

УДК 550.8.054

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НАД ЭЛЬБРУСОМ 16-25.06.2014 Г.

Тертышников А.В.

Поступила в редакцию 22.07.2015 г.

Представлены оценки состояния ионосферы над Эльбрусом, полученные в ходе экспедиции 16 – 25.06.2014 г. по сигналам навигационных КА GPS/ГЛОНАСС. Разработаны требования к критериям обработки анализируемых данных.

Выявлено различие в ПЭС на двух близкорасположенных, но разнесенных по высоте на более чем километр пунктах Терскол и Чегет. Изменение полного содержания электронов (ПЭС) в ионосфере коррелировало с интенсивностью солнечного излучения и сейсмическими условиями региона.

Проведено моделирование характеристик псевдопозиционирования (мгновенных оценок координат) геодезических навигационных приемников. После слабых землетрясений региона характеристики псевдопозиционирования навигационных приемников восстановились к начальным значениям.

Результаты эксперимента показали возможность реализации авторской технологии зондирования ионосферы и позволили апробировать программы обработки RINEX-файлов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИОНОСФЕРА, ЗОНДИРОВАНИЕ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ, КА, GPS/ГЛОНАСС, НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИЕМНИК, ОБРАБОТКА, ПЭС.

ВВЕДЕНИЕ

В период 15-25 июня 2014 г. сотрудниками ФГБУ «ИПГ» была проведена экспедиция в Приэльбрусье, зондирование ионосферы по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS и ошибок позиционирования. Измерения проводились на труднодоступной метеостанции «Чегет», у подножия Эльбруса в поселке Терскол (Кабардино-Балкария), на Горной астрономической станции (Кисловодск, Карачаево-Черкессия), на метеостанции Минеральные воды, в ФГБУ «ВГИ» (Нальчик). Кроме этого проводились маршрутные съемки потока тепловых нейтронов на участках трассы М-4 «Дон» и в Приэльбрусье.

Время проведения измерений совпало с первой четвертью Луны 19.06.2014 г. и летним солнцестоянием (21-22.06.2014).

Возмущений магнитного поля Земли в период проведения измерений не было. Индекс Кр [1] в период измерений 20.06.2014 г. по данным [2] соответствовал значению 2, 21.06 – 1, 22.06 – 1-, 23.06 – 1-, 24.06 – 1+, 25.06 – 1. Возмущений индекса ар не было. Интенсивность солнечного излучения на длине волны 10,7 см (F10,7) 20.06 была 105.5, 21.06 – 104.5, 22.06 – 97.3, 23.06 – 95.6, 24.06 – 96.6, 25.06 – 100.2.

По данным Геофизической службы РАН [3] в период проведения экспедиции на Восточном Кавказе были зафиксированы слабые землетрясения 23.06.2014 г. в 05:27:44.0. UT с координатами эпицентра 42.92 с.ш. и 45.44 в.д., магнитудой (по объемным волнам) $m_b=3,6-4,0$, глубиной гипоцентра $z=15$ км, 24.06.2014 г., $t=12:36:34,1$, 43.62 с.ш., 45.64 в.д., $m_b=3,6$, $z=10$ км, а также на Западном Кавказе 24.06.2014 г., $t=05:07:28,3$, 44.66 с.ш., 37.25 в.д., $m_b=3,4$, $z=10$ км.

ВЫБОР ИНТЕРВАЛА ОСРЕДНЕНИЯ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Выбор интервала осреднения данных наблюдений связан с характером решаемых научно практических задач [4-6], возможностями используемого оборудования и требованиями Всемирной метеорологической организации (ВМО) к наблюдениям полного содержания электронов (ПЭС) ионосфере (табл. 1).

За час один НКА проходит расстояние около 11 тыс. км. На уровне ионосферы это в 3-4 раза меньше [7]. Поэтому в требованиях по определению точности ПЭС предполагается осреднение наблюдений по видимой группировке навигационных космических аппаратов (НКА) в достаточно узком конусе с осью в зенит.

Еще за один час допустимого периода задержки передачи данных видимая группировка НКА существенно меняется.

Таблица 1. Требования ВМО к наблюдениям ПЭС в ионосфере

Характеристики	Разрешение по горизонтали (км)	Интервалы наблюдений (мин)	Время задержки передачи данных (мин)	Точность определения ПЭС (TECU)
Допустимый уровень	500	60	60	2.0
оптимальный	200	15	10	0.5
перспектива	100	5	1	0.1

Установка приемников сигналов НКА рядом с метеостанциями упростила получение данных для расчета тропосферной задержки по температуре, влажности и давлению.

Оценка тропосферной задержки, составляющая до 25% ошибки определения ПЭС, в горных районах весьма условно корректируется встроенными моделями передачи ГНСС-сигналов. Поэтому достаточно условной выглядит установленная в требованиях ВМО точность в 2 TECU и требуют осмысления перспективные точности наблюдений ПЭС в условиях естественной возмущенности ионосферы.

Заданная дискретность опроса предоставленных для экспедиции геодезических навигационных приемников сигналов ГЛОНАСС/GPS Javad Alpha G3T (США) была установлена в 1 Гц. Перестраивать частоту опроса не рекомендовалось, так как приемники были подготовлены для установки на пунктах радиотомографической сети Росгидромета. Увеличение интервала времени между измерениями приводит к потере информации о состоянии ионосферы.

Каждую секунду каждым навигационным приемником наблюдалось до 15 НКА, эфемериды которых использовались в расчетах характеристик позиционирования антенны навигационного приемника. От угла места навигационного космического аппарата зависят дополнительные ошибки, связанные с начальной фазовой неоднозначностью. Конфигурация видимой группировки НКА постоянно меняется, что обуславливает, не смотря на коррекцию расчетов на угол наклона каждого НКА [8], различную точность расчета ионосферной ошибки дифференциальным методом [7, 8] в течение даже перспективного отрезка наблюдений, установленного в табл. 1. Появление нового или уход НКА из видимой группировки существенно меняет расчетные по [9] оценки ионосферной задержки. Кроме того, в поселке Терскол, окруженном с трех сторон горами, особенно ярко проявились эффекты многолучевости и переотражений принимаемых сигналов ГНСС.

Для анализа данных об ионосферной задержке и характеристик позиционирования выбирался интервал осреднения на основе сравнения среднеквадратических отклонений (ско) в суточном ходе. В качестве примера на рис. 1 представлены образы суточного хода ПЭС над Терсколом 24.06.2014 г. по кодовым (слева) и фазовым (справа) измерениям. Все измерения выполнялись по московскому времени.

Эффекты переотражений и многолучевости сигналов НКА достаточно очевидно проявляются в измерениях ПЭС над Терсколом (высота около 2200 м над уровнем моря), где приемник на 1100 м ниже приемника на Чегете. По фазовым измерениям ско оценок ПЭС почти втрое меньше.

Сглаживание по предыдущим 60 секундам наблюдений уменьшает ширину трубки вариаций почти втрое, при осреднении по предыдущим трем минутам (рис. 2) почти в 5 раз.

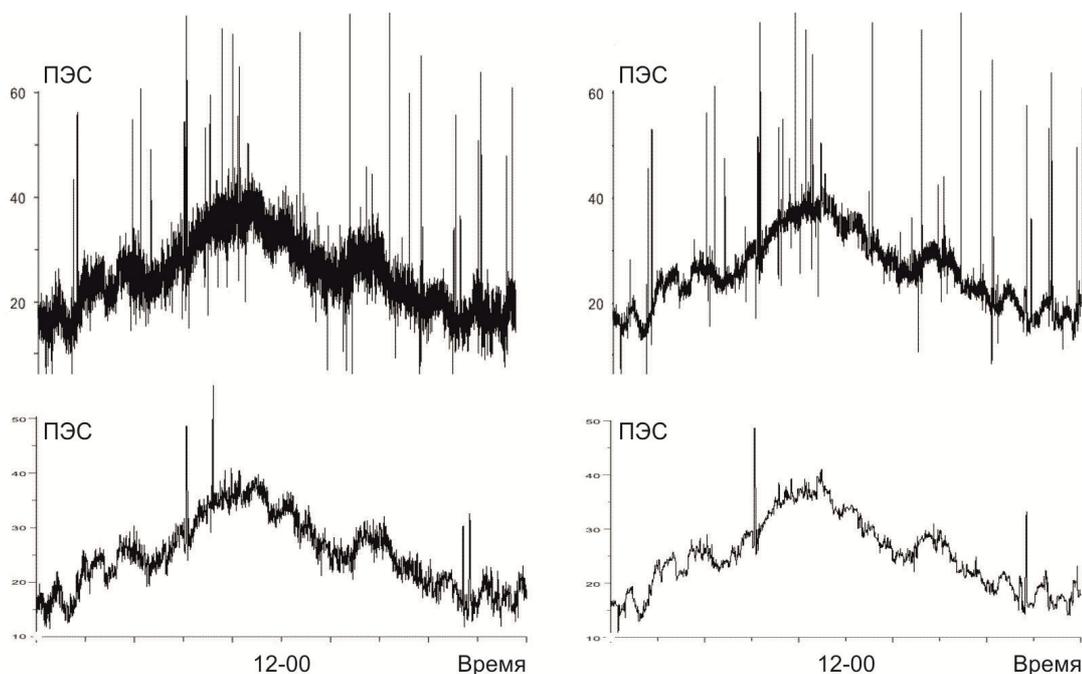


Рис. 1. Суточный ход относительного ПЭС над Терсколом 24.06.2014 г. по кодовым (слева) и фазовым (справа) измерениям. Верхний ряд с дискретностью опроса 1 Гц. Нижний ряд с осреднением верхних фрагментов по предыдущим 60 сек.

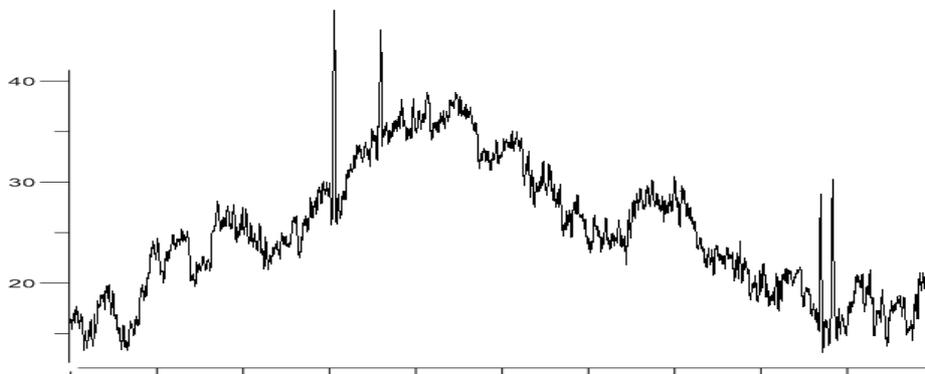


Рис. 2. Суточный ход относительного ПЭС над Терсколом 24.06.2014 г. по кодовым измерениям с осреднением верхних фрагментов по предыдущим 180 сек.

По результатам сравнения полученных результатов для достижения научно-практических задач экспедиции у южного склона Эльбруса был выбран основной интервал осреднения полученных данных измерений по предыдущим 60 секундам.

Суточный ход ПЭС по фазовым измерениям над Чегетом, по сравнению с рассчитанными по фазовым измерениям оценки ПЭС над Терсколом, более спокойный – рис. 3.

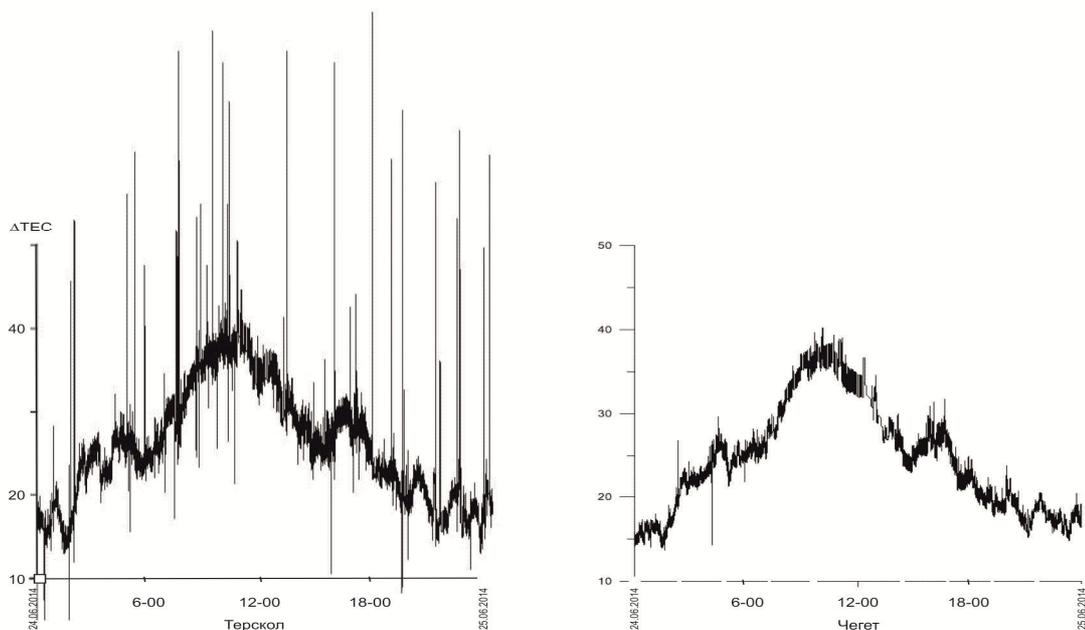


Рис. 3. Суточный ход ПЭС 24.06.2014 г. над Терсколом по фазовым измерениям (слева) и Чегетом (справа).

Значительное количество выбросов на левом фрагменте рис. 3 позволяет также исследовать надежность мгновенного расчета ПЭС на определенном интервале времени по критерию выхода за границы текущей трубки вариаций.

Исходя из полученных результатов, для дальнейшего анализа состояния ионосферы были выбраны фазовые измерения ПЭС над Чегетом с осреднением по предыдущим 60 секундам. Пример расчета полученных оценок представлен на рис. 4-5.

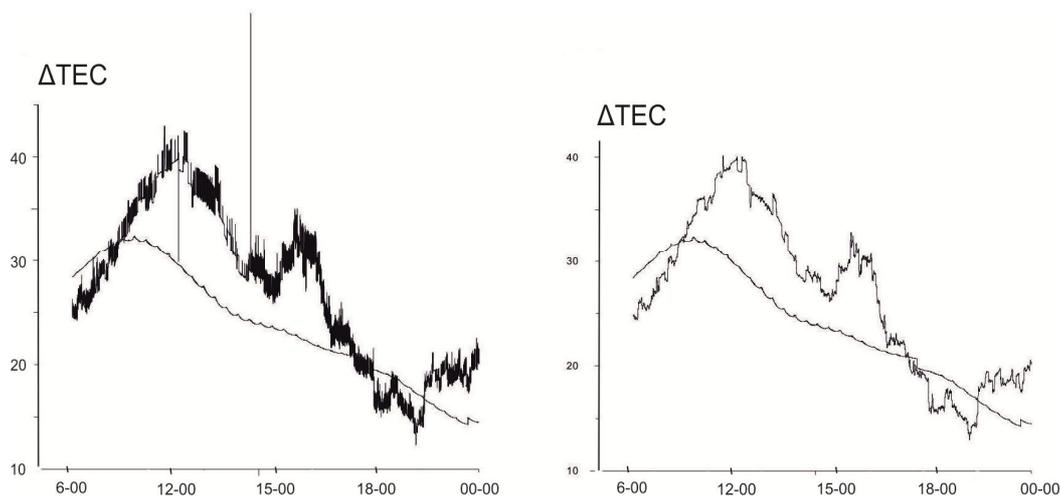


Рис. 4. Изменение относительного ПЭС на станции Чегет 21.06.2014 г. по фазовым измерениям с данными ПЭС по IRI-2011. Слева с дискретностью 1 Гц, справа с осреднением относительного ПЭС по предыдущим 60 секундам. Наблюдения начаты в 6:17:28 мск.

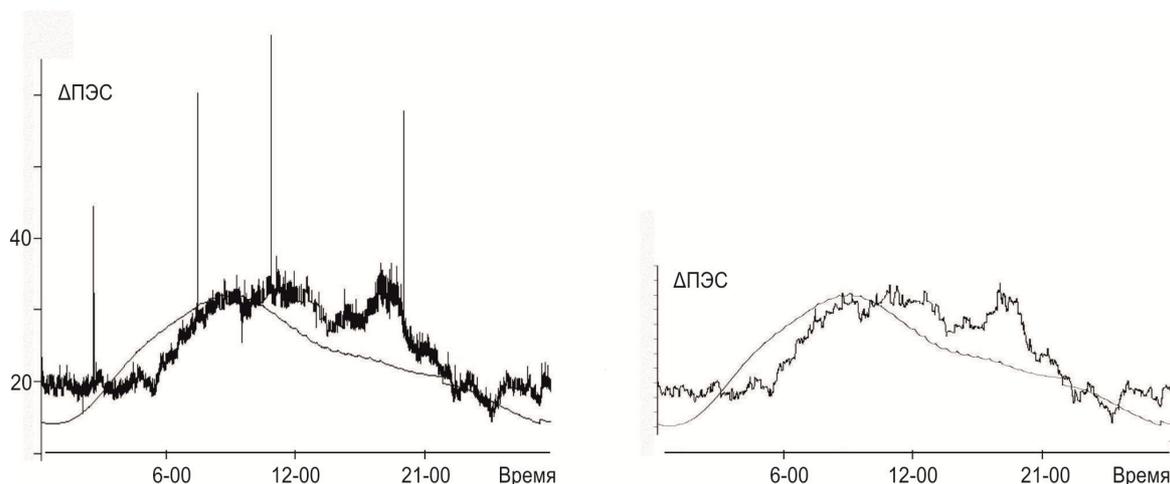


Рис. 5. Изменение относительного ПЭС по фазовым измерениям над Чегетом 22.06.2014 г. Слева с дискретностью 1 Гц, справа с осреднением по предыдущим 60 сек на фоне значений IRI-2011.

Из-за существенных вариаций характеристик мгновенного псевдопозиционирования, рассчитанных по первой рабочей частоте ГНСС GPS для анализа использовались также осредненные данные ПЭС по четырем шестичасовым интервалам: 00-06, 06-12, 12-18 и 18-24 часов.

ИЗМЕНЕНИЕ ОЦЕНОК ПЭС НАД ЧЕГЕТОМ

Изменение оценок относительного ПЭС по предыдущим фазовым измерениям за предыдущую минуту над Чегетом представлено на рис. 6.

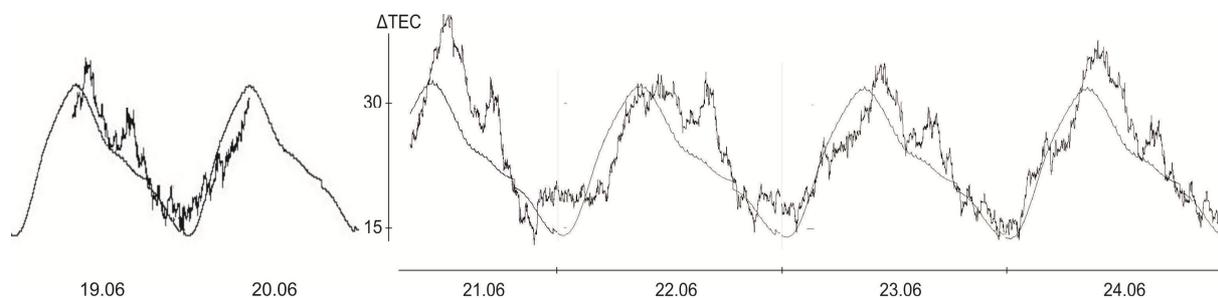


Рис. 6. Изменение относительного ПЭС по фазовым измерениям над Чегетом с осреднением по предыдущим 60 сек на фоне значений IRI-2011.

На рисунке 6 выделяется аномальный пик ПЭС 21.06.2014 г.

19-20.06.2014 г. наблюдения были неполными из-за отключения энергопитания. 25.06.2014 г. 8:15 наблюдения были прекращены.

На рисунке 7 представлено изменение оценок ПЭС, осредненных по предыдущему шестичасовому отрезку наблюдений.

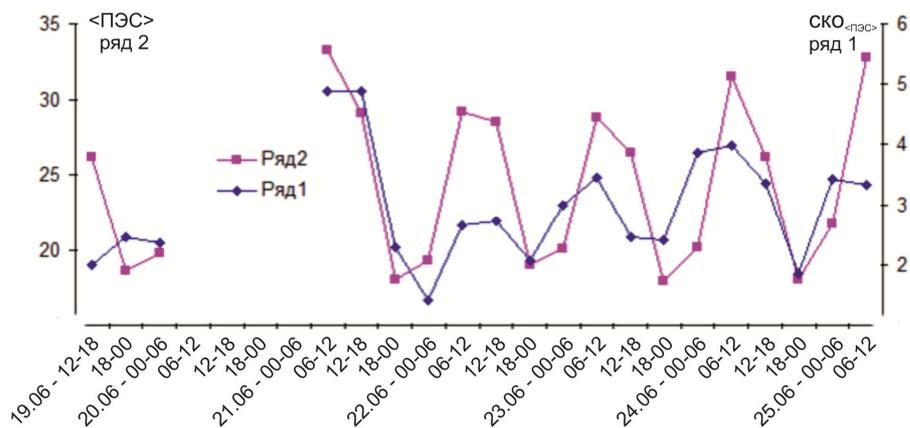


Рис. 7. Изменение четвертьсуточных оценок ПЭС над Чегетом (ряд 2, шкала слева) и ско (ряд 1, шкала справа).

Нарушение синхронности в динамике указанных характеристик 22.06.2014 г. может свидетельствовать о неких происходящих природных процессах. При сравнении с модельными значениями IRI-2011, отклонения начинаются 21.06.2014 г. (рис. 8).

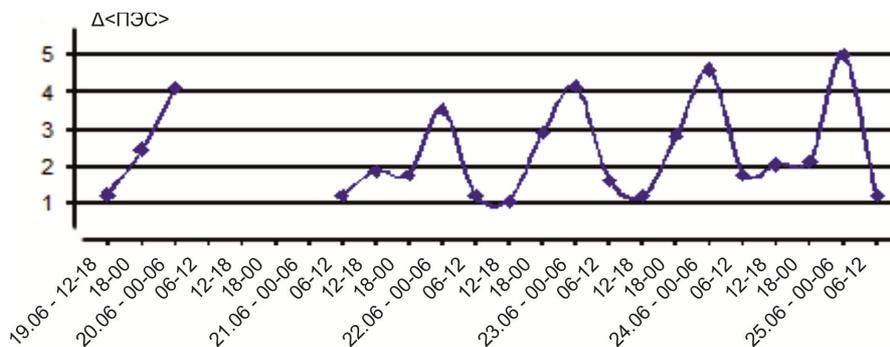


Рис. 8. Отклонения восстановленных четвертьсуточных оценок ПЭС от модельных значений IRI-2011.

В конце суток 24.06.2014 г. в изменении изменения ПЭС вновь проявился эффект от 21.06.2014 г.

Изменение коэффициента корреляции рассчитанных среднесуточных оценок ПЭС над Чегетом с данными IRI-2011 (рис. 9) хорошо соответствует динамике интенсивности солнечного излучения.

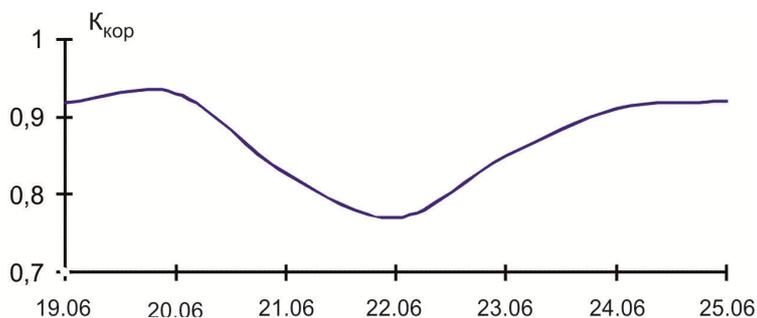


Рис. 9. Изменение среднесуточного коэффициента корреляции рассчитанных оценок ПЭС над Чегетом с данными IRI-2011.

Оценки коэффициента корреляции 19-21.06, а также 25.06 (до 9:00 утра) были получены по неполным суткам измерений.

Одним из факторов, повлиявших на динамику коэффициента корреляции, может быть смена погоды над Эльбрусом с 22.06.2014 г., когда северо-западная периферия циклонической циркуляции

с центром над севером Ирана начала вытесняться барическим гребнем с северо-запада, что улучшило погоду до малооблачной и способствовало успешному восхождению представителей экспедиции на западную вершину Эльбруса.

В ходе расчетов была отмечена разница оценок относительного ПЭС между Терсколом и Чегетом (рис. 10) со средним значением 1,17 TECU.

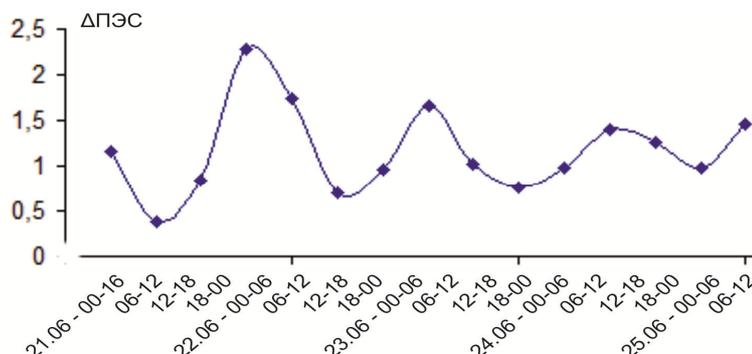


Рис. 10. Разность оценок относительного ПЭС между Терсколом и Чегетом.

Над Чегетом относительное ПЭС меньше, чем над Терсколом. Возможно из-за разницы по высоте (около 1100 м). Также меньше и среднеквадратическое отклонение четвертьсуточных оценок ПЭС (рис. 11).

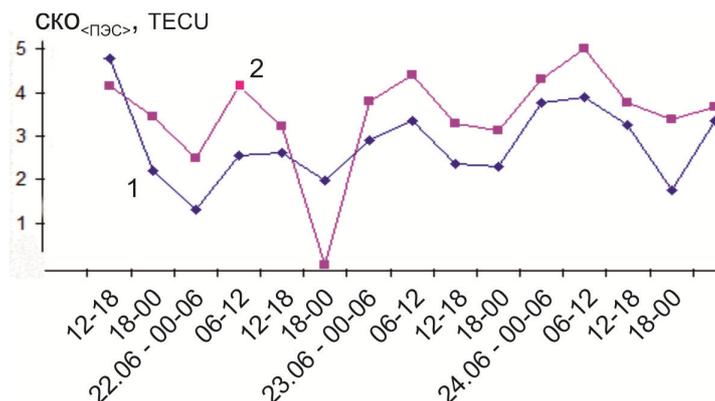


Рис. 11. Оценки среднеквадратического отклонения четвертьсуточных оценок ПЭС по Чегету (1) и Терсколу (2)

22.06.2014 г. в период 18:00 – 24:00 было зафиксировано anomalно низкое ско ПЭС над Терсколом.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНОК ПСЕВДОПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Приемник сигналов навигационных КА (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.

Псевдодалности, измеряемые одночастотными навигационными приемниками, испытывают быстрые и сильные флуктуации, не связанные с вариациями ПЭС, например, из-за автоматической подстройки часов приемника. Фаза несущей частоты принимаемого сигнала после удаления тренда часов приобретает аппаратный шум, превышающий возможные ионосферные флуктуации. Для улучшения качества местоопределения используются несколько одночастотных приемников или приемники, принимающие сигналы КА ГНСС на нескольких частотах. Кратковременное пропадание сигналов видимого КА в зоне установленных углов наклона-маски может быть обусловлено возмущениями атмосферы. В этом случае происходит значительное изменение в результатах расчета

характеристик псевдопозиционирования приемника или фиксируется сбой.

В связи с отключенной опцией автоматического определения характеристик позиционирования на предоставленных ФГБУ «ИПГ» для проведения экспедиции геодезических навигационных приемниках, для определения координат места по сигналам НКА проводилось моделирование многогранной пирамиды с известными координатами НКА в основании и рассчитываемой вершиной – положением антенны навигационного приемник. В расчеты включались НКА видимой группировки ГНСС с наклоном не менее 15 градусов над горизонтом и псевдодальности НКА, определяемые внутренними алгоритмами приемников по первой рабочей частоте ГНСС GPS.

Расчет псевдокоординат осуществлялся путем решения матричного уравнения. При 4-х наблюдаемых спутниках: $\vec{\bar{X}} = -A^{-1}l$. При большем количестве наблюдаемых спутников: $\vec{\bar{X}} = -(A^T A)^{-1}(A^T l)$, где $\vec{\bar{X}}$ – вектор поправок к приближенным координатам приемника в декартовой системе координат, A – матрица единичных векторов топоцентрического направления с антенны (подстрочный индекс a) приемника на спутник:

$$A = \begin{bmatrix} -u_x^1 & -u_y^1 & -u_z^1 & 1 \\ -u_x^2 & -u_y^2 & -u_z^2 & 1 \\ \dots\dots & & & \\ -u_x^i & -u_y^i & -u_z^i & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где \vec{u}^i – единичный вектор топоцентрического направления на спутник:

$$u^i = \left[\frac{x^i - (x_A)^0}{(\rho_a^i)^0} \quad \frac{y^i - (y_A)^0}{(\rho_a^i)^0} \quad \frac{z^i - (z_A)^0}{(\rho_a^i)^0} \right], \quad (2)$$

где x^i, y^i, z^i – координаты i спутника, $(x_A)^0, (y_A)^0, (z_A)^0$ – априорные координаты антенны приемника, $(\rho_a^i)^0$ – приближенное значение геометрической дальности i -го спутника:

$$(\rho_a^i)^0 = \sqrt{(x^i - (x_A)^0)^2 + (y^i - (y_A)^0)^2 + (z^i - (z_A)^0)^2}, \quad (3)$$

l – матрица свободных членов:

$$l_a^i = (\rho_a^i)^0 - P_a^i(t) + I_a^i + LT_a^i - cdt^i(t - \tau_a^i), \quad (4)$$

где $P_a^i(t)$ – псевдодальность i -го спутника, I_a^i – значение ионосферной задержки сигнала, вычисленное дифференциальным способом [7, 8], LT_a^i – значение тропосферной задержки [8], обычно рассчитываемой по модели стандартной атмосферы и не столь актуальной выше пограничного слоя атмосферы, $cdt^i(t - \tau_a^i)$ – величина поправки часов спутника по данным навигационного сообщения ГНСС.

Во внутренних алгоритмах приемовычислительных устройств геодезических навигационных приемников для повышения точности расчета оценок позиционирования заложена идеология выбора 3-4 НКА с конфигурацией, минимизирующей ско расчетов позиционирования и тропосферной ошибки. Увеличение используемой в расчетах группировки видимых НКА существенно расширяет масштаб зондируемой атмосферы до региона. Это представляет интерес для диагностики термодинамического режима сейсмоопасных регионов, зондирования динамики волновых возмущений атмосферы, но существенно увеличивает вариации рассчитываемых оценок псевдопозиционирования и относительного ПЭС. Предварительные расчеты показали, что для условий среднегорья, то есть выше пограничного слоя атмосферы, тропосферной задержкой можно пренебречь.

Решение матричного уравнения осуществляется методом последовательных приближений. В качестве априорных координат приемника используются координаты, записываемые приемником в заголовке RINEX файла. При этом за 3-4 итерации обеспечивается быстрая сходимость решений, что подтверждено также в [10, 11].

Для обработки данных с указанных приемников был разработан программно-аппаратный комплекс, позволивший автоматизировать обработку данных в формате RINEX и представление результатов в соответствии с требованиями ионосферной службы Росгидромета [7-9] Валидация [9] проводилась при сравнении с данными модели ионосферы IRI – 2011.

В отличие от результатов позиционирования, полученных с помощью алгоритмов приемовычислителя геодезического навигационного приемника, результаты моделирования оценок псевдопозиционирования являются мгновенными оценками позиционирования без учета поправок. Их точность на порядок хуже. Однако в них не отфильтрованы проявления интересных для научно-практических задач геофизические эффекты. Результаты моделирования характеристик псевдопозиционирования на Чегете представлены на рис. 12-13.

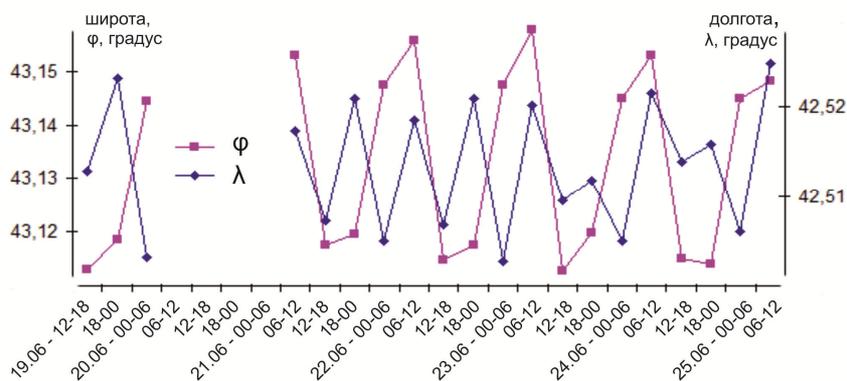


Рис. 12. Изменение осредненных за предыдущие 6 часов оценок широты-долготы приемника на Чегете.

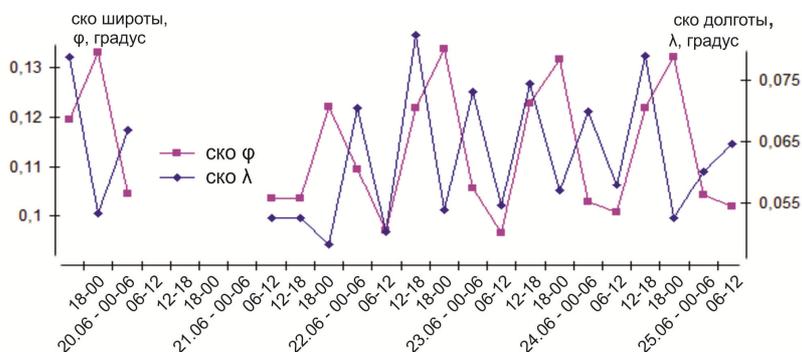


Рис. 13. Изменение оценок среднеквадратического отклонения данных рис. 12.

На этих графиках можно отметить сбой в регулярных вариациях 23.06.2014 г., незначительное увеличение оценок псевдодолготы после 23.06.2014 г. и незначительное уменьшение оценок псевдошироты. Среди возможных причин этого могут быть сейсмические условия или изменение атмосферной циркуляции в районе проведения экспедиции.

В Терсколе при осреднении по 12 часам измерений второй половины суток проявилась большая амплитуда изменения рассчитанных оценок псевдошироты и псевдодолготы (рис. 14-15). Возможно из-за тропосферной задержки сигналов ГНСС.

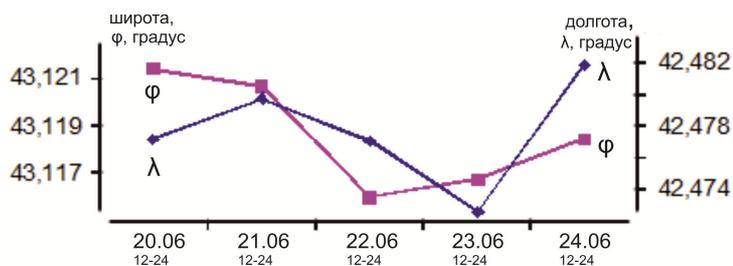


Рис. 14. Изменение осредненных за 12 часов второй половины суток оценок псевдошироты-псевдодолготы по кодовым измерениям приемника с антенной у вертолетной площадки ГУ МЧС КБР в Терсколе.

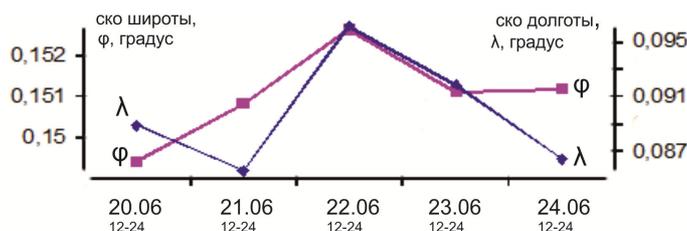


Рис. 15. Изменение ско оценок рис. 14 в Терсколе.

Людей и работ на посадочной площадке за время измерений не было. Контроль за сохранностью оборудования осуществлялся с помощью системы дистанционного видеонаблюдения ГУ МЧС КБР Терсколе.

Для сравнения на рис. 16 приведены оценки ПЭС за вторую половину суток над Терсколом и соответствующие среднеквадратические отклонения, которые для фазовых измерений (фрагмент справа) меньше.

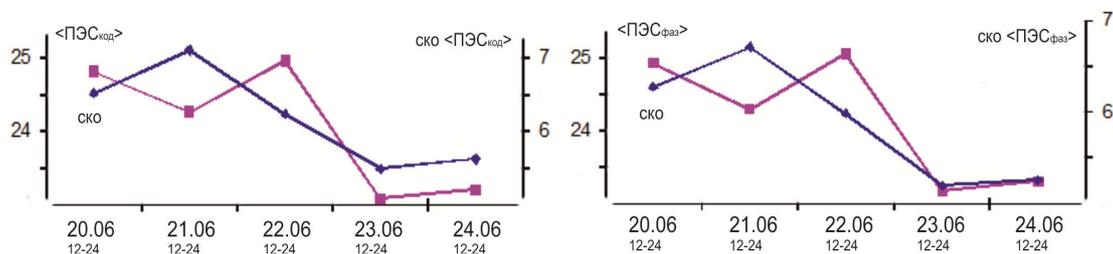


Рис. 16. Оценки ПЭС за вторую половину суток над Терсколом и соответствующие среднеквадратические отклонения по кодовым (слева) и фазовым (справа) измерениям.

Динамика анализируемых характеристик на рис. 16 соответствует изменению ПЭС перед слабым землетрясением в Туапсе 8.09.2010 г. [12].

В каждой второй половине суток была рассчитана оценка математического ожидания среднеминутного ско рассчитанных оценок псевдопозиционирования (рис. 17).

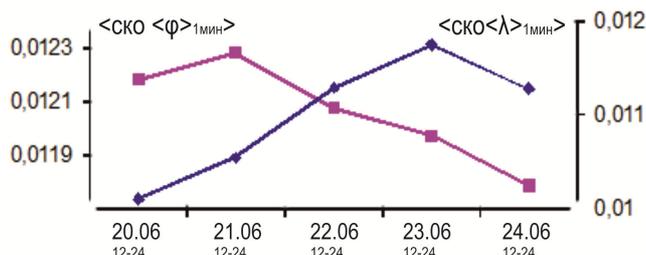


Рис. 17. Изменение средних оценок среднеминутного ско псевдопозиционирования приемника в Терсколе во второй половине суток 20-24.06.2014 г.

Асинхронное изменение анализируемых оценок по широте и долготе 21-23.06.2014 г. присуще сейсмически не стабильным условиям [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНОЙ ЗАДЕРЖКИ СЕВЕРНЕЕ ЭЛЬБРУСА

Севернее Эльбруса зондирование ионосферы по сигналам ГНСС проводилось в Ростове-на-Дону, на метеостанции Минеральные воды и в Кисловодске на базовой станции ГАС ГАО РАН (филиал Пулковской обсерватории), а также на вершине горы Шаджатмаз (2127 м), которая расположена в 28 км от Кисловодска и в 46 км от Эльбруса. При этом, в установленном на метеостанции Минеральные воды навигационном приемнике после двух суток работы сгорела карта памяти. В графике экспедиции не было времени для возвращения и его ремонта. На обратном пути результаты тестирования неисправностей подтвердили обоснованность этого решения.

В Кисловодске зондирование ионосферы проводилось геодезическим навигационным приемником Topcon GB-1000 с 17 по 24 июня 2014 г. За это время было проведено 19 циклов регистрации характеристик радиосигналов ГЛОНАСС/GPS. Работали волонтеры, поэтому зондирование не было круглосуточным. Дискретность наблюдений была установлена через 10 с. Параметры ионосферы определялись по значениям псевдодальностей из RINEX-файлов наблюдений.

Временной ход результатов измерений ПЭС в Ростове-на-Дону по данным IGS на фоне данных модели IRI-2012, а также результатов измерений ПЭС станцией вертикального зондирования в Ростове-на-Дону представлен на рис. 18 [13].

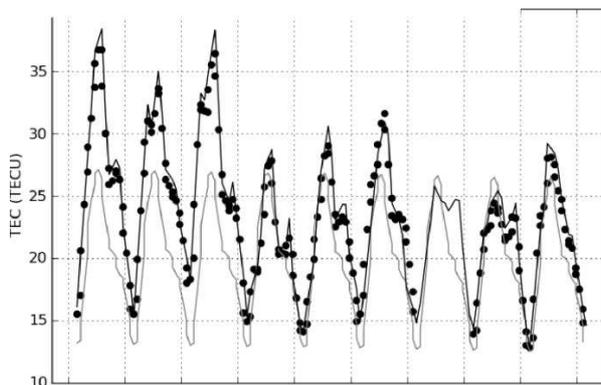


Рис. 18. Изменение ПЭС в Ростове-на-Дону в период с 16 по 25 июня 2014 г. по данным измерений (точки), модели IRI-2012 (серая линия) и данным IGS (чёрная линия)

При обработке результатов наблюдений анализировались также карты распределения TECU, по которым было выявлено формирование ложбины [13] западнее Эльбруса с осью через Ростов-на-Дону – Тбилиси к 23.06.2014 г.

Для получения оценок позиционирования приемника на ГАС ГАО РАН использовались ресурсы ЦНИИМаша [13]. При этом выявились несоответствия в определении трехчасовых средних координат на одном и том же триангуляционном геодезическом репере в несколько сантиметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За период проведения экспедиции 15-25 июня 2014 г. было организовано зондирование ионосферы по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS над Эльбрусом. Для этого использовались пять геодезических навигационных приемников в Минеральных Водах, Кисловодске, Ростове-на-Дону, Нальчике, Терсколе и на Чегете. С севера и с юга от Эльбруса.

Получены образы суточного хода ионосферной задержки над Эльбрусом, отличающиеся от результатов по модели IRI-2011.

Апробированы необходимые для анализа различные интервалы осреднения данных зондирования. Результаты обработки среднеквадратических отклонений подтвердили обоснованность выбора фазовых характеристик псевдодальностей НКА для зондирования состояния ионосферы. Показана достаточность использования интервала осреднения в 60 секунд для

подавления шумовых выбросов фазовых псевдодальностей сигналов НКА.

Выявлены изменения состояния ионосферы в период летнего солнцестояния при уменьшении солнечного излучения и активизации сейсмических условий региона.

Проведено моделирование характеристик псевдопозиционирования приемников на метеостанциях Чегет и Терскол. Подтверждено аномальное изменение характеристик псевдопозиционирования, соответствующее складывающимся сейсмическим условиям региона: сбоя в регулярных вариациях 23.06.2014 г. и эффект уменьшения рассчитанных оценок псевдошироты и псевдодолготы 22-23.06.2014 г. с последующим их восстановлением.

Значимых ионосферных эффектов в Кисловодске выявить не удалось в связи с фрагментарным характером наблюдений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-05-00029, № 15-05-10029 и № 14-05-10024.

Благодарности

Автор благодарит Владимира Борисовича Лапшина и Виктора Владимировича Алпатова, без мудрого руководства и участия которых не удалось бы провести экспедицию и восхождение группы М.Ю. Филиппова на западную вершину Эльбруса.

Автор благодарен В.О. Тапасханову, Р.Х. Калову и Х.Х. Чочаеву за помощь в организации экспедиции, а также участникам экспедиции за проведение измерений.

Особая благодарность – Глухову Ярославу Владимировичу – за переформатирование RINEX-файлов с помощью программы обработки, разработанной под руководством автора статьи, а также М.Ю. Филиппову за предоставленный личный автомобиль для проведения экспедиции.

RESULTS OF SOUNDING OF AN IONOSPHERE OVER ELBRUS 16-25.06.2014.

Tertyshnikov A.V.

Institute of applied geophysics of the academician E.K.Fyodorov,

Estimates the ionosphere fortune over Elbrus which are come into during expedition of 16-25.06.2014 on signals of navigation of satellite of GPS/GLONASS are presented. Requirements to criteria of processing of the analyzed data are developed.

Distinction in TEC on two nearby, but carried on height on more than kilometer points Terskol and Tcheget is revealed. Change of the TEC in an ionosphere correlated with intensity of sunlight and seismic conditions of the region.

Modeling of characteristics of pseudo-positioning (instant estimates of coordinates) of geodetic navigation receivers is carried out. After weak earthquakes of the region of the characteristic of pseudo-positioning of navigation receivers were restored to initial values.

Results of experiment showed possibility of realization of author's technology of sounding of an ionosphere and allowed to approve programs of processing of RINEX files.

KEYWORDS: IONOSPHERE, SOUNDING, EXPERIMENT, POSITIONING, KA, GPS/GLONASS, NAVIGATION RECEIVER, PROCESSING, TEC.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тertyshnikov A.V., Лапшин В.Б., Сыроешкин А.В. и др. Магнитные индексы. Учебное пособие. – Москва-Обнинск, 2013. 178 с.
2. celestrak.com
3. <http://www.ceme.gsras.ru/>.
4. Тertyshnikov A.V. Основы мониторинга чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва, 2013. 261 с.
5. Тertyshnikov A.V. Предвестники землетрясений и особенности их регистрации. – СПб.:ВИКА. 1996. 128 с.
6. Тertyshnikov A.V. Организация прогнозирования природных чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. – Москва, 2013. 268 с.
7. Тertyshnikov A.V., Большаков В.О. Технология мониторинга ионосферы с помощью приемника сигналов навигационных КА GPS/ГЛОНАСС (GALILEO) // Информация и космос.2010. – 1. С. 100-105.

8. Тертышников А.В., Пулинец С.А. Способ зондирования ионосферы, тропосферы, геодвижений и комплекс для его реализации/ Патент, заявка №2011128236 от 07.07.2011 на получение патента РФ на изобретение. Бюллетень Изобретения. 2013 № 4. Решение о выдаче патента РФ на изобретение от 01.02.2013.
9. Глухов Я.В. Программа расчета относительных значений полного электронного содержания по характеристикам ГНСС ГЛОНАСС/GPS/Galileo. – Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619293, ФИПС, 01.10.2013.
10. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 1, 2. – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005.
11. Тертышников А.В., Иванов И.И., Денисенко П.Ф., и др. Способ определения положения эпицентральной зоны источника и скорости распространения перемещающихся ионосферных возмущений и комплекс для его реализации. Заявка на изобретение. М.: ФИПС, 2014, рег. № 2014125712 от 11.07.2014 г.
12. Тертышников А.В. Аномальное изменение характеристик псевдопозиционирования навигационных приемников вблизи слабого землетрясения в Туапсе/Международная научно-практическая конференция «Комплексные проблемы техносферной безопасности», 12 ноября 2014 г., Воронеж.
13. Тертышников А.В., Чукин В.В., Бабурин Д.И., Нгуен Т.Т., Никулин В.В., Стальмаков Д.А., Тлатов А.Г. Предварительные результаты исследований ионосферы в районе Кисловодска//Учёные записки РГГМУ. 2015, принято в печать.