

УДК 528

Я. ЦИСАК, Я. КРЫНЬСКИЙ, Е. ЗАНИМОНСКИЙ

Институт Геодезии и Картографии, Варшава, Польша

П. ВЕЛЬГОШ

Институт Геодезии, Университет Варминьско-Мазурский, Ольштын, Польша

ВАРИАЦИИ GPS-ОЦЕНОК РАССТОЯНИЙ И КООРДИНАТ В АНТАРКТИДЕ. ИОНОСФЕРНЫЙ АСПЕКТ В НОВЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОЕКТА “ATMOSPHERIC IMPACT ON GPS OBSERVATIONS IN ANTARCTICA”

© Цисак Я., Крыньский Я., Занимонский Е., Вельгош П., 2003

Наведено огляд результатів робіт за міжнародним проектом “Atmospheric Impact on GPS Observations in Antarctica”, виконаних як на першому етапі проекту, так і останнім часом. Виконано аналіз часових рядів компонент векторів спільно з рядами параметрів іоносфери для декількох Антарктичних перманентних станцій. Показано, що використання сегментів даних, що перекриваються при отриманні результатів GPS-вимірювань, надає якісно нові можливості для досліджень.

The summary of previously obtained results as well as the discussion of recent developments within the framework of the project „Atmospheric impact on GPS observations in Antarctica” is presented. A number of time series of GPS-derived coordinates and vector components for permanent GPS stations in Antarctica, together with ionospheric data was analysed. An increase of temporal resolution of GPS solution series by processing overlapped sessions is a powerful tool for qualitative analysis, detecting biases and reducing errors in the solutions.

Введение

Геодинамические исследования переживают период расцвета. Значительный вклад в геодезическое обоснование этого научного направления вносит Аполлинарий Львович Островский своими работами по конкретным фундаментальным и прикладным вопросам, своей авторитетной убежденностью в необходимости комплексного использования различных геодезических методов для получения состоятельных теоретических и практических результатов [1]. Работы представителей Львовской геодезической школы в области рефрактометрии, наземной и спутниковой, создали основу для современных геодинамических исследований в Украине. Эти работы являются также частью международных усилий по исследованию глобальных и региональных геодинамических процессов, в том числе и на высоких широтах [2]. Антарктида, в частности, является не только интересным объектом для исследований, но и прекрасным полигоном для проверки научных идей и технических решений в области геодезии.

Международный проект – “Atmospheric Impact on GPS Observations in Antarctica” (Влияние атмосферы на GPS измерения в Антарктике) был принят на XXVI конференции SCAR в Токио в 2000 году. С самого начала приоритетным было признано исследование ионосферных эффектов. Данные GPS, получаемые с сети перманентных станций широко используются для исследования структуры и динамики ионосферы [4]. Основной задачей проекта является исследование влияния ионосферы на качество GPS наблюдений в Антарктиде и, возможно, формулирование рекомендаций для будущих измерительных кампаний, стратегии обработки данных и моделирования результатов измерений GPS. Первые результаты работ в рамках проекта были представлены на конференции AGS’01 в Санкт-Петербурге в 2001 году [5]. Они касались влияния ионосферы над

Арктикой и Антарктикой на воспроизводимость координат векторов различной длины между перманентными станциями в периоды спокойной и возмущенной ионосферы (ионосферных бурь). Были проанализированы координаты векторов, полученные в суточных и полусуточных измерительных интервалах. Наблюдались практически невероятные совпадения изменений электронной концентрации в ионосфере и изменений всех компонент векторов. Различие координат, полученных из GPS-измерений, соответствующих спокойной и возмущенной ионосфере достигали нескольких десятков миллиметров, даже для 132-х километрового вектора (O'Higgins – Arctowski).

Для того, чтобы проверить воспроизводимость таких совпадений была применена новая методика получения и анализа результатов GPS- измерений, основанная на использовании перекрывающихся сегментов данных [6]. Временные ряды GPS- решений, получаемые при обработке наблюдений на перекрывающихся сегментах, позволяют исследовать результаты GPS- измерений и, в частности, влияние атмосферных условий, на новом качественном уровне. Такие временные ряды могут рассматриваться как запись процесса вариации компонент векторов в течение процесса изменения атмосферных параметров при возмущениях. Выполненный эксперимент касался исследования реакции измерительной системы на ионосферную бурю, а также реакции на тропосферные процессы. Результаты анализа временных рядов, полученных по данным Европейской сети перманентных станций, а также по данным Антарктических IGS станций были представлены в Шанхае на заседаниях WGCGI в рамках XXVII конференции SCAR [3]. Были проанализированы данные с периода времени, который включал в себя несколько дней перед бурей 2–3 марта 2001 года и после нее, с трех Антарктических IGS станций, а именно, DAV1, MAW1, и CAS1. Для сравнения были взяты результаты вычислений компонент векторов между несколькими европейскими перманентными станциями (BOGO, BOR1, JOZE, LAMA, UZHL) для того же промежутка времени. Результаты анализа показали более сильную корреляцию изменений полного электронного содержания в вертикальном столбе ионосферы (TEC, Total Electron Content) с вариациями компонент векторов в Европе, чем в Антарктиде. Однако далеко не такую сильную, как была получена для бури 1999 года и представлена на AGS'01. Такое расхождение результатов стало причиной продолжения проекта и обработки данных с большего числа антарктических станций для более длительного интервала времени, совместно с ионосферными данными.

Численные эксперименты

Для выделения периодов существенных ионосферных возмущений были проанализированы данные за 2001 год. Временные ряды TEC, получаемые в рамках международного проекта IONEX и доступные в Интернете на сайтах IGS для двух регионов, над BOGO – центральноевропейской станцией и над DAV1 – антарктической станцией, показаны на рис. 1.

Нерегулярные вариации содержания электронов в ионосфере, нарушения суточного ритма изменения TEC в результате многочисленных бурь могут быть обнаружены на этих графиках. Зона в левой части графиков отмечена в окрестности бури 2–3 марта, о которой уже было доложено ранее [3]. Зона, отмеченная в правой части и показанная в увеличенном виде на рис. 2 соответствует серии сильных ионосферных возмущений. Там же отмечены периоды геомагнитных возмущений, предсказанные в соответствии с международным проектом IPS Geomagnetic Disturbance Warning (предсказания распространяются, в частности, для участников CANSPACE – Канадского космического геодезического форума <<http://www.unb.ca/GGE/>>).

Данные для этого периода со станций CAS1, DAV1, MAW1, MCM4, OHIG и VESL были обработаны и проанализированы в рамках текущих задач проекта “Atmospheric Impact on GPS Observations in Antarctica”. Программным пакетом Bernese 4.2 были обработаны GPS- данные в 24-х часовых сессиях, перекрывающихся на 23 часа (последовательные 24-х часовые сессии сдвинуты по времени на 1 час) и получены оценки компонент векторов между этими станциями с использованием QIF стратегии. Временные ряды оценок компонент векторов, их длин, числа единичных разностей в суточных сессиях, а также СКО длины вектора по внутренней сходимости

внутри каждого суточного интервала показаны на Рис. 3а (MAW1-DAV1, длина вектора – 636 км) и рис. 3, б (OHIG-MCM4, длина вектора – 3983 км).

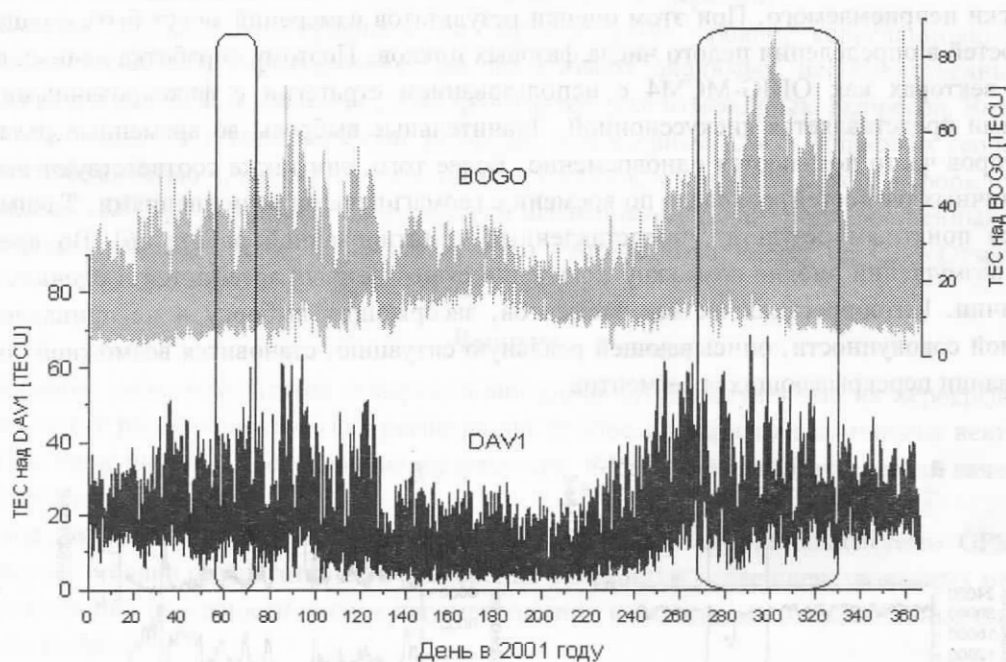


Рис. 1. Вариации TEC в 2001 году для BOGO и DAV1 из IONEX файлов

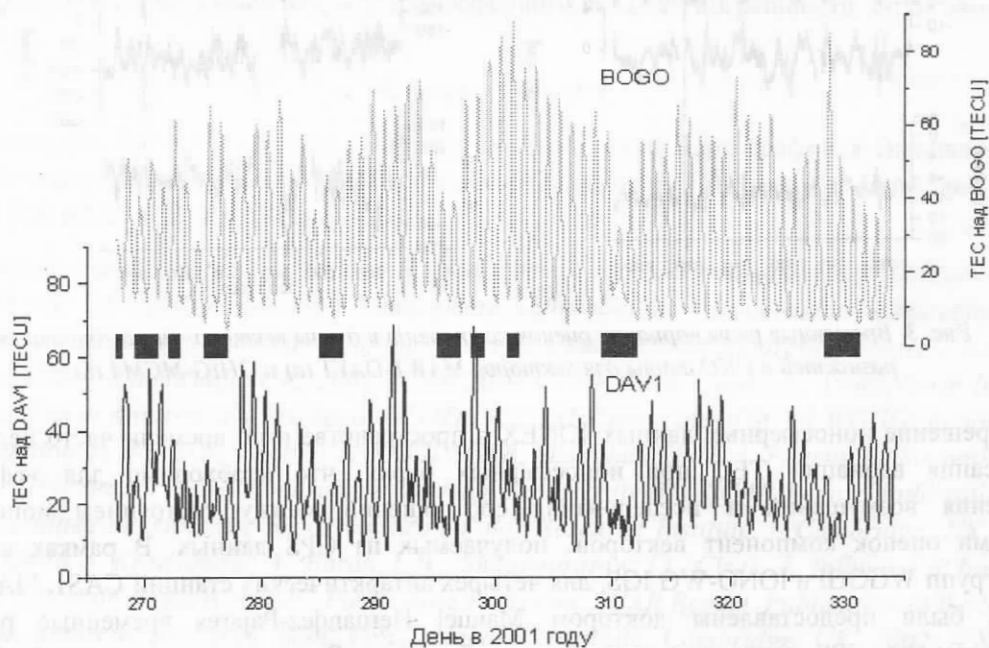


Рис. 2. Вариации TEC в октябре – ноябре 2001 года для BOGO и DAV1 из IONEX файлов с отметками прогнозированных геомагнитных возмущений

Существенное различие в уровнях вариаций в сериях, показанных на рис. 3а и рис. 3б отражает 6-ти кратное различие расстояний между станциями. Это в частности видно в числе единичных разностей. В случае вектора OHIG-MCM4 это число часто уменьшается до уровня, практически неприемлемого. При этом оценки результатов измерений могут быть смещены из-за погрешностей в определении целого числа фазовых циклов. Поэтому обработка данных при таких длинных векторах как OHIG-MCM4 с использованием стратегии с фиксированными неоднозначностями представляется дискуссионной. Значительные выбросы во временных рядах компонент векторов часто появляются одновременно. Более того, они также соответствуют выбросам в ряду единичных разностей, совпадая по времени с геомагнитными возмущениями. Таким образом, становится понятным результат, представленный в цитированной работе [6]. Во время ионосферных возмущений вполне возможно появление существенных артефактов в оценках измеряемых величин. Интерпретация их как элементов, засоряющих выборку и не принадлежащих к генеральной совокупности, описывающей реальную ситуацию, становится возможной только при использовании перекрывающихся сегментов.

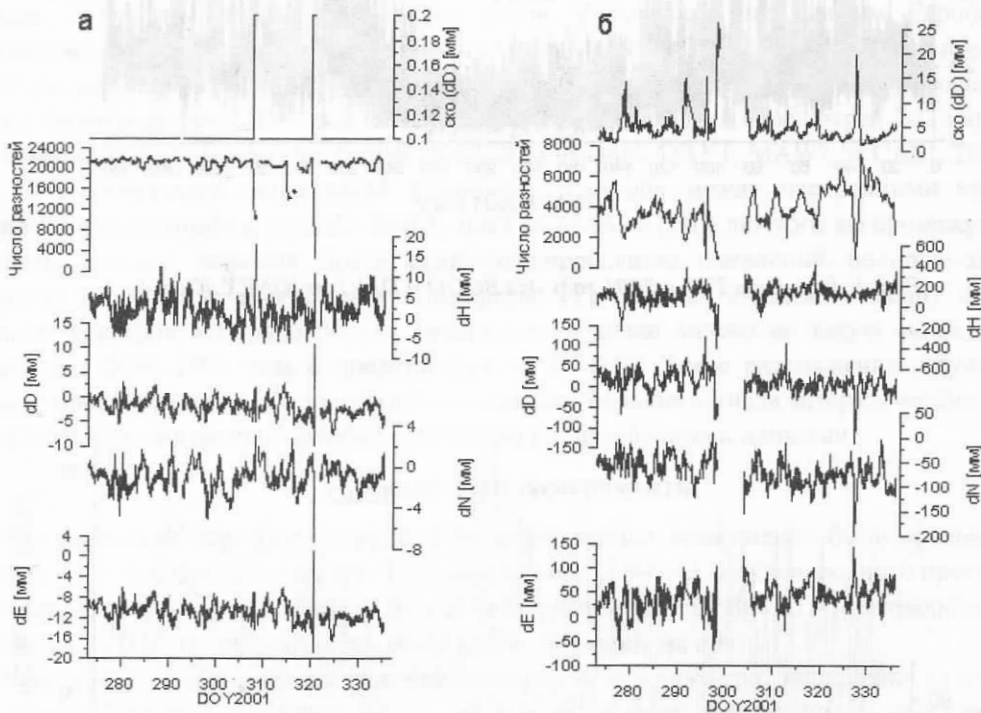


Рис. 3. Временные ряды вариаций оценок компонент и длины вектора, числа единичных разностей и СКО длины для векторов MAW1-DAV1 (а) и OHIG-MCM4 (б)

Разрешение ионосферных данных IONEX в пространстве и по времени часто недостаточно для описания вариаций TEC при ионосферных бурях, что необходимо для эффективного обнаружения возмущений и исследования соотношений между состоянием ионосферы и вариациями оценок компонент векторов, получаемых из GPS данных. В рамках кооперации рабочих групп WGGGI и IONO-WG IGS, для четырех антарктических станций CAS1, MAW1, OHIG и VESL, были предоставлены доктором Manuel Hernandez-Pajares временные ряды TEC, рассчитанные по GPS данным с разрешением 7 минут. В основном, данные IONO-WG IGS совпадают с данными, глобальных карт электронной концентрации в ионосфере (проект IONEX). Однако различия в деталях динамики ионосферы над различными антарктическими станциями по данным IONO-WG IGS проявляются значительно яснее благодаря отсутствию временного и

пространственного сглаживания. Такие особенности оценок одного и того же параметра, а именно, ТЕС на настоящем этапе работ по проекту используются для обнаружения и исследования тонких эффектов связи ионосферных возмущений и качества GPS- измерений.

Сравнение приведенных графиков на эвристическом уровне, корреляционный анализ, сравнение спектральных характеристик, не показывают значимых непосредственных связей временных рядов для ТЕС и компонент векторов, кроме, уже отмеченных, выбросов. Вместе с тем, сложные технические и алгоритмические решения, характерные для спутниковых геодезических систем, с неизбежностью приводят к внутренним нелинейностям, связям между информативными и неинформативными параметрами. Обнаружение и исследование такого рода нелинейных эффектов также является одной из задач в рамках проекта "Atmospheric Impact on GPS Observations in Antarctica", однако выходит за рамки данной публикации.

Выводы

Временные ряды результатов измерений методами GPS, полученные на перекрывающихся интервалах могут рассматриваться как регистрации процессов вариации компонент вектора из-за переменных возмущений. Исследование результатов GPS- измерений на новом качественном уровне ведет к возможности:

- моделирования эффектов окружающей среды и внутренних ошибок системы GPS;
- корректировки результатов GPS- измерений с помощью усовершенствованных моделей;
- увеличения надежности оценок параметров, при использовании эффективных алгоритмов исключения выбросов;
- изучения короткопериодических вариаций эффектов окружающей среды и внутренних погрешностей системы GPS

В настоящей публикации рассмотрены только эффекты ионосферных возмущений. Исследования продолжаются. Накоплен большой объем метеорологических и GPS данных для нескольких антарктических станций, не только тех, которые участвуют в программах IGS. Следующий плановый этап проекта посвящен анализу тропосферного вклада в погрешности GPS- измерений в Антарктиде.

Благодарности

Исследования были поддержаны Институтом Геодезии и Картографии в Варшаве и были частично финансированы Польским Государственным Комитетом Научных Исследований (гранты No 9T12E01918, 8T12E05321 и 8T12E04520).

1. Островський А., Мороз О., Черняга П. Нові сучасні можливості геодинаміки // Геодинаміка. – Львів, 1/1998. – С. 25–29. 2. Zablotzkyj F. *Atmospheric Influences on Astrogeodetic Measurements in the Polar Regions*, SCAR Report, Publication of the Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute. – Cambridge, UK, 2001. – No. 20. – С. 50–55. 3. Cisak, J., *Atmospheric Impact on GPS Observations in Antarctica – Project of GEODESY/GIANT program of SCAR WGGGI Report 2000 – 2002, Presentation on WGGGI meeting of XXVII SCAR, Shanghai, 2002.* 4. Feltens J., Jakowsky N. *The International GPS Service (IGS): Ionosphere Working Group activities*, SCAR Report, Publication of the Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute. – Cambridge, UK, 2002. – No. 21. – С. 12–16. 5. Krankowski, A., Baran, L.W., Shagimuratow, I.I., Cisak, J., *Influence of Ionosphere in Arctic and Antarctic Regions on GPS Positioning Precision*, SCAR Report, Publication of the Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute, Cambridge, UK, 2002. – No. 21. – С. 49–53. 6. Krynski, J., Cisak, J., Zanimonskiy, Y.M., Wielgosz, P., *Variations of GPS Solutions for Positions of Permanent Stations – Reality or Artifact // Symposium of the IAG Subcommittee for Europe (EUREF) held in Ponta Delgada. – Portugal, 5–7 June 2002, EUREF Publication No 8/2, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main (in print).*