

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.48-52

ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯНИЕ КОТОРЫХ МОГЛО ОБУСЛОВИТЬ ОШИБКИ В РАБОТЕ GPS В ПЕРИОД ВОЕННЫХ УЧЕНИЙ НАТО «TRIDENT JUNCTURE» С 25/10/2018 ПО 7/11/2018

Б.В. Козелов¹, С.А. Черноус¹, И.И. Шагимурагов², М.В. Филатов¹, И.И. Ефишов²,
Н.Ю. Тепеницина², Ю.В. Федоренко¹, С.В. Пильгаев¹

¹ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

²ФГБУН ИЗМИРАН, Калининградский филиал

Аннотация. Крупнейшие маневры НАТО со времен холодной войны под кодовым названием «Трайдент юнктер» (United Trident) проводились на территории Евроарктики с 25 октября по 7 ноября 2018 года. Солдаты из 32 стран принимали участие в маневрах на территории Норвегии, в Балтийском море и Северной Атлантике. Как сообщали различные источники, во время учений были отмечены нарушения работы Глобальной системы позиционирования (GPS). В этой работе мы представляем, какой отклик эти события нашли в официальной прессе Финляндии, Норвегии, Швеции и России. Даем объяснение почему эти сбои могли быть вызваны непредсказуемыми естественными гелиогеофизическими факторами. Для анализа были использованы данные полученные сети GPS в западной части Арктики и субарктической зоне от Нью-Олесунна до Апатитов и Калининграда. Проводим оценку отклонений позиционирования во время учений.

Введение

Крупнейшие со времен холодной войны учения НАТО Trident Juncture (Единый трезубец) проходили на территории Норвегии с 25 октября по 7 ноября. В маневрах на территории Норвегии, в Балтийском море и Северной Атлантике, а также в воздушном пространстве Швеции и Финляндии принимали участие военнослужащие из 32 стран, включая украинцев, финнов и шведов. Как отмечают различные источники [1-3], в период учений были отмечены нарушения в работе системы позиционирования GPS. Интересно проследить, какой отклик нашли эти события в Финляндии, Норвегии и России.

Отражение вопроса в СМИ

Согласно опубликованному заявлению, премьер-министра Финляндии Юха Сиппиля [1-3] в интервью финской национальной вещательной компании YLE он утверждал, что «Перебои в работе системы глобального позиционирования на севере Финляндии произошли из-за некоего воздействия, возможно, со стороны России». Финские власти продолжили расследование помех в системе GPS во время учений. МИД Финляндии считает достоверными сведения, полученные от Норвегии, согласно которым вмешательство в работу GPS велось со стороны России, но не сообщает технических подробностей дела. Факт перебоев в работе GPS подтверждается существованием так называемых НОТАМ (NOTAM - notice to airmen). Это система текстовых извещений об изменениях в состоянии воздушного пространства и навигации, которые распространяют различные организации, причастные к воздушному движению. Такие сообщения, помогают пилотам узнать об изменениях в обстановке по маршруту следования их воздушного судна. 6 ноября 2018 года аэронавигационная служба Финляндии действительно распространила НОТАМ, который действовал до конца 7 ноября и в котором говорилось о нестабильной работе системы GPS к северу от 67-го градуса северной широты и к востоку от 25-го градуса восточной долготы. Поскольку НОТАМ представляет собой короткое сообщение, в нем не раскрывались детали и характер перебоев в работе навигационной службы. Финские власти не говорят, какого рода проблемы возникали у летчиков в указанном районе и что означает термин "нестабильная" работа.

13 ноября 2018 года в Минобороны Норвегии заявили агентству Ассошиэйтед пресс, что "осведомлены в том, что помехи были зафиксированы в период с 16 октября по 7 ноября и что они были вызваны действиями российских военных на Кольском полуострове" [2].

Норвежская региональная авиакомпания Widerøe также сообщала, что ее пилоты испытывали проблемы с GPS-навигацией. В одном случае это происходило в районе города Киркинес (69.72N, 30.04E), неподалеку от российской границы. В период проведения учений также распространялся НОТАМ о блокировке сигнала GPS в районе города Тронхейм (63.43N 10.39E), рядом с которым проходили маневры. В этом НОТАМе не только напрямую указывалось то, что источником блокировки являются военные, но также сообщались координаты

района блокировки. В другом сообщении говорится: «Проблемы с GPS происходили во время проведения масштабных учений НАТО в Норвегии, и области, в которых они были зафиксированы, находились вблизи российских границ с Финляндией и Норвегией».

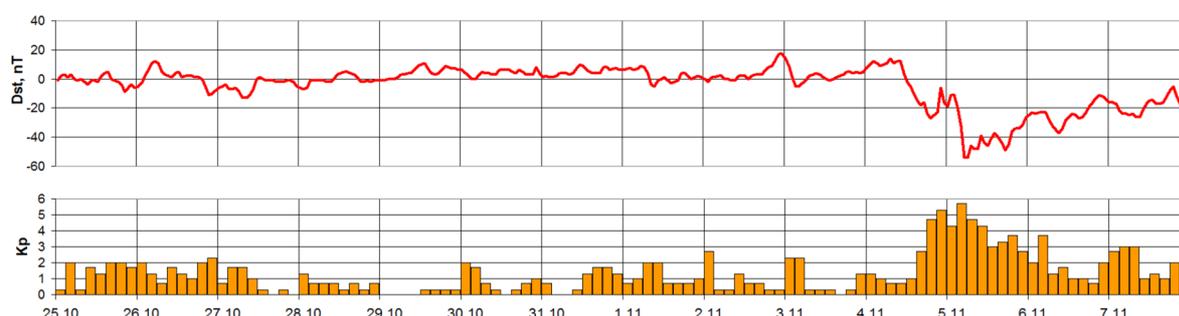


Рисунок 1. Планетарные индексы геомагнитной активности Dst (верхняя часть рисунка) и Kp (нижняя часть рисунка) за период учений с 25 октября по 7 ноября 2018 г.

Военный эксперт из России полковник запаса Виктор Мураховский в интервью Би-би-си сообщил, что в России существуют системы, способные подавлять сигнал GPS, не только наземного, но и воздушного базирования, но их воздействие ограничено условиями прямой видимости. Он пояснил, что тот факт, что блокировка охватывала обширную территорию и, в частности в отдалении от российских границ (например, Тронхейм), указывает на то, что источник помех находился не в России, так как мощность излучения падает прямо пропорционально квадрату расстояния до приемника. По его словам, в случае, когда речь идет о летательных аппаратах, которые во время полета находятся в зоне прямой видимости от источника помех, то дистанция может увеличиваться до ~100 километров.

Другой источник, военный обозреватель «Газеты.Ру» полковник запаса Михаил Ходаренок разбирался с деталями этого инцидента: «Что касается возможных сбоев функционирования системы GPS на учениях НАТО «Единый трезубец», то вполне возможно, что в ходе этих мероприятий были допущены нарушения в сфере электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств участников маневров». Это означает, что была разрешена работа некоторых РЭС вооруженных сил государств-участников НАТО на частотах, создающих помехи GPS, что в итоге и привело к возможным сбоям в работе системы. То есть, прежде чем обвинять Россию, надо тщательно разобраться с вопросами электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств участников учений «Единый трезубец».

Все эти объяснения, очевидно, в какой-то своей части справедливы, однако никто из цитируемых авторов не удостоил своим вниманием естественные природные причины, определяющие распространение радиоволн в Арктике. Это в первую очередь особенности гелиогеофизической обстановки в период учений и состояния полярной ионосферы.

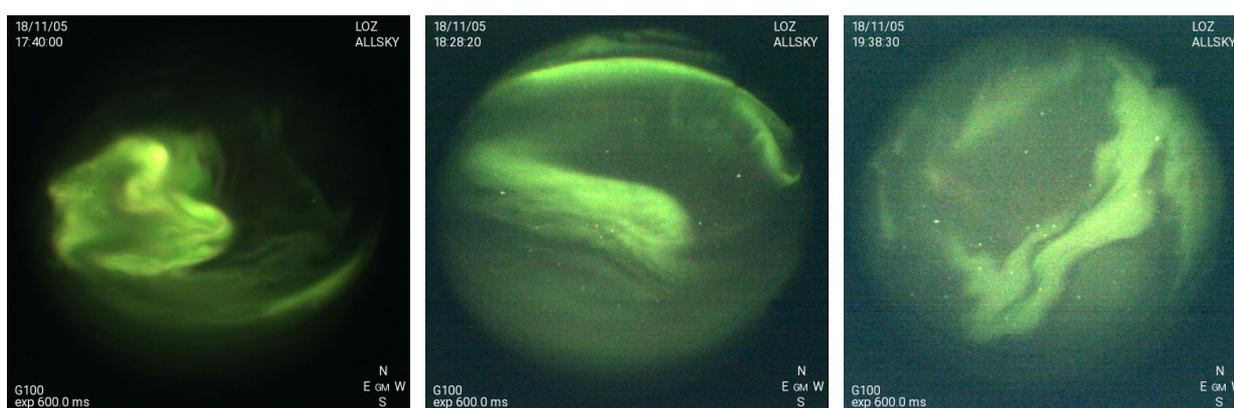


Рисунок 2. Примеры полярных сияний 5 ноября 2018 г.

Гелиогеофизическая обстановка и состояние ионосферы

На рис. 1 приведены индексы вариаций геомагнитного поля в период учений, и по ним можно видеть, что максимальные возмущения пришлись на интервал 4-6 ноября. Именно при таких возмущениях происходит нарушения в работе GPS [4-9].

Наиболее ярко связь геофизических возмущений и нарушений в работе GPS проявляется в наблюдениях оптических полярных сияний [4, 6, 8-12]. В данный период полярные сияния были зафиксированы авроральными камерами Полярного геофизического института, например, в обсерватории Ловозеро (рис. 2).

Согласно ранее полученным результатам [4-12], в периоды высокой геомагнитной активности происходят нарушения в работе GPS, в частности, флуктуации фазовых задержек при прохождении навигационных сигналов через полярную ионосферу, которые влияют на точность позиционирования.

Эти задержки могут быть обусловлены изменениями полного электронного содержания (ПЭС или TEC - total electron content) во времени и в пространстве, то есть неоднородностями и флуктуациями ПЭС. Фазовые флуктуации GPS сигналов проявляются как вариации полного электронного содержания ионосферы (TEC-Total Electron Content) на трассе спутник-приёмник и определяются как скорость изменения TEC вдоль пролёта спутника (ROT-Rate Of TEC). ROT определяется как изменение TEC на 1 минутном интервале ($TECU\ 1TECU=10^{16}\ \text{electron/m}^2$). В свою очередь интенсивность флуктуаций оценивается индексом ROTI [13]. По параметрам фазовых флуктуаций спутниковых сигналов изменения ПЭС могут быть восстановлены и используются для определения качества приема навигационных сигналов [5]. При полном отсутствии флуктуаций и неоднородностей ПЭС спутниковые навигационные сигналы без искажений достигают наземных GPS приемников, в то время как неоднородности создают задержки этих сигналов и, в конечном счете, увеличивают погрешности позиционирования, вплоть до нарушения целостности системы [6, 9]. Работы по исследованию этого явления интенсивно проводятся в ряде институтов России. В частности, в нескольких работах показано, что дискретные формы полярных сияний могут быть индикатором возмущений в полярной ионосфере и развития неоднородностей ПЭС.

Таким образом, если мы сравним временные ряды индекса вариаций ROT и временные ряды интервалов потерь, интервалов блокировки и перебоев в приеме сигнала, и получим хорошее соответствие этих рядов в период учений НАТО, то станет очевидно, что нарушения в работе GPS определялись естественными гелиогеофизическими возмущениями и состоянием полярной ионосферы в данном секторе Арктики.

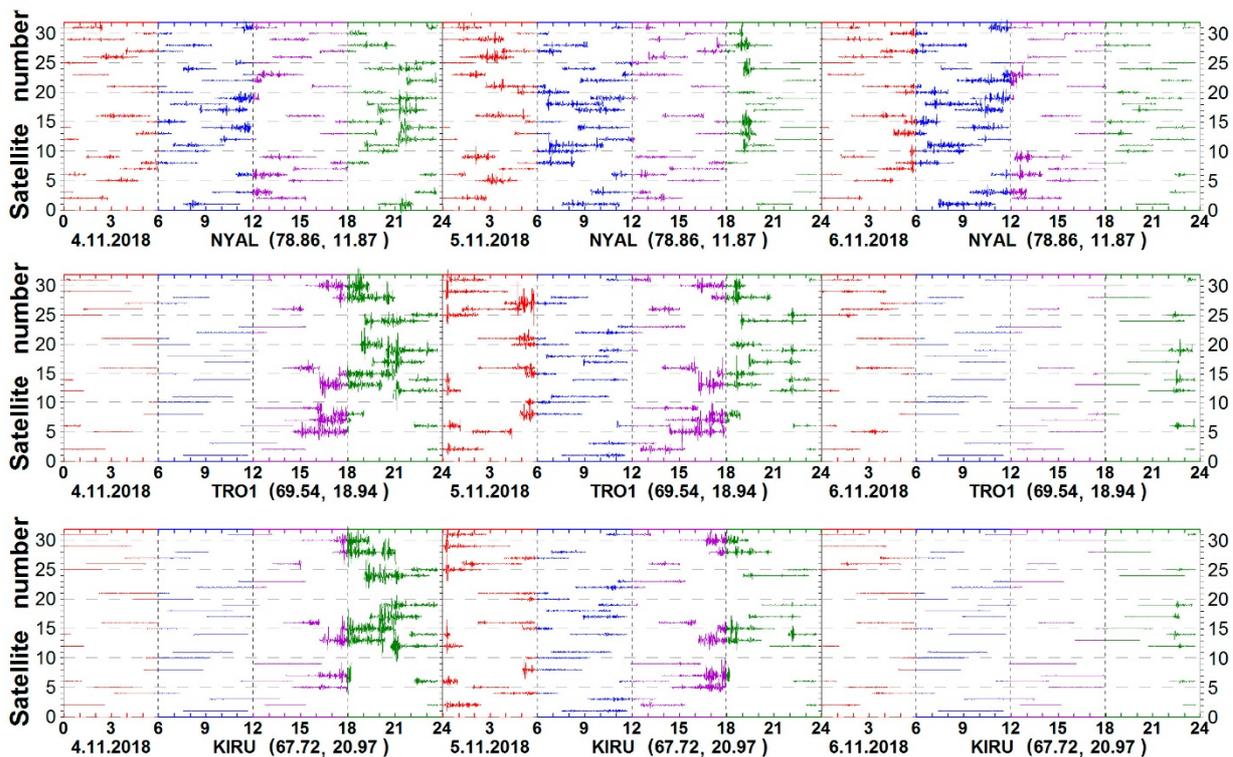


Рисунок 3. Вариации ROT при пролете отдельных высокоорбитальных спутников по данным станций Нью Алезунд (78.86N 11.87E), Тромсё (69.54N 18.94E) и Кируна (67.72N 20.97E) в период магнитной бури 4-6 ноября 2018 г.

Из рис. 3 видно, что флуктуации ПЭС (ROT), полученные на трех полярных станциях в районе проведения учений (временные ряды ROT для каждого спутника системы) показывают, что указанные возмущения были способны вызвать сбои и другие нарушения в системах GPS навигации в период бури 4-6 ноября 2018 г. и совпадают по времени появления с геомагнитной активностью (рост Kp индекса) и обычно связанными с ней полярными сияниями.

Для оценки влияния фазовых флуктуаций на ошибки позиционирования был использован алгоритм высокоточного позиционирования для конкретной станции, получивший название Precise Point Positioning (PPP). Метод основан на стратегии обработки GPS наблюдений одного приёмника, который позволяет эффективно определять с высокой точностью координаты потребителя. Для расчёта ошибок использовалась программа GIPSY (<http://apps.gdgps.net>). В процессе определялись 3-D ошибки позиционирования как детрендрованные координаты от средних значений (X_0, Y_0, Z_0) на каждую эпоху:

$$P_{3D}(i) = \sqrt{(x(i) - x_0)^2 + (y(i) - y_0)^2 + (z(i) - z_0)^2}.$$

Сбои и ошибки в работе навигационных систем на этих же станциях отдельно представлены на рис. 4. На этом же рисунке представлены данные ROTI, в отличие от рис. 3, полученные не по измерениям сигналов отдельных спутников системы, а по измерениям сигналов от трех, выбранных на меридиане Баренц-региона станций (Нью-Алезунд, Тромсё и Кируна). Несомненно, это именно те интервалы времени, когда могли происходить сбои в районе учений НАТО.

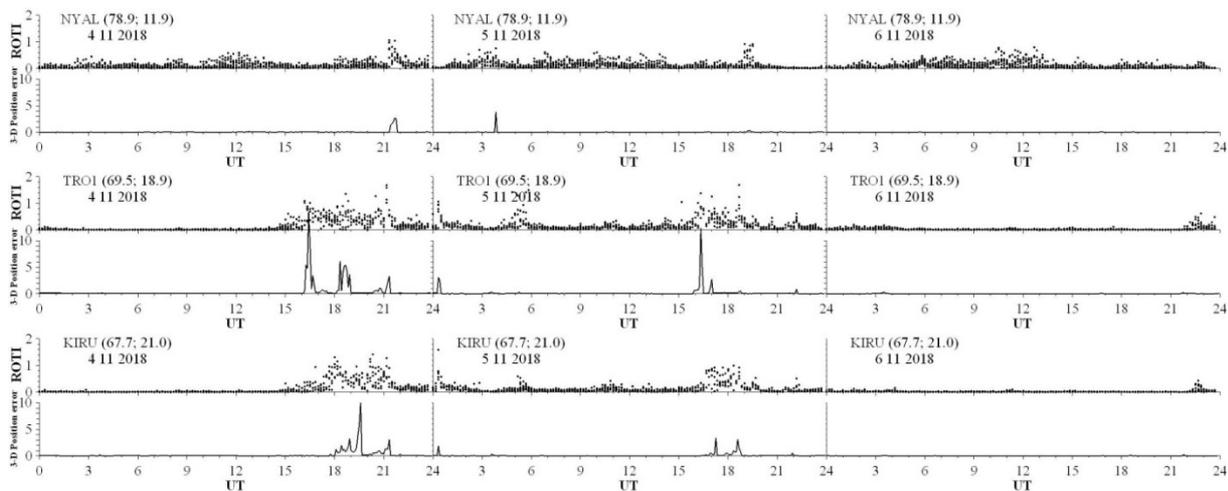


Рисунок 4. Сбои и ошибки в работе навигационных систем 4-6 ноября 2018 г. и данные вертикального ROTI, полученные не по измерениям сигналов отдельных спутников системы, а по измерениям спутниковых сигналов трех, выбранных на меридиане станций.

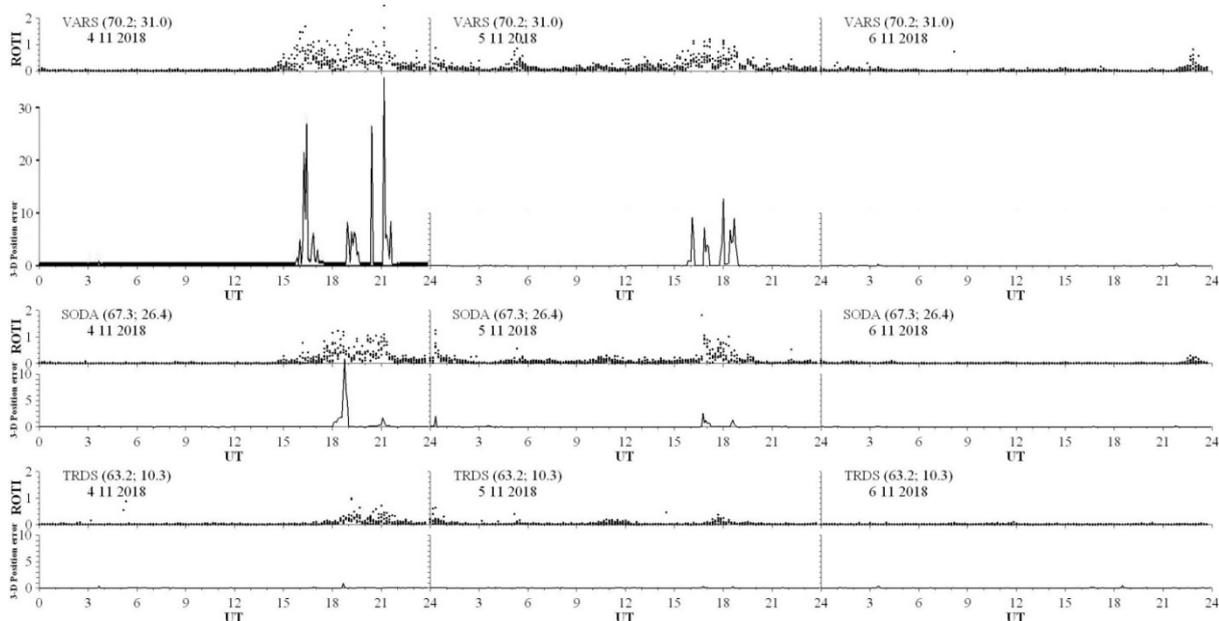


Рисунок 5. Ошибки и сбои приема сигнала, происходившие в районе российско-финской границы в районе Киркенеса (VARS70.2N 31.0E), Соданкуола (SODA 67.3N 26.3E) и в районе Тронхейма (TRDS 63.2N 10.3E).

В начале статьи было сказано, что нет полных данных о том, где и когда имели место сбои в работе GPS или потери навигационных сигналов. Однако в ряде сообщений промелькнули заметки о том, что сбои

происходили в районе российско-финской границы, в районе Киркенеса, и в районе Тронхейма. Поэтому мы привлекли данные ROTI на станциях Соданкюла (Финляндия) и на станциях вблизи Тронхейма и Киркенеса (Норвегия).

Из приведенных на рис. 5 кривых даже не специалисту можно увидеть, когда именно могут происходить сбои в приеме навигационных сигналов. В эту магнитную бурю, как следует из представленных на рисунках 3-5 графиков, нарушения в приеме навигационных сигналов имели место, в основном, в ночное время суток, когда авроральный овал, состоящий из дискретных форм сияний, расширяется и сдвигается к экватору. Очевидно, что 4 и 5 ноября наблюдаются максимальные по амплитуде и длительности флуктуации TEC и погрешности позиционирования в то время, как 6 ноября они затухают, оставляя лишь отдельные выбросы. В возмущенный период погрешность позиционирования увеличилась почти на два порядка по сравнению со спокойными условиями, что могло вызвать нарушение функционирования навигационной системы GPS. Если сравнить временной ход этих возмущений с ходом геомагнитной активности на рис. 1, то можно увидеть подобие этих кривых. Однако следует отметить, что вариации не обязательно синхронны на разнесенных станциях (например, Нью-Алезунд, Соданкюла или Кируна). Это естественно, ведь в районах этих станций могут иметь место локальные различия изменения полного электронного содержания в полярной ионосфере, индикатором которых являются полярные сияния и геомагнитные вариации.

Вывод

Особенности гелиогеофизической обстановки в период учений НАТО «Трайидент юнктер» позволяют сделать заключение, что нарушение функционирования навигационной системы GPS, о которых сообщали различные источники, могли быть вызваны естественными гелиогеофизическими факторами: гелиогеофизическими возмущениями и состоянием полярной ионосферы в данном секторе Арктики.

Благодарности. Авторы благодарят за поддержку гранты РФФИ № 17-45-510341 p_a (Федоренко Ю.В., Филатов М.В.) и № 19-05-00570 А (Шагимуратов И.И.) За предоставленные данные авторы благодарят GNSS сеть EUREF(14) и обсерваторию Ловозеро.

Литература

1. «Финляндия подозревает Россию в создании помех GPS. Возможно ли это?» // <https://rus.postimees.ee/6452168/finlyandiya-podozrevaet-rossiyu-v-sozdanii-pomeh-gps-vozmozhno-li-eto>.
2. Павел Аксенов Норвегия и Финляндия винят Россию в создании помех GPS. Возможно ли это? // Би-би-си 14 ноября 2018, <https://rus.postimees.ee/6452168/finlyandiya-podozrevaet-rossiyu-v-sozdanii-pomeh-gps-vozmozhno-li-eto>.
3. Георгий Мосалов, Анастасия Румянцева «Не готовы к экстремальной ситуации»: в России ответили на обвинения Норвегии в создании помех для GPS во время учений // «Сегодня», 14 ноября 2018, 11:21.
4. Aarons J., Lin B., Mendillo M., Liou K. et al. GPS phase fluctuations and ultraviolet images from the Polar satellite // *J. Geophys. Res.* 2000. Vol. 105. № A3. P. 5201.
5. Афраймович Э., Первалова Н. П. GPS мониторинг верхней атмосферы Земли // Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСИЦ СО РАМН, 2006.
6. Chernouss S. A., Kalitenkov N. V. The dependence of GPS positioning deviation on auroral activity // *Inter. J. Remote Sensing.* 2011. Vol. 32. № 1. P. 3005.
7. Shagimuratov I., Chernouss S., Efishov I. et al. Conjugate and inter-hemispheric occurrence of GPS TEC fluctuations in high latitude ionosphere // *Physics of Auroral Phenomena. Proc. XXXIII Annual Sem. Apatity.* 2011. P. 151.
8. Smith A.M., Mitchell C.N., Watson R.J., Meggs R.W. et al. GPS scintillation in the high Arctic associated with an auroral arc // *Space Weather.* 2008. № 6. S03D01.
9. Калитенков Н.В., Калитенков А.Н., Милкин В.И., Терещенко Е.Д., Черноус С.А. Способ определения местоположения объекта // Патент на изобретение № 2484494 ФИПС. 2013. С. 1-10.
10. Chernous S.A., Shvets M.V., Filatov M.V., Shagimuratov I.I., Kalitenkov N.V. Studying navigation signal singularities during auroral disturbances // *Russian Journal of Physical Chemistry B.* 2015. Vol. 9. No. 5, PP. 778–784. Pleiades Publishing. Ltd. 2015. (Химфизика. 2015.)
11. Филатов М.В., Швец М.В., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Черноус С.А. Полярные сияния как индикатор устойчивости сигнала GPS-приемника // *Труды Кольского научного центра. Гелиогеофизика.* 2015. №1. С.93-100.
12. Филатов М.В., Швец М.В., Черноус С.А. Особенности приема навигационных сигналов на Шпицбергене в условиях развития полярных сияний // *Труды Кольского научного центра. Гелиогеофизика.* 2016. №2. С.84-90.
13. Pi X., Mannucci A.J., Lindqwister U.J., Ho C.M. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS Network // *Geophys. Res. Lett.* 1997. Vol. 24. PP. 2283–2286. DOI:10.1029/97GL02273.
14. <http://www.epncb.oma.be,ftp://epncb.eu>