

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ИОНОСФЕРЫ И ОШИБКИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НАЗЕМНОГО НАВИГАЦИОННОГО ПРИЁМНИКА ПРИ ВЗРЫВЕ ЧЕЛЯБИНСКОГО (ЧЕБАРКУЛЬСКОГО) МЕТЕОРОИДА 15.02.2013 Г.

А.В.Тертышников, В.В.Алпатов, Я.В.Глухов, Д.В.Давиденко

Представлены результаты диагностики ионосферной задержки сигналов КА GPS над регионом падения Челябинского (Чебаркульского) метеороида.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТЕОРОИД, МЕТЕОРИТ, БОЛИД, МЕТЕОРИТНАЯ ОПАСНОСТЬ, РИСКИ, ВЗРЫВ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, МОНИТОРИНГ, НАБЛЮДЕНИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, ПРЕДИКТОРЫ.

ВВЕДЕНИЕ

Ежесуточно на землю падает более 100 небесных тел, а в год – более 30 тысяч. Из них фиксируется всего 10-20. Европейские страховые компании для коррекции страховых рисков учитывают максимумы почти сотни метеорных потоков, фиксируемых в течение года [1, 2]. Резонансные события с крупным ущербом от падений крупных космических объектов типа Челябинского (Чебаркульского) метеороида 15.02.2013 г. фиксируются примерно раз в 10-30 лет.

Земной поверхности достигают крупные космические объекты – метеориты, метеороиды и астероиды. Астероиды – это космические объекты диаметром более 30 м. Космические объекты меньшего размера называют метеороидами.

Железо-каменный метеоритный дождь из осколков метеороида рассеивается на площади в десятки и сотни квадратных километров. Особую опасность представляет воздушная ударная волна от пролетающего со скоростью 10-30 км/с взрывающегося метеороида.

По различным оценкам масса Челябинского метеороида, вторгшегося в атмосферу Земли 15.02.2013 г., оценивалась до 11000 т. Диаметр оценивался в 17-18 м, плотность $\sim 3,6$ г/см³.

Космическое тело двигалось на азимут 290° под углом к горизонту около 20°. Мощность взрыва составила по разным оценкам 20-500 кт, скорость входа в атмосферу 13,4-19,6 км/с. Высота разрушения оценивалась в 32,5-46,7 км. На этих высотах динамическое

давление на метеороид было сравнимо с прочностью вещества. Высота высвобождения основной энергии составила ~ 25 км, через 32,5 с после вхождения в атмосферу 15.02.2013 г. в 03:20:33 по мировому времени (UTC) с координатами 54,8° с.ш., 61,1° в.д (местное время=UTC+6).

По составу космическое тело представляло собой хондрит с примесью металлического железа, оливина, и сульфитов.

В энергию ударной волны перешло около 30% кинетической энергии метеороида. На удалении до 100 км от взрыва ударная волна вызвала частичные разрушения. Ущерб от падения метеорита в районе Челябинска составил более миллиарда рублей. Впоследствии за медицинской помощью обратилось почти полторы тысячи человек. Психологические эффекты у переживших падение метеоритов были сходны с эффектами после крупных ЧС. Были выявлены последствия взрыва в биосфере, флоре и фауне. Обсуждались также угрозы бактериологических последствий взрыва метеороида.

Эффекты от падения метеороида проявились во всех геосферах.

ТЕХНОЛОГИЯ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛОВ КА ГЛОНАСС/GPS

Для мониторинга ионосферы с целью обеспечения радиосвязи и навигации, геодезических измерений, информационного обеспечения сельского хозяйства, здравоохранения используются технологии:

1. Наклонного зондирования ионосферы;
2. Наземного и спутникового радиозондирования ионосферы;
3. Зондирования на основе сигналов навигационных спутниковых систем;
4. Томографии ионосферы;
5. Многочастотного зондирования с гео-стационарных космических аппаратов (ГКА).

В первой группе технологий зондирования ионосферы в России используется редкая сеть наземных станций наклонного зондирования ионосферы. Для второй группы необходима система наземных ионозондов и ионозонды на отечественных КА. Зарубежным аналогом этого направления является развитие американской сети современных цифровых ионозондов, в том числе создание новой «Сети ионозондов XXI века (Диназонд 21)» [3]. В третьей, четвертой и пятой группе для зондирования ионосферы используется просвечивание атмосферы сигналами навигационных КА (НКА) и ГКА [4] и требуется достаточно плотная сеть приемных станций для диагностики морфологии возмущений атмосферы.

В свою очередь, на основе длительных наблюдений и коррекции ионосферных и тропосферных ошибок в характеристиках сигналов НКА и ГКА возможна диагностика тенденций в характеристиках позиционирования реперных пунктов с приемными антенными устройствами и оценка их смещений (геодвижений).

Особенностью методов просвечивания ионосферы сигналами НКА и ГКА является изменение характеристик радиосигналов со спутников в ионосфере и в тропосфере из-за уменьшения фазовой скорости радиоволн, поляризации молекул водяного пара в магнитном поле Земли [3].

Набег фазы при распространении сигнала НКА в неидеальной среде определяется протяженностью траектории распространения сигнала L между приемником и передатчиком и коэффициентом преломления среды n [4, 5]:

$$\varphi = \frac{2\pi f}{c} \int_0^L n_l dl + \varphi_0 \quad (1)$$

где, φ – набег фазы для рабочей частоты f сигнала, n_l – коэффициент преломления сигнала вдоль трассы прохождения сигнала, φ_0 – некоторая неизвестная начальная фаза сигнала, c – скорость света.

В ионосфере, если пренебречь малым влиянием соударений частиц среды и магнитного поля [3]:

$$n_l^{ионосф} \approx 1 - \frac{40,308n_e}{f^2} \quad (2)$$

где n_e – локальная концентрация электронов.

GPS/ГЛОНАСС(Galileo) техника реализует одновременно измерения групповых и фазовых задержек сигналов на нескольких частотах. Для GPS это псевдодальность $L_1(\lambda_1)$ на частоте 1,575 ГГц и $L_2(\lambda_2)$ на частоте 1,228 ГГц:

$$\begin{aligned} L_1 &= \rho' - I_1 + \lambda_1 N_1 \\ L_2 &= \rho' - I_2 + \lambda_2 N_2 \\ P_1 &= \rho' - I_1 + c \cdot (\delta_{п1} t_{п1} + \delta t_{c1}) \\ P_2 &= \rho' - I_2 + c \cdot (\delta_{п2} t_{п2} + \delta t_{c2}) \end{aligned}$$

где ρ' включает в себя геометрическое расстояние между приемником и НКА, $I_{1,2}$ – задержки в тропосфере-ионосфере и другие частотно-независимые задержки, $\lambda_1 N_1$ и $\lambda_2 N_2$ – неизвестные начальные фазы сигналов на рабочих частотах f_1 и f_2 , c – скорость света, $\delta t_{c1,2}$ и $\delta t_{п1,2}$ – инструментальные задержки сигналов в аппаратуре спутника и приемника (аппаратурная задержка при переключении частот может достигать до 30 наносекунд).

Дифференциальная задержка двух сигналов пропорциональна полному электронному содержанию ионосферы (ПЭС): $\Delta L = \Delta I + B$, $\Delta P = \Delta I + \delta$, где ΔI – дифференциальная ионосферная задержка (в которую, обычно, включают и тропосферную задержку), B – неизвестная начальная фаза, δ – неизвестная аппаратурная задержка.

Формально уравнения для групповых и фазовых измерений имеют одинаковый вид, и ионосферная задержка может быть определена с точностью до неизвестной поправки. Инструментальная задержка мало меняется на временах более нескольких дней, в то время как начальная фаза остается постоянной на временах сеанса связи.

Абсолютное значение ПЭС определяется обычно с помощью моделей ионосферы и базовых станций выверенными приемными устройствами, высокоточными частотомерами (водородный и рубидиевый стандарты частоты). Инструментальные задержки и неизвестные фазы для каждого спутника определяются на основе сравнения с базовыми станциями и оценок, указанных в технической документации (испытаний). Грубые оценки абсолютных значений ПЭС могут быть получены на основе поправок системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ, SBAS) Глобальной навигационной системы спутников (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS, где предусмотрены ретрансляторы – ГКА.

С учетом показателей преломления радиоволн в ионосфере и тропосфере, оценок задержек принимаемых сигналов и координат при-

емника и передатчика можно диагностировать характеристики просвечиваемой среды. Это предложено реализовать в [3, 4], а также в патенте РФ № 2042129 «Ионосферный зонд» от 11.05.1993, патенте РФ на полезную модель №76462 (опубл. 20.09.2008 г.), по заявке РФ 2010105905 от 19.02.2010 г. (G01S1/32), опубл. 10.05.2010 г., на аппаратно-программный комплекс ионосферного мониторинга.

Приемник сигналов НКА настроен на прием основных рабочих частот навигационных систем и обеспечивается питанием от сети или автономного источника. Радиосигналы с НКА представляют собой промодулированную кодом несущую частоту и эфемеридную информацию. Сигналы с НКА принимаются антенными устройствами, усиливаются, фильтруются и поступают на электронную плату приемника, где сигналы усиливаются, фильтруются и преобразуются в цифровой код. Характеристики навигационных сигналов на выходе приемника представляются в бинарной форме и/или в стандартном формате RINEX.

Приемник сигналов НКА обеспечивает автоматическое непрерывное в реальном масштабе времени определение и выдачу координат антенных устройств в системах координат WGS-84, ПЗ-90. Данные представляются в геодезической проекции с текущими отсчетами времени. На длительных отрезках наблюдений по этим данным есть возможность диагностировать вариации позиционирования антенных приемных устройств с помощью стандартных статистических методов.

Для дешифрирования принимаемых приемником сигналов навигационных КА GPS/ГЛОНАСС, конвертации в установленный формат и расчета оценок ошибок навигационных измерений, обусловленных влиянием ионосферы и тропосферы, используется процессор. В стандартных навигационных приемниках на выходе обычно формируется последовательность данных, в которых могут быть рассчитанные характеристики позиционирования антенных устройств в системах координат WGS-84, ПЗ-90. При этом возможен перерасчет координат по характеристикам видимых КА, положение которых транслируется в принимаемых сигналах. Это важно, так как во многих навигационных приемниках устанавливаются ограничения на геометрию расположения КА, используемых для расчета характеристик позиционирования.

В случае одночастотного приемника качество результатов зондирования ионосферы существенно ухудшается. При этом нельзя получить качественный вертикальный профиль

распределения заряженных частиц, существенно отличающийся от распределений справочных моделей ионосферы.

Для одночастотного GPS/ГЛОНАСС-приемника (аналогично и для приема сигналов с ГКА) полное (интегральное) содержание заряженных частиц по радиолучу от приемника до НКА ($PЭС^*=I^*$) определяется выражением [5]:

$$I^* (|DNKA-DПункт|) = f_{12}(|D|-L_1 \lambda_1 + const_1 + \sigma L_1) / 40,308 \quad (4)$$

где $|D|$ – модуль вектора (псевдодальность) между приемником и передатчиком, например по высокоточному коду C/A, L_1 – число оборотов фазы по радиолучу на основной частоте f_1 принимаемого сигнала с длиной волны $\lambda_1=c/f_1$, $const_1$ и σL_1 – константы. В расчетах обычно используется модуль величины I^* . Константы оцениваются в результате экспериментов, например при сравнении с данными базовой станции СДКМ, либо с данными контрольно-поверочной станции. Константы могут задаваться в технической документации, рассчитываться с помощью модели ионосферы, по эталонным сигналам с ГКА, по данным наземных и космических ионозондов.

Псевдодальности, измеряемые одночастотными навигационными приемниками, испытывают быстрые и сильные флуктуации, не связанные с вариациями ПЭС, например, из-за автоматической подстройки часов приемника (в современных приемниках эти скачки компенсируются). Фаза несущей частоты принимаемого сигнала после удаления тренда часов приобретает аппаратный шум, превышающий возможные ионосферные флуктуации для их фильтрации. Поэтому при зондировании ионосферы с использованием одночастотных навигационных приемников целесообразно анализировать изменения характеристик принимаемых сигналов по парам-тройкам наблюдаемых КА, а лучше по сети навигационных приемников.

Для повышения точности определения ПЭС в ионосфере с помощью (4) необходимо уменьшить влияние тропосферной задержки, то есть использовать большие углы возвышения НКА. Кроме этого, целесообразно использовать среднюю аддитивную или среднюю геометрическую оценки ПЭС или их комбинации по используемым в расчетах частотам и видимым НКА.

Точность зондирования ионосферы и тропосферы по сигналам НКА повышается при использовании двухчастотных (многочастотных) навигационных приемников сигналов НКА. По фазовым измерениям на двух частотах

тах (f_1 и f_2) можно рассчитать оценку ПЭС= I_0 [5]:

$$I_0 = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot [(L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) + const + nL] \quad (5)$$

где $L_1 \lambda_1$ и $L_2 \lambda_2$ можно заменить соответствующими значениями оценок псевдодальности до КА из RINEX-сообщений – стандартной после обработки бинарных данных формы представления принятых навигационных сигналов.

В расчетах возможно комплексирование данных по фазовым измерениям и по псевдодальностям. По фазовым измерениям на трех частотах (f_1, f_2, f_3) оценки ПЭС можно рассчитывать по их комбинации. При использовании выражения (5) для дальнейших расчетов осредненных оценок ПЭС допустимо использование модулей оценок ПЭС с количеством сочетаний двух частот из трех с последующим использованием средней аддитивной или средней геометрической оценки или их комбинаций. Возможно комплексирование одно и двухчастотных оценок ПЭС для получения осредненной оценки ПЭС, данных фазовых измерений и псевдодальностей. При этом, в расчетах ПЭС в вертикальном столбе необходима коррекция на наклон видимого НКА:

$$I^{\text{зенит}}(t, \varphi, \lambda) = I_0(t, \varphi, \lambda) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{R_3}{R_3 + H_{\text{ионосф}}} \right)^2 \sin^2 \alpha} \quad (6)$$

где α – зенитный угол направления на НКА, $H_{\text{ионосф}}$ – высота ионосферного слоя, R_3 – радиус Земли, t – время, φ – широта, λ – долгота приемника.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО СИГНАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Радиотомографические разрезы ионосферы

На рис. 1 показаны восстановленные разрезы ионосферы 14.02.2013 г. вдоль траектории пролета КА, сигналы которого были использованы для решения обратной задачи восстановления профилей в регионе, охватывающем 40° ч 72° с.ш. и 36° ч 47° в.д., и временном интервале от 04.23 до 07.10 UTC. Метод радиотомографии ионосферы впервые был использо-

ван для диагностики эффектов прохождения метеорита в атмосфере.

Заметных возмущений электронной концентрации – изолиний равных значений N_e на высотах максимума слоя F2 не проявилось.

На рис. 2 показаны аналогичные восстановленные разрезы ионосферы 15.02.2013 г. по той же цепочке станций во временном интервале 06.39-07.10 UTC. То есть почти через 3 часа после взрыва метеороида.

На фоне относительно плавного хода изолиний N_e , связанных с их широтными вариациями, в диапазоне широт 51° - 57° с.ш. в модельных расчетах разрезов ионосферы проявились модуляции с длиной волны, примерно равной $1,2^\circ$ по широте.

Предполагается, что время наблюдения этих модуляций совпало с началом возмущений в действующей высоте слоя F2 – $h'F_2$.

Так как регулярный ход изолиний N_e нарушался в ограниченное время в ограниченном широтно-долготном диапазоне, можно предположить, что возмущение в ионосфере, связанное с вторжением метеорита, распространялось в виде волн, имевших вид узких, постепенно расширяющихся к западу пучков в телесном угле, составлявшем 15° - 17° . Направление их перемещения соответствовало продолжению траектории движения метеорита до момента его взрыва. Скорость перемещения можно сравнить с оценками, полученными по другим наблюдаемым параметрам.

Негативным моментом при получении представленных результатов является несовершенство использованной для восстановления разрезов технологии расчетов, в которой решается обратная и некорректная задача, а также редкая сеть использованных станций приема сигналов КА.

Зондирование возмущений ионосферы наземным навигационным приемником сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS в Екатеринбурге

Наиболее близко к месту падения метеорита находился навигационный приемник сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS в г. Екатеринбурге и приемник на станции Геофизической службы РАН «ARTU» в 135 километрах к юго-западу от Екатеринбурга. Екатеринбург находится примерно в 200 км от Челябинска (рис. 3).

Приемник в Екатеринбурге входит в сеть навигационных приемников ООО «Навгеоком».

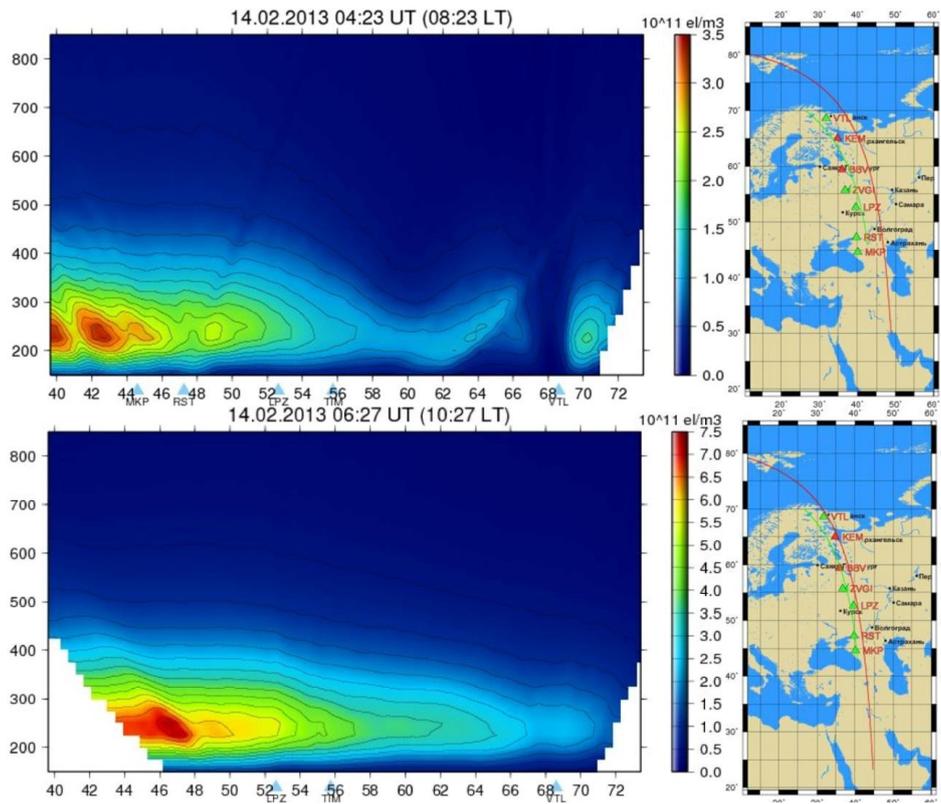


Рис. 1. Восстановленные по сигналам КА разрезы ионосферы
14. 02 2013.

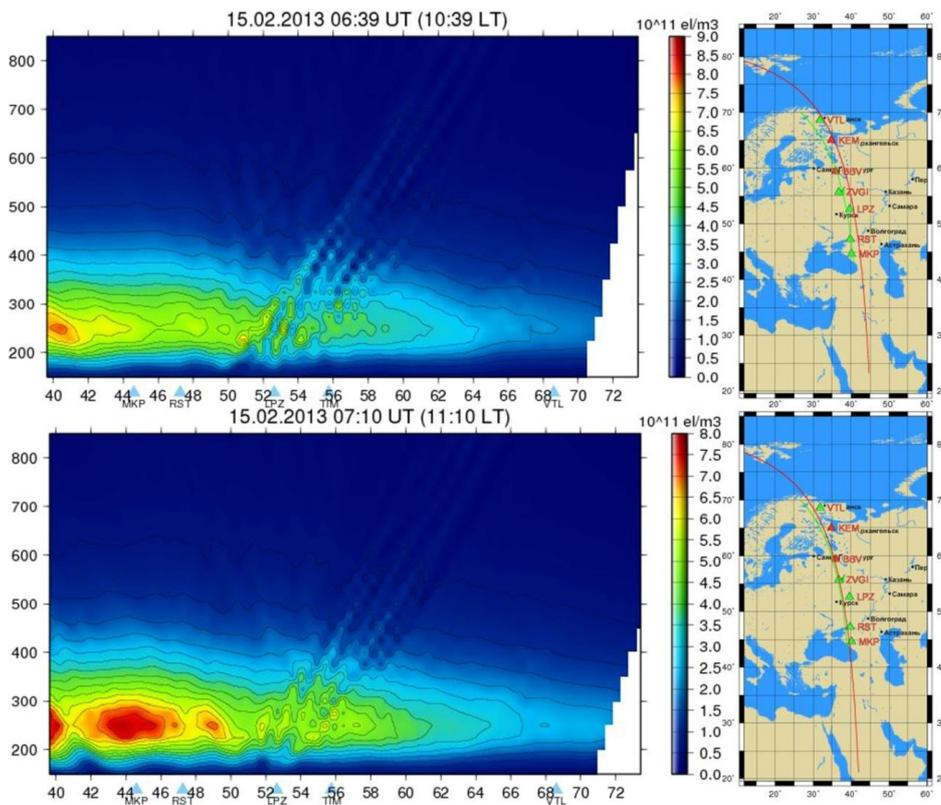


Рис. 2. Восстановленные по радиосигналам КА разрезы ионосферы
15.02.2013.

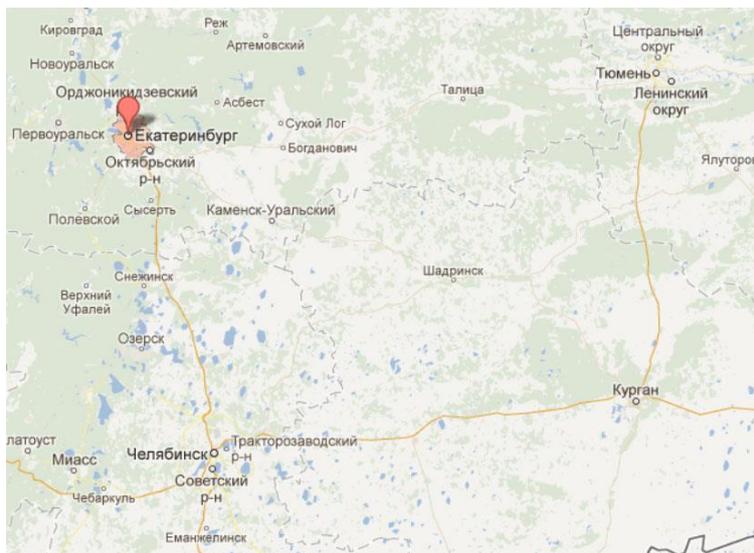


Рис. 3. Географическое расположение навигационных приёмников.

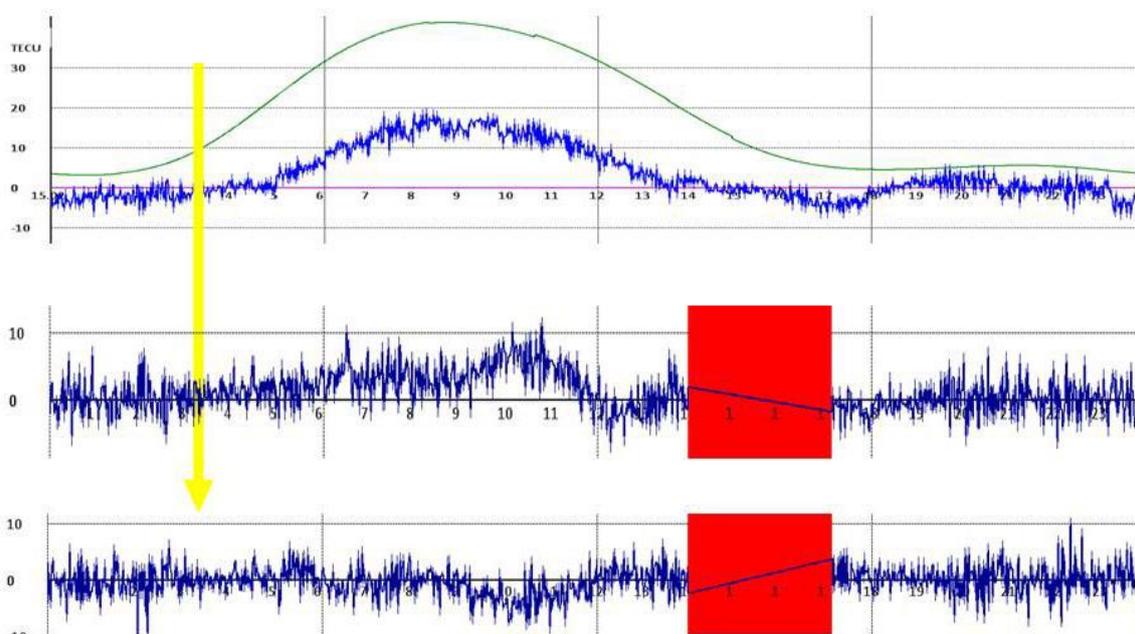


Рис. 4. Оценки полного электронного содержания в атмосфере над Екатеринбургом 15.02.2013 г. (верхний фрагмент). Зеленая линия – расчеты ПЭС по модели IRI. Синяя кривая – относительное ПЭС, рассчитанное по данным с навигационного приемника. Средний фрагмент – разность между значениями ПЭС 14-15.02.2013 г. Нижний фрагмент – разность между значениями ПЭС 13 - 14.02.2013 г. Красным цветом выделены сбои в работе приемника 14.02.2013 г.

Представления о морфологии возмущений ионосферы связаны с конусом ударных волн, формируемых метеороидом и его взрывом.

Первые возмущения ионосферы генерируются при входе в нее метеороида. Хотя возможно электромагнитное взаимодействие тела метеороида с ионосферой с уровня магнитопаузы.

При полете и взрыве метеороида произошло генерирование ударных волн. Их добежание от взрыва через 2-3 минуты до E-слоя ионосферы инициировало очередной отклик

ионосферы. Взаимодействие ударной волны с земной поверхностью сгенерировало поверхностную волну Релея, распространяющуюся на порядок быстрее, чем ударная волна в атмосфере.

Возмущения E-слоя ионосферы распространяются со скоростью 600-800 м/с. Их проявление, скорее всего, зашумлено эффектами суперпозиции добегающих возмущений ионосферы, инициированных при входе метеороида в верхнюю ионосферу. Поэтому для диагностики эффектов взрыва метеороида в ионосферных

задержках сигналов ГНСС можно ограничиться временным отрезком в первые десятки минут и обратить внимание только аномальные всплески в рассчитанных оценках ПЭС через несколько минут после взрыва.

Дешифрованные по технологии [3, 4] оценки относительных значений ПЭС в вертикальном столбе атмосферы по видимому созвездию навигационных КА ГНСС GPS с мас-

кой 10 градусов представлены на рис. 4.

Дискретность измерений составляла одну минуту.

Различная возмущенность магнитного поля (15.02 магнитное поле Земли было спокойным, а накануне слабо возмущенным, рис. 5), возможно, проявилась и в повышенных вариациях ПЭС в сутки взрыва метеорита (рис. 4).

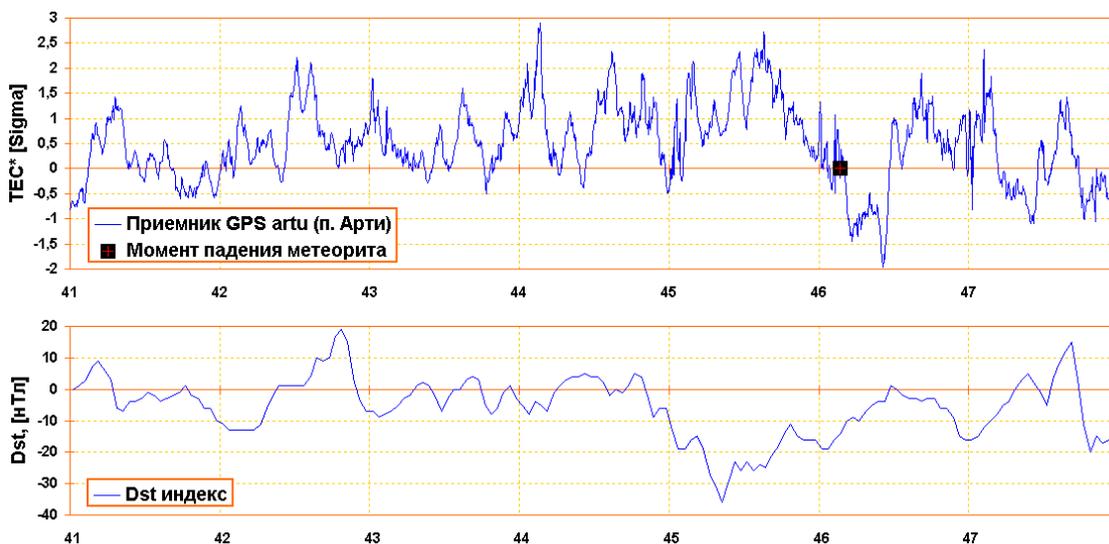


Рис. 5. Нормированные отклонения полного электронного содержания в атмосфере от фона в единицах СКО над станцией ARTU от момента падения метеорита в 46 сутки = 15.02.2013 г. На нижнем фрагменте – сопутствующие изменения Dst-индекса.

Для станции Геофизической службы РАН «ARTU», которая находится на западном склоне Уральского хребта на базе Артинской сейсмической обсерватории, результаты расчетов отклонений ПЭС в единицах среднеквадратического отклонения, рассчитанного по предыдущим 15 суткам для измерений в тот же момент времени представлены на рис. 5.

Аномальный всплеск в анализируемой характеристике проявился за 30-40 минут до взрыва, что примерно соответствует моменту пересечения магнитопаузы.

В полуденные часы достаточно очевиден эффект проседания ионосферы после взрыва.

О проседании ионосферы свидетельствуют также тенденции изменения разностей ПЭС на рис. 4 для момента 10-11 UT 14-15.02.2013 г. по сравнению с 13-14.02.2013 г. Разность вариаций ПЭС на рис. 4 между значениями 14-15.02.2013 г. по сравнению с 13-14.02.2013 г. возросла в 2 раза на отрезке времени с 6 утра до полудня.

Если бы не близость по времени эффекта прохождения терминатора, эффекты взрыва метеороида были бы четче.

Аномальные уменьшения ПЭС над Екате-

ринбургом с уровнем случайности по критерию Стьюдента менее 5 % для интервала времени в полтора часа соответствовали 8, 25 минуте после взрыва. Аномальное увеличение ПЭС началось через 33 минуты после взрыва.

При взрывах, землетрясениях, запусках тяжелых ракет во временном ходе ионосферной задержки часто диагностируются эффекты, по форме напоминающих латинскую букву N, так называемые «N-всплески» [6]. Эта искаженная фигура, но более растянутая по времени, проявилась и над Екатеринбургом на момент 3.25 UTC (рис. 5).

В динамике нормированных спектрально-временных диаграмм, рассчитанных с помощью быстрого преобразования Фурье в скользящем окне по анализируемым рядам ПЭС с шириной в 64 минуты, значимых эффектов не проявилось.

Отмечена повышенная амплитуда вариаций перед взрывом метеороида в диапазоне периодов 12, 15-19 и 23-25 минут за 40-70 минут до взрыва. Перед взрывом произошло аномальное уменьшение амплитуд для периодов вариаций ПЭС в 19-22 минуты. После взрыва повысилась амплитуда вариаций ПЭС на периодах

20 минут и 28-30 минут.

Аномальные ошибки позиционирования наземного навигационного приемника

Значимый результат в исследовании эффектов взрыва Чебаркульского метеороида связан с диагностикой оценок позиционирования

приемников сигналов ГНСС ГЛОНАСС/GPS в Екатеринбурге и Тюмени.

На рис. 6 представлены выдаваемые приемником оценки широты и долготы в Екатеринбурге 15.02.2013 г.

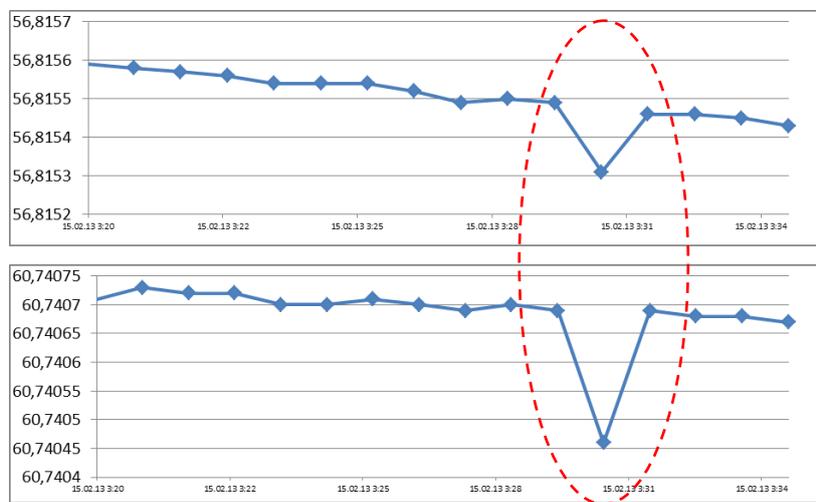


Рис. 6. Изменение широты (верхний фрагмент) и долготы навигационного приемника в Екатеринбурге 15.02.2013 г.

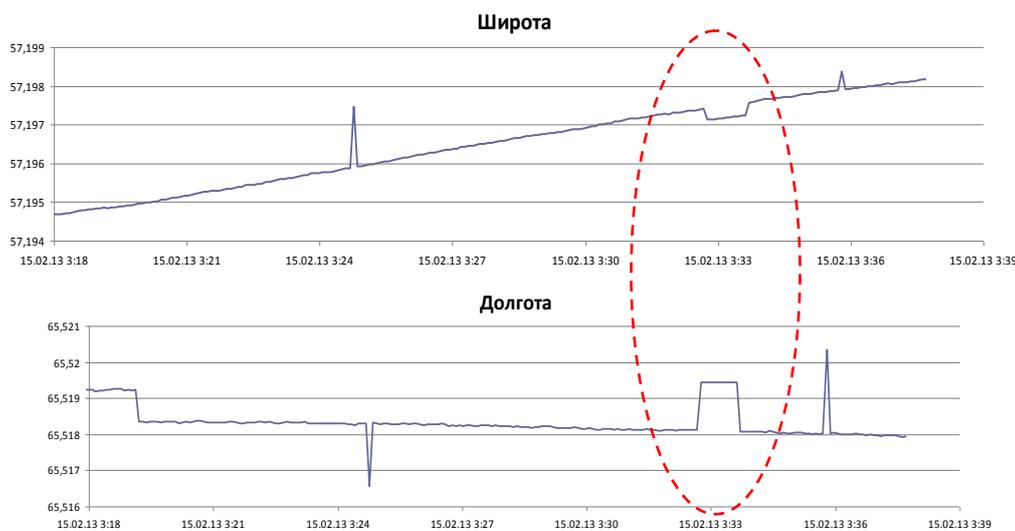


Рис. 7. Изменение рассчитанных оценок широты и долготы навигационного приемника в Тюмени 15.02.2013 г. после взрыва метеороида.

Для 30 минуты суммарные изменения достигли 16 метров, что не проявлялось сутками ранее и сутками позже и выходит за границы 99% доверительного интервала, рассчитанного с учетом суточного хода характеристик позиционирования в анализируемом отрезке времени с использованием известных критериев параметрической и непараметрической статистики.

Задержка проявления выявленных аномальных геодвижений немного отстает от времени добегания ударной волны от взрыва ме-

теороида до земной поверхности и далее от эпицентра в виде инициированной сейсмической волны (поверхностной волны Релея) с соответствующим откликом в ионосфере. Возможно, что на вариации позиционирования повлияли также произошедшие сейсмические события. Поэтому для диагностики направлений распространения эффектов взрыва дополнительно были проанализированы характеристики позиционирования сетевого приемника ООО «Навгеоком» в г. Тюмень (около 350 км от Челябинска).

На рис. 7 представлены дешифрованные данные по изменению широты и долготы навигационного приемника в Тюмени 15.02.2013 г.

На этих графиках некоторые изменения в позиционировании приемника приходятся на 32 минуту после взрыва, что при сравнении с данными по Екатеринбург предпологает распространение возмущений, вытянутых в широтном направлении, то есть вдоль траектории движения метеороида.

Существенных возмущений ПЭС на эти моменты не проявлялось.

В расчетах учитывалось сильное землетрясение произошедшее на островах Тонга 03:02:22 UTC (глубина очага 70 км). Сигналы от надземного взрыва метеорита отличается сильной поверхностной волной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки данных наблюдений за ионосферной задержкой сигналов НКА над регионом взрыва метеороида выявлены:

- небольшие возмущения ионосферной задержки сигналов навигационных КА ГНСС ГЛОНАСС/GPS;
- аномальные ошибки позиционирования наземного сетевого навигационного приемника ООО «Навгеоком», соответствующие времени добегаия поверхностной волны Релея от эпицентра ударной волны взрыва;
- узкие пучки возмущений на вертикальных разрезах ионосферы над европейской территорией России через несколько часов после взрыва;
- эффект проседания ионосферы через несколько часов после взрыва метеороида.

REGIONAL DISTURBANCES OF THE IONOSPHERE AND THE GROUND-BASED NAVIGATION POSITIONING ERRORS RECEIVER IN AN EXPLOSION OF CHELYABINSKS METEOROID (CHEBARKULSKY) AT 15.02.2013

A.V.Tertyshnikov, V.V.Alpatov, Ya.V.Gluhov, D.V.Davydenko

In this paper there are presented results of diagnostics of an ionospheric delay of signals GPS at region where meteoroid of Chelyabinsk (Tchebarkul) fell.

KEYWORDS: METEOROID, METEORITE, BOLIDE, METEORIC DANGER, RISKS, EXPLOSION, GEOPHYSICAL CONDITIONS, NATURAL HAZARDS, MONITORING, SUPERVISION, TECHNICAL MEANS, PREDICTORS

ЛИТЕРАТУРА

1. Тertyshnikov A.B. Основы мониторинга чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва-Обнинск, 2012. 278 с.
2. Тertyshnikov A.B. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Обнинск: ВИНТИ, 2012. 270 с.
3. Тertyshnikov A.B., Пулинец С.А. Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации/ Патент, 2011128236/07(041832) от 07.07.2011.
4. Тertyshnikov A.B., Большаков В.О. Технология мониторинга ионосферы с помощью приемника сигналов навигационных КА

GPS/ГЛОНАСС (Galileo) // Информация и космос, 2010, № 1. С.100-105.

5. Яковлев О.И., Павельев А.Г., Матюгов С.С. Спутниковый мониторинг Земли: Радиозатменный мониторинг атмосферы и ионосферы. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 208 с.

6. Тertyshnikov A.B. Результаты эксперимента по диагностике состояния ионосферы над Байконуром по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS – <http://vestnik.geospace.ru/index.php?id=48>