

Анализ мощности сигналов ГНСС в период проведения экспериментов по воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением УНУ стенд СУРА

Д.А. Когогин¹, Д. С. Максимов¹, И. А. Насыров¹, Р. В. Загретдинов¹, А. В. Соколов¹, А. В. Шиндин², С. М. Грач²

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18.

E-mail: denis.kogogin@gmail.com

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

В работе представлены результаты измерений мощности навигационных сигналов для лучей спутник-приемник пересекающих диаграмму направленности УНУ стенд Сура в период проведения экспериментов по воздействию на ионосферу мощным радиоизлучением в октябре 2021 года. Отличительная особенность проведенных измерений заключается в организации специализированной диагностической сети ГНСС-станций, развернутых в окрестности УНУ стенд Сура в период проведения экспериментов на базе ГНСС приемников оригинальной разработки. Установлено, что значимых изменений уровня мощности, принимаемых ГНСС сигналов, пересекающих возмущенную область ионосферы, стимулированную воздействием мощного радиоизлучения УНУ стенд Сура в данной серии экспериментов не зарегистрировано. Ключевые слова: ГНСС, ПЭС, ионосфера, дистанционное зондирование, стенд Сура

Analysis of the power of GNSS signals during the experiments on the impact on the ionosphere by powerful radio emission of SURA facility

D.A. Kogogin¹, D.S. Maksimov¹, I.A. Nasyrov¹, R.V. Zagretdinov¹, A.V. Sokolov¹, A.V. Shindin², S.M. Grach¹

¹ Kazan Federal University.

² Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod

The report presents the results of measurements of the carrier to noise ratio in dBHz of navigation signals for the line of sight between a GNSS site and a satellite crossing the radiation pattern of the Sura facility during the experiments in the HF-pumped Ionosphere produced in October 2021. A distinctive feature of the measurements carried out is the organization of a specialized diagnostic network of GNSS stations deployed in the vicinity of the Sura facility during the experiments based on GNSS receivers of the original design. It was found that no significant changes in the power level of the received GNSS signals crossing the disturbed region of the ionosphere stimulated by the influence of powerful radio emission from the Sura facility were recorded in this series of experiments. Keywords: GNSS, TEC, ionosphere, remote sensing, u-blox, ZED, Sura facility

Введение

Исследование влияния различных гео-гелиофизических процессов на стабильность функционирования космического и наземного сегмента ГНСС систем в настоящий момент является актуальной задачей [1].

В тоже время исследование влияния контролируемых источников воздействия на ионосферу с помощью «нагревательных» установок, подобных УНУ стенд Сура до

настоящего времени детально не исследовалось. В тоже время в литературе описано достаточно большое количество физических явлений, наблюдаемых при воздействии на ионосферу мощными радиоволнами [2].

С точки зрения исследования стабильности функционирования ГНСС систем можно отметить недавно проведенное исследование влияния воздействия на ионосферу мощным радиоизлучением стенда Сура на точность позиционирования в различных режимах, рассмотренную в работе [3].

Принимая во внимание, то что УНУ стенд Сура в 2020-2021 году прошел модернизацию [4], что позволило несколько повысить мощность излучения волны накачки и улучшить некоторые другие характеристики данной установки, в первых экспериментах проведенных после описанных выше работ, в августе- октябре 2021 года, авторы работы решили исследовать влияние воздействия мощного радиоизлучения стенда Сура на мощностные показатели принимаемых навигационных спутников, прошедших через возмущенную область. Для анализа были использованы данные специально размещенных для эксперимента ГНСС станций, на основе ГНСС приемников оригинальной разработки [5].

Организация эксперимента

11, 12 и 14 октября на стенде «Сура» были проведены измерения полного электронного содержания (далее ПЭС) и мощности навигационных сигналов с помощью сети ГНСС станций, состоящей из пяти мобильных ГНСС приемников оригинальной разработки [5,6], на основе платы simpleRTK2B, оснащенной многосистемным многочастотным ГНСС модулем u-blox ZED-F9P. Важным достоинством разработанного приемника является то, что при использовании антенны, способной принимать сигналы навигационных спутников во всем частотном диапазоне (1176–1610 МГц) основных ГНСС созвездий GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou мы имеем возможность регистрации данных с более сорока спутников в каждый момент времени, что существенно расширяет диагностические возможности метода ГНСС радиозондирования.

Географические координаты развернутых мобильных ГНСС станций: 1) NN (56.34 с.ш., 43.87 в.д.); 2) NZN (55.97 с.ш., 45.74 в.д.); 3) PUST (55.66 с.ш., 43.63 в.д.); 4) BB (55.93 с.ш., 48.77 в.д.); 5) IBR (55.31 с.ш., 47.02 в.д.). В дополнение к развернутым мобильным приемным пунктам регистрация параметров навигационных сигналов осуществлялась с помощью стационарно расположенного в непосредственной близости от антенного поля стенда Сура профессионального ГНСС приемника Prego-T (56.15 с.ш., 46.10 в.д.). Общая схема расположения ГНСС-станций и ориентация проекции ДН стенда Сура на высоте 250 км представлена на рис.1. В таблице 1. приведена сводная информация основных параметров эксперимента, включающая в себя интервал, частоту и режим излучения волны накачки, а также интервал пролета спутника над ДН, определенный на основе расчета траекторий движения подыоносферных точек для каждой из станций сети по всем доступным спутникам.

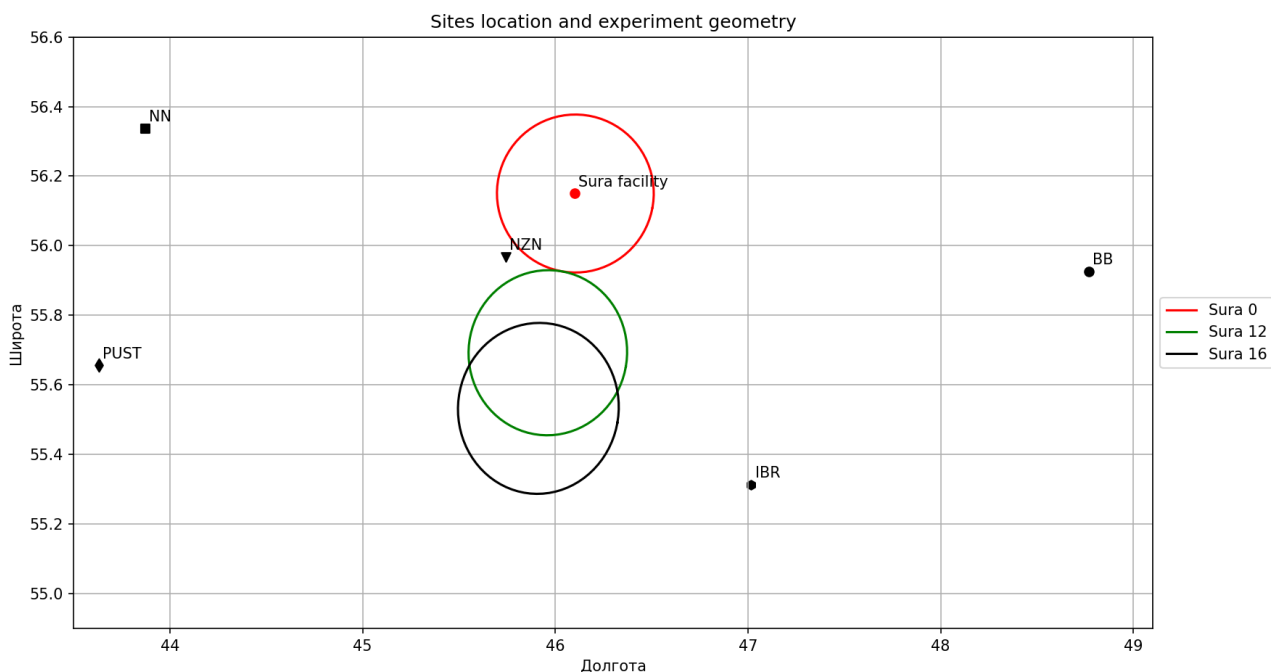


Рис. 1. Общая схема расположения ГНСС-станций и проекция ориентации ДН стэнда Сура на высоте 250 км при различных наклонах на ЮГ (вертикаль (красный круг) – 12.10.2021 и 14.10.2021, наклон на 12 градусов (зеленый круг). - 14.10.2021, наклон на 16 градусов (черный круг) – 11.10.2021)

Таблица 1. Сводная информация параметров экспериментов 11-14 октября 2021 года на УНУ стэнд Сура

День	Интервалы излучения волны накачки (время МСК)	Режим излучения волны накачки	Ориентация ДН УНУ стэнд Сура	Интервал пролета через ДН для лучей спутник-приемник в момент работы мощных передатчиков (время МСК)
11 октября	19:08 – 19:16 19:20 – 19:28 19:38 – 19:46 19:50 – 19:58 20:30 – 20:38 20:42 – 20:50 21:16 – 21:24	4300 кГц. Х-мода. 3 передатчика.	Наклон 16 гр. на ЮГ	19:00 – 19:20 G07 Pust 19:40 – 20:01 R14 Ibr 20:11 – 20:35 G14 Prego 20:25 – 20:50 G14 NZN
12 октября	15:00 – 15:08 15:12 – 15:20 15:55 – 16:03	4300 кГц. О-мода. 3 передатчика	Вертикаль	14:54 – 15:10 R02 NN 14:57 – 15:20 G04 Prego 14:58 – 15:15 R12 NN 15:18 – 15:33 G09 BB 15:50 – 16:10 R03 Prego 15:55 – 16:05 R03 NZN 16:00 – 16:15 G04 NN
14 октября	14:54 - 15:02 15:06 - 15:14 15:38 - 15:46 15:50 - 15:58 17:03 - 17:11 17:15 - 17:23		Вертикаль	14:42 – 14:58 R04 NN 14:49 – 15:13 G04 Prego 14:50 – 15:09 R14 NN 15:10 – 15:25 G09 BB 15:36 – 15:55 R05 Prego 15:39 – 15:53 R05 NZN 15:53 – 16:06 G04 NN
			Наклон 12 гр. на ЮГ	17:08 – 17:23 R06 Ibr

Обработка экспериментальных данных

На всех ГНСС станциях, представленных на рис. 1 в период проведения экспериментов, осуществлялась запись двухчастотных фазовых измерений, для последующего расчета относительного наклонного ПЭС и параметров на его основе по стандартным методикам. Три станции из пяти также осуществляли регистрацию мощности навигационных сигналов – это станции ВВ, Ibr и приемник Prego-T. Частота регистрации описанных данных на станциях Prego, NZN, PUST составляла 1 Гц, на станции NN 2 Гц, на станциях ВВ и IBR 10 Гц. На рис. 2 представлены траектории движения подыоносферных точек для лучей навигационный спутник – ГНСС станция. Верхняя панель рис. 2 (11 октября) лучи G14 - Prego-T и R14 – Ibr. Средняя панель рис. 2 (12 октября) лучи G04 - Prego-T и G09 – ВВ. Нижняя панель (14 октября) лучи G04 - Prego-T; R06 – Ibr; G09 – ВВ.

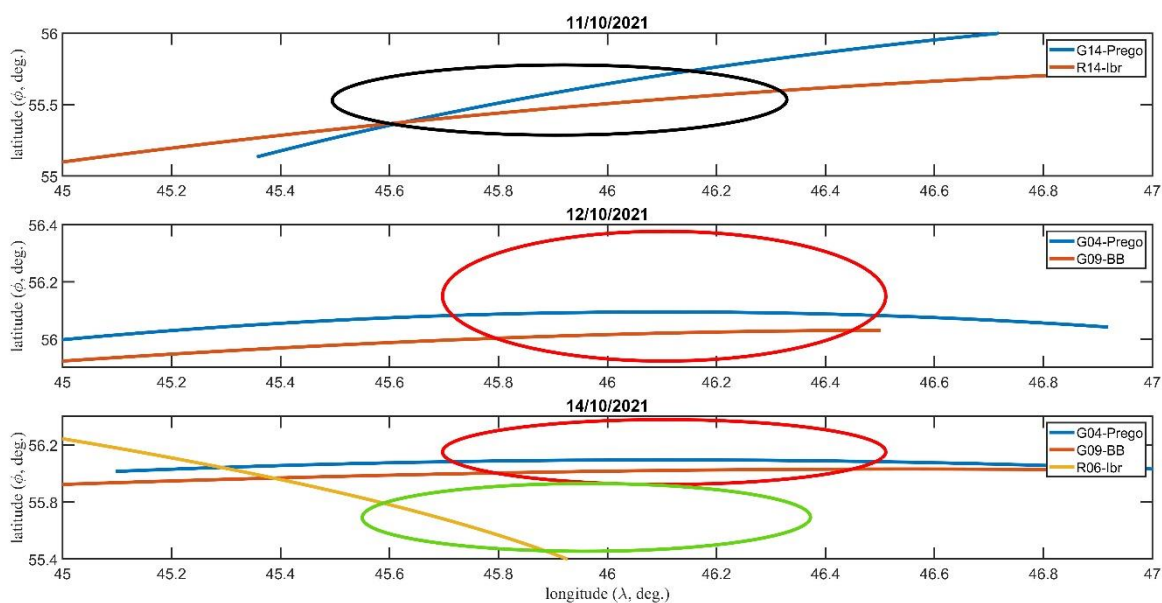


Рис. 2 Траектории движения подыоносферных точек для лучей спутник-приемник: 11 октября (верхняя панель) – G14 - Prego-T; R14 – Ibr; 12 октября (средняя панель) – G04 - Prego-T; G09 – ВВ; 14 октября (нижняя панель) – G04 - Prego-T; R06 – Ibr; G09 – ВВ. Красным эллипсом обозначено проекция ДН стенда Сура

Обсуждение результатов

На рис. 3 представлены результаты измерений мощности навигационных сигналов в период проведения экспериментов по воздействию на ионосферу мощным наземным радиоизлучением, проведенные в период 11-14 октября 2021 года на УНУ стенд Сура. Из данных представленных на рис. 3 следует, что значимых изменений уровня мощности принимаемых ГНСС сигналов, пересекающих возмущенную область ионосферы, стимулированную воздействием мощного радиоизлучения стенда Сура в данной серии экспериментов не зарегистрировано. Здесь следует отметить, что на ГНСС модуле u-blox ZED-F9P поддерживается запись мощности принимаемого сигнала только в целочисленном виде и выделить большее количество бит для хранения данных этого параметра невозможно, что несколько ограничивает нас в оценки наблюдаемых эффектов, обусловленных воздействием мощного радиоизлучения.

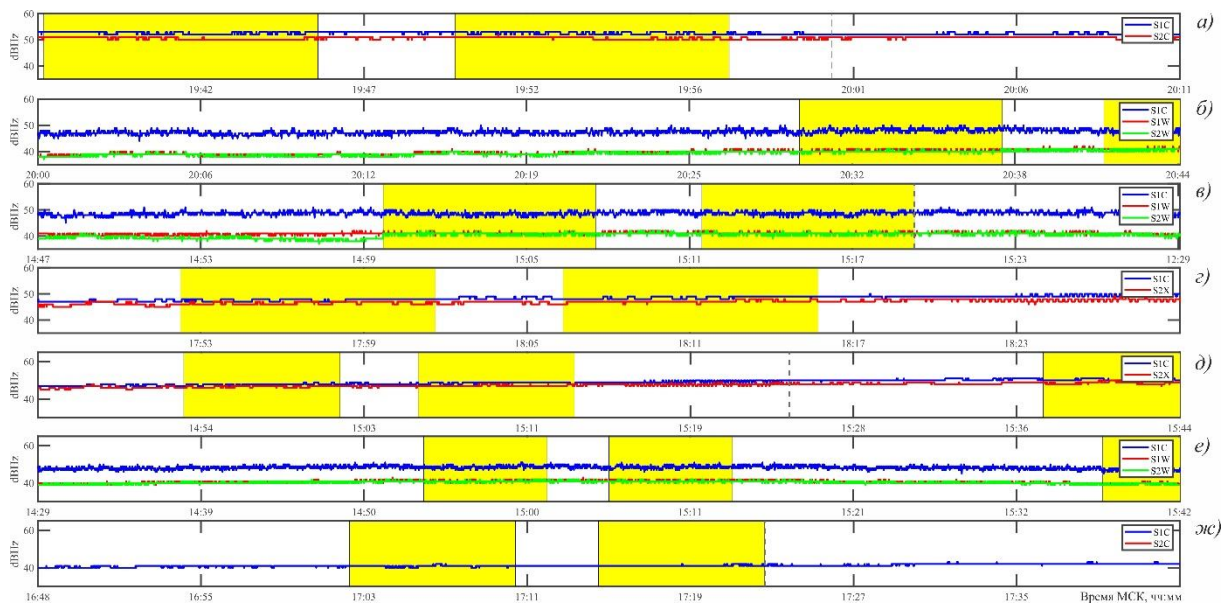


Рис. 3 Графики изменения мощности навигационных сигналов в период проведения экспериментов 11-14 октября 2021 года на УНУ стенд Сура: а) R14 – Ibr 11.10.2021; б) G14 - Prego-T 11.10.2021; в) G04 - Prego-T 12.10.2021; г) G09 – BB 12.10.2021; д) G09 – BB 14.10.2021; е) G04 - Prego-T 14.10.2021; ж) R06 – Ibr 14.10.2021. Время МСК. Единица измерения мощности сигнала дБГц. Желтыми прямоугольниками на панелях отмечены интервалы излучения волны накачки

Заключение

Полученные результаты показывают, что использование ГНСС приемников оригинальной разработки, на базе модуля u-blox ZED-F9P в качестве бюджетного решения для организации приемного, в том числе мобильного, пункта регистрации данных о мощности сигнала, ПЭС и др. параметров рассчитываемых на основе ПЭС является целесообразным, особенно в зонах с низкой плотностью покрытия ГНСС-станциями и в регионах, где развитие коммерческих геодезических сетей, является нецелесообразным с точки зрения экономических условий. В серии экспериментов, проведенных на стенде Сура в октябре 2021 года не удалось установить влияния воздействия мощного радиоизлучения стенда Сура на регистрируемый уровень мощности навигационных сигналов. Данное исследование будет продолжено в следующих экспериментальных компаниях. Стоит отметить, что расширение сети ГНСС-станций, обладающих возможностью записи данных о мощности навигационных сигналов, откроет возможность построения карт пространственно-временной динамики мощности ГНСС сигналов, аналогично тому, как сейчас строятся глобальные/региональные карты ПЭС/ вариаций ПЭС.

Анализ и интерпретация экспериментальных данных, включая подготовку текста доклада выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 21-72-00043, <https://rscf.ru/project/21-72-00043/>. Сбор экспериментальных данных осуществлен при финансовой поддержке гранта РФФ № 21-72-10131.

Литература

1. Демьянов В.В., Ясюкевич Ю.В. Космическая погода: факторы риска для глобальных навигационных спутниковых систем // Солнечно-земная физика. 2021. Т. 7. № 2. С. 30 – 52.

2. Гуревич А.В. Нелинейные явления в ионосфере // Успехи физ. наук. 2007. Т. 177, № 11. С. 1145–1177.
3. Ясюкевич Ю.В., Сыроватский С.В., Падохин А.М. и др. Точность позиционирования GPS в различных режимах при активном воздействии на ионосферу мощным коротковолновым излучением нагревного стенда «Сура» // Изв. вузов. Радиофизика. 2019. Т. 62, № 12. С. 906–919.
4. Shindin, A.V. SURA heating facility: 40 years of active ionospheric experiments, studying the atmosphere and near-Earth space // 2021 34th General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science, URSI GASS 2021.
5. Kogogin D.A. Nasyrov I.A., Sokolov A.V. et. al. Capacities of TEC measurements by the low-cost GNSS receiver based on the u-blox ZED-F9P for ionospheric research // 2021 Russian Open Scientific Conference on Modern Problems of Remote Sensing, Radar, Wave Propagation and Diffraction, - MPRSRWPD 2021 - 1991 (1). - 012020.
6. СВИДЕТЕЛЬСТВО о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022612868 Программы для ЭВМ «Программа регистрации ГНСС данных для модуля u-blox ZED-F9P» Авторы: Соколов А.В., Когогин Д.А.; дата поступления 10.02.22; дата гос. регистрации 01.03.22.