019, *11*, 2113. doi: 10.3390/rs11182113

7. KZN200RUS SiteInformation [Электронный ресурс]. – <https://www.igs.org/imaps/station.php?id=KZN200RUS>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. англ. (дата обращения 19.01.2021).

8. TrimbleAlloyGNSSReferenceReceiver[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trimble.com/Real-Time-Networks/Trimble-Alloy.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. англ. (дата обращения 19.01.2021).

9. RINEX 3.03 ReleaseNotes [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://kb.igs.org/hc/en-us/articles/206482558-RINEX-3-03-Release-Notes>, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. англ. (дата обращения 19.01.2021).

10. Приложение Geo++ RINEXLogger [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.geopp.rinexlogger&hl>.

11. Guo, Lei; Wang, Fuhong; Sang, Jizhang; Lin, Xiaohu; Gong, Xuewen; Zhang, Wanwei. 2020. "Characteristics Analysis of Raw Multi-GNSS Measurement from Xiaomi Mi 8 and Positioning Performance Improvement with L5/E5 Frequency in an Urban Environment" *Remote Sens.* 12, no. 4: 744.doi:10.3390/rs12040744