

ИЗМЕРЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ С ПОМОЩЬЮ ПРИЛОЖЕНИЯ TROPoGNSS

Калинников В. В., vlad-kalinnikov@mail.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет

За последнее десятилетие использование радиосигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) для зондирования атмосферы получило широкое распространение. При этом особенно большой перспективой практического применения обладает оценивание по этим сигналам интегрального содержания водяного пара (IWV) в атмосферном столбе [1]. Большим плюсом этого направления по сравнению с СВЧ-радиометрией и солнечной фотометрией является всепогодность: системы ГНСС работают в дециметровом диапазоне радиоволн, вследствие чего их сигналы практически свободны от влияния аэрозолей, дождевых капель и облаков [2].

В 2012 - 2013 годах в Казанском федеральном университете было разработано приложение TropoGNSS v1.0 для определения интегрального содержания водяного пара по измерениям радиосигналов ГНСС. Методика, заложенная в TropoGNSS, представляет собой достаточно сложный алгоритм. В основе этого алгоритма лежит сравнение геометрических расстояний между наземным приемником и спутниками с измеренными фазовыми псевдодальностями. Вследствие наличия рефракции, в псевдодальностях присутствует тропосферная задержка, непрерывные ряды которой с дискретностью 5 минут определяются фильтром Калмана. С помощью дополнительно измеряемых приземных значений давления и температуры ряды тропосферной задержки пересчитываются в ряды интегрального содержания водяного пара [3, 4].

Уже в первой версии TropoGNSS были заложены модели для учета ряда эффектов, влияющих на фазовые измерения радиосигналов ГНСС. К ним относятся круговая поляризация радиоволн, вариации и сдвиги фазовых центров антенн спутников и приемников, деформации земной коры из-за твердых приливов, океанических нагрузок и поступательного движения литосферных плит. Подробнее об этом можно ознакомиться в [5].

В дальнейшем происходила модернизация приложения TropoGNSS. В текущей версии 2.0 была добавлена модель для определения поправок в координаты приемника из-за

движения полюсов. Выполнена замена использовавшейся ранее для связи наклонной и зенитной тропосферных задержек картирующей функции Мендеса на более точную функцию Нила в комбинации с моделью MOPS [6]. Важным нововведением стал также переход от априорной оценки точности результатов к апостериорной.

Расчет рядов интегрального содержания водяного пара с дискретностью 5 минут нами производится для порядка 15 ГНСС станций в Среднем Поволжье. Последние позволяют восстанавливать пространственное поле этой величины, как показано на рисунке 1.

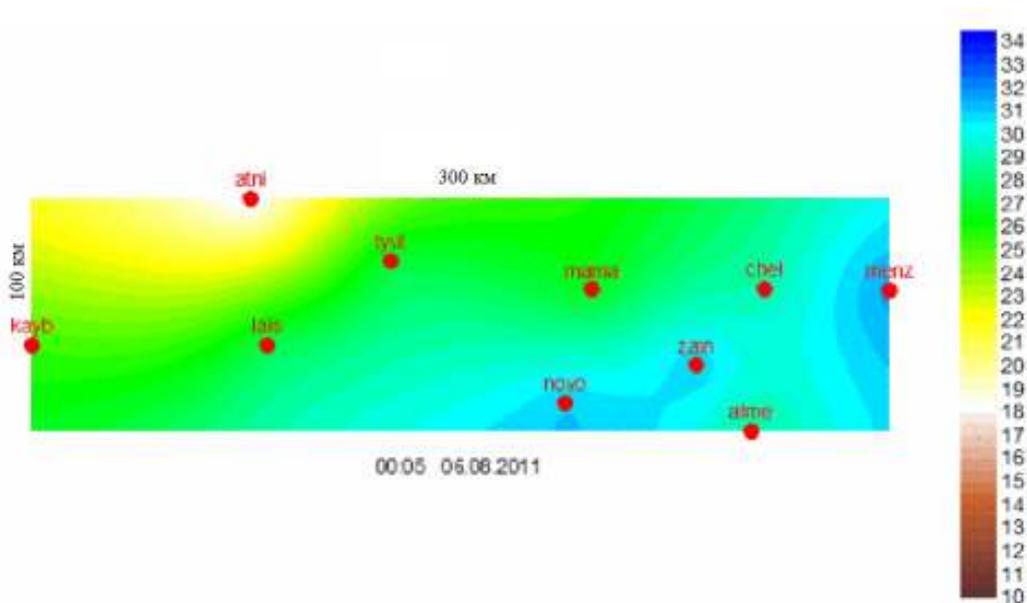


Рис 1. Поле интегрального содержания водяного пара (в мм осажденной воды)

Важным вопросом является проверка получаемых значений интегрального содержания водяного пара по независимым данным. В Среднем Поволжье к таковым можно отнести данные радиозондирования. Запуски радиозондов производятся два раза в сутки на аэрологических станциях, которые имеют коллокацию со станциями ГНСС для рассматриваемого региона в Казани, Оренбурге, Пензе и Уфе. Результаты сравнения за 2014 год, приведенные на рисунке 2, показывают хорошее согласование со стандартным отклонением около 2 мм осажденной воды. Отметим, что на сравнение оказывают влияние как ошибки ГНСС, так и ошибки радиозондирования. В любом случае, полученный уровень согласования полностью соответствует требованиям, предъявляемым к точности определения интегрального содержания водяного пара [7].

В 2014 году приложение TgoroGNSS прошло процедуру государственной регистрации программ для ЭВМ (свидетельство № 2014614454).

В завершении хочется отметить некоторые направления практического использования интегрального содержания водяного пара, получаемого по измерениям радиосигналов ГНСС.

В первую очередь это прогнозирование метеорологической обстановки, в особенности осадков, туманов, облачности. Использование выше описанных данных позволяет уточнить высоту нижней границы облаков, что представляет интерес для авиации. Последнее также предполагает необходимость установки ГНСС станций в аэропортах.

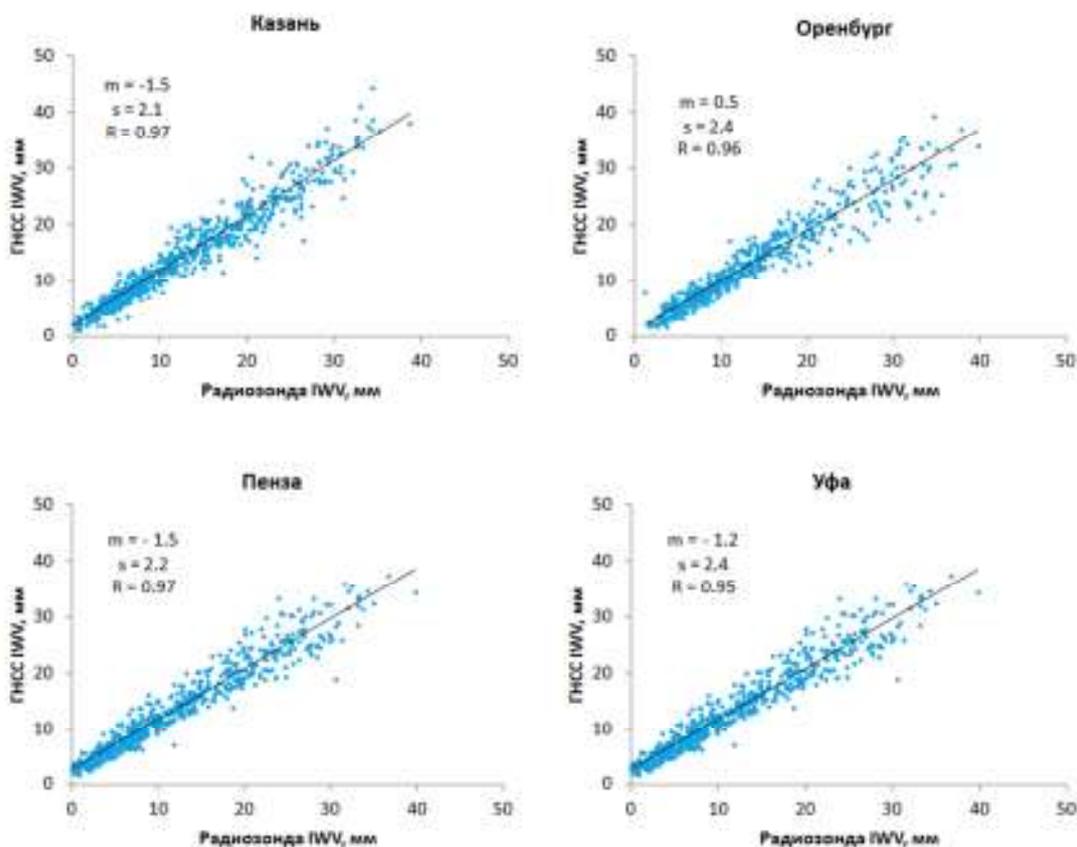


Рис. 2. Сравнение интегрального содержания водяного пара (IWV) по данным ГНСС и радиозондирования. Обозначения: m – среднее отклонение, s – стандартное отклонение, R – коэффициент корреляции

Литература

1. Калинин В.В. Восстановление интегрального влагосодержания атмосферы с помощью глобальных навигационных спутниковых систем, автореферат диссертации – Казань, 2013, 18 с.
2. Solheim F.S., Vivekanandan J., Ware R.H., et al. Propagation delays induced in GPS signals by dry air, water vapor, hydrometeors, and other particulates, JGR, 1999, vol. 104, D8, pp. 9663-9670.
3. Mendes V. B. Modeling the neutral-atmospheric propagation delay in radiometric space techniques, Tech. Report № 199. – New Brunswick, UNB, 1999, 353 p.
4. Rueger J.M. Refractive indices of light, infrared and radio waves in the atmosphere, UNISURV Report S-68. – Sydney, UNSW, 2002, 104 p.
5. Xu G. GPS. Theory, algorithms and applications. – Berlin, Springer, 2007, 340 p.

6. Niell A. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths, JGR, 1996, vol. 101, B2, pp. 3227-3246.
7. Тимофеев Ю. М. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности. – СПб., изд-во СПбГУ, 2010, 129 с.