

Российский государственный
гидрометеорологический университет

**ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
ВОДЯНОГО ПАРА В АТМОСФЕРЕ
НАВИГАЦИОННЫМИ СПУТНИКОВЫМИ
СИГНАЛАМИ**

Авторы: Чукин В.В.,
Алдошкина Е.С.
Обрезкова И.В.

Санкт-Петербург
2010

Цель работы

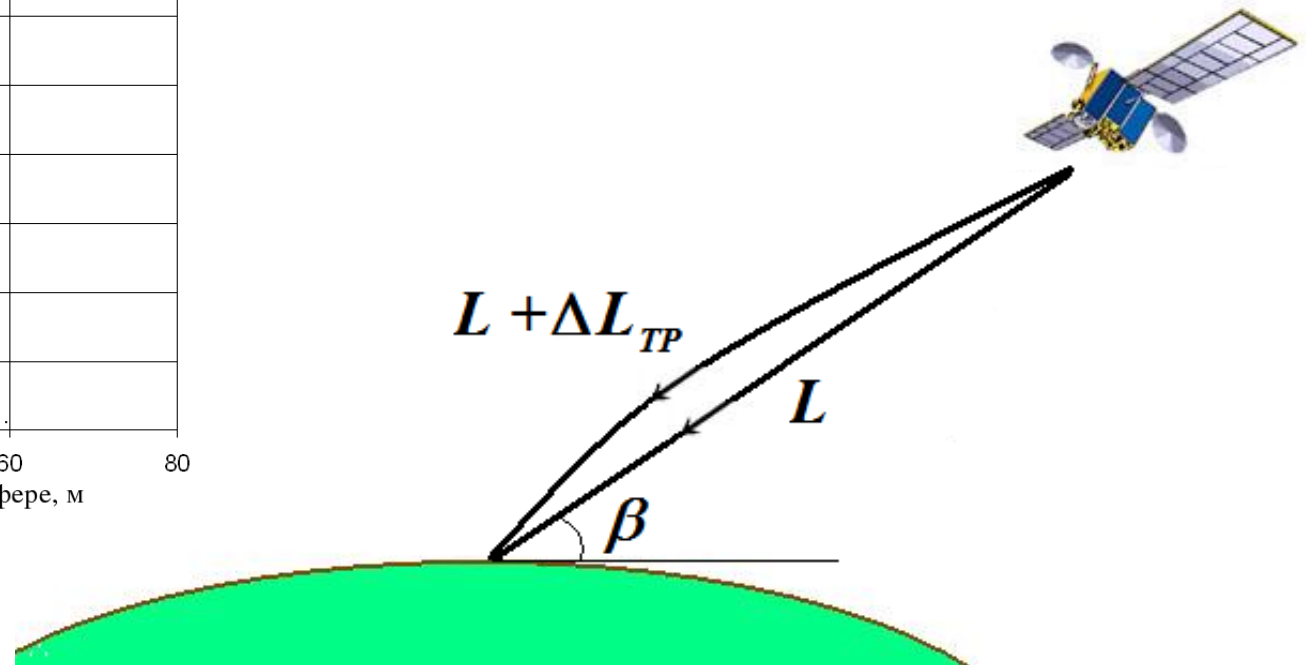
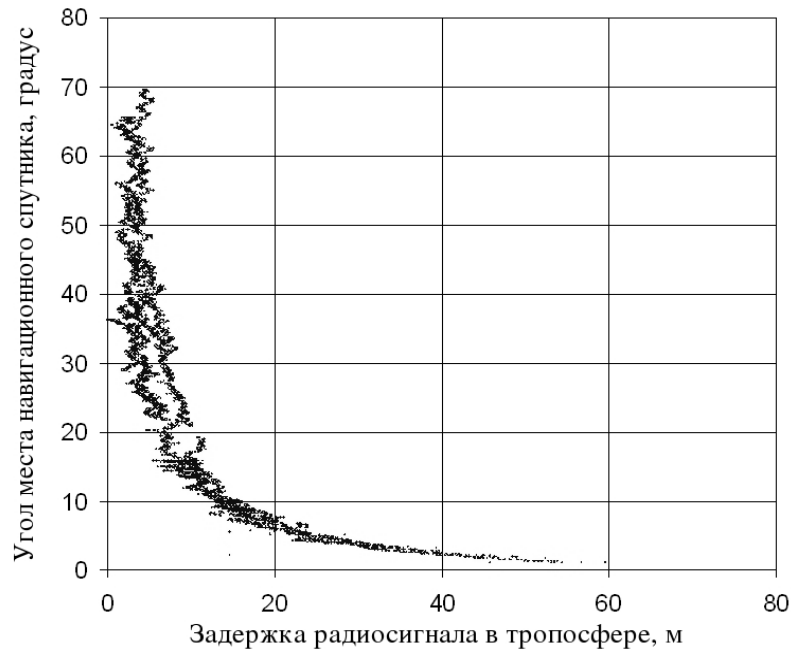
Целью работы является создание метода дистанционного зондирования водяного пара в атмосфере, основанного на регистрации сигналов спутниковой навигационной системы.

Актуальность

Актуальность исследования определяется современными требованиями, предъявляемыми к системам зондирования атмосферы: доступность, надежность, простота и экономичность эксплуатации.

В соответствии с результатами проведенного 19.06.2009 г. Президентом РФ Медведевым Д.А. первого заседания Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики одним из пяти направлений развития экономики страны являются космические технологии, прежде всего связанные с телекоммуникациями (ГЛОНАСС и наземная инфраструктура).

Задержка радиосигнала в тропосфере



Дополнительная задержка радиосигнала, связанная с прохождением через тропосферный слой определяется выражением:

$$\Delta L_{TP} = \int_0^L (n - 1) dl$$

Распространение радиоволн в тропосфере

Дополнительная задержка радиосигнала:

$$\Delta X = \int_0^L (n - 1) dz$$

Показатель преломления радиоволн:

$$n = 1 + \frac{k_1(P - e)}{T} + \frac{k_2 e}{T} + \frac{k_3 e}{T^2}$$

Дополнительная задержка радиосигнала в сферически-слоистой атмосфере:

$$\Delta X(\beta) = \int_0^{\infty} \sqrt{1 - \frac{R^2 n_0^2 \cos^2 \beta}{(R + z)^2 n^2(z)}} dz$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x}$$

где \mathbf{y} -вектор результатов измерения задержек радиосигнала в тропосфере; \mathbf{x} – вектор значений показателя преломления; \mathbf{A} - матрица преобразования, элементы которой:

$$a_{ij} = \frac{\Delta z_i \omega_l}{\sqrt{1 - \frac{R^2 n_0^2 \cos^2 \beta}{(R + z_i)^2 n_i^2}}}$$

Определение вертикального профиля показателя преломления радиоволн

Обратная задача:

$$\mathbf{x}_s = \mathbf{x}_0 + \left[\mathbf{A}^T \mathbf{K}_y^{-1} \mathbf{A} + \mathbf{R}_x^{-1} \right]^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{K}_y^{-1} \left[(\mathbf{y} - \mathbf{y}_{s-1}) - \mathbf{A}(\mathbf{x}_0 - \mathbf{x}_{s-1}) \right]$$

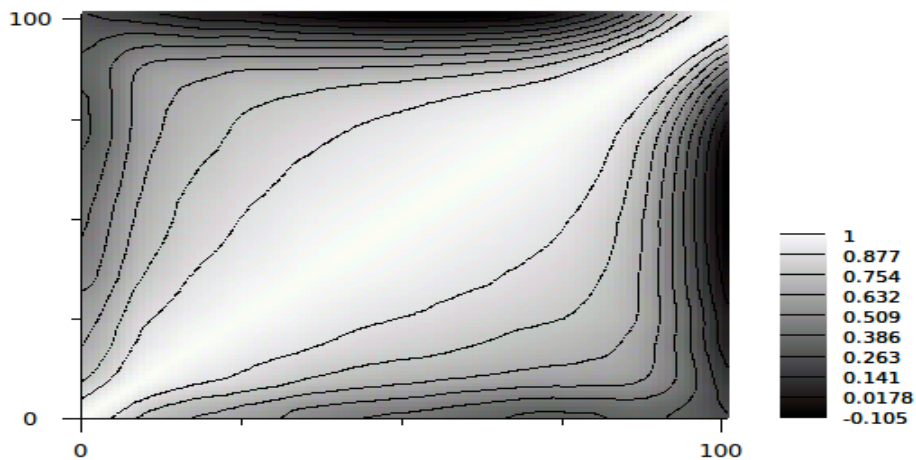
Матрица ошибок измерений:

$$\mathbf{K}_y = \sigma_y^2 \mathbf{I}$$

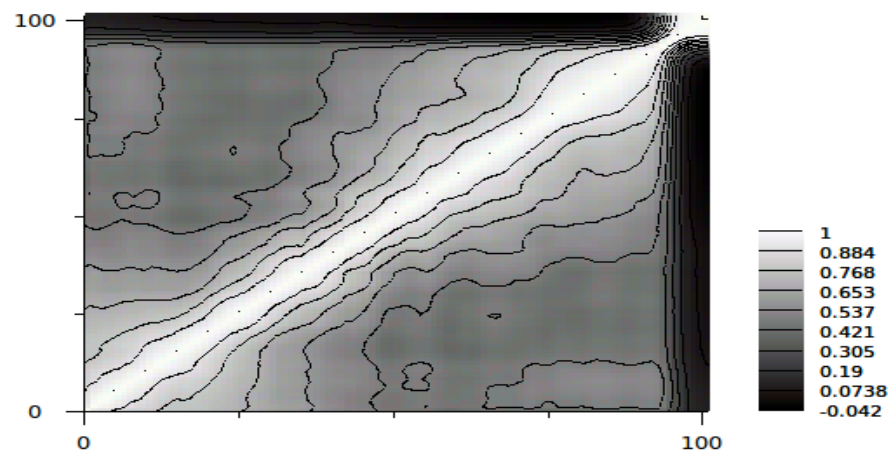
Ковариационная матрица:

$$\mathbf{R}_x = \left(\frac{\partial n}{\partial T} \right)^2 \mathbf{R}_T + \left(\frac{\partial n}{\partial P} \right)^2 \mathbf{R}_P + \left(\frac{\partial n}{\partial e} \right)^2 \mathbf{R}_e$$

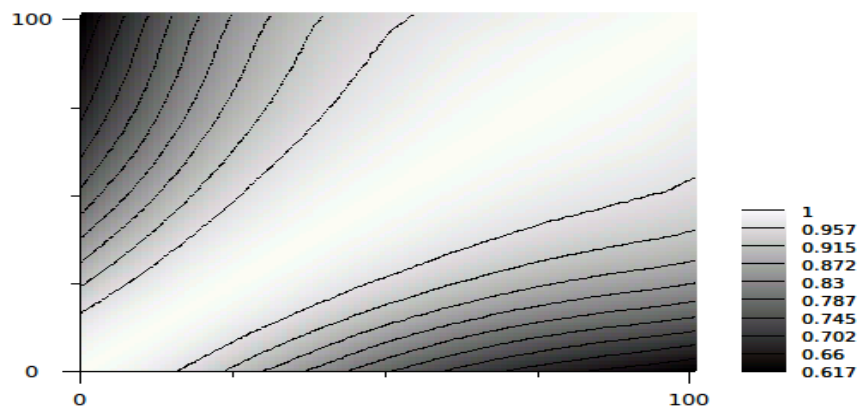
а) январь



б) июль



в) январь



г) июль

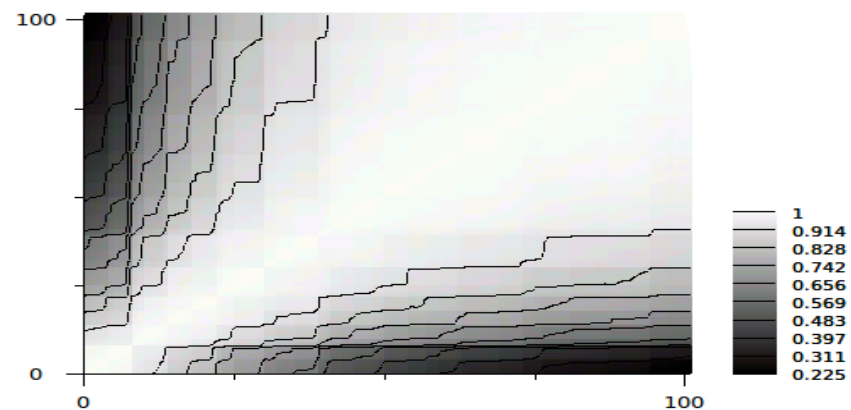


Рис.1 Матрицы ковариации полей: температура воздуха (а, б), атмосферного давления (в, г)

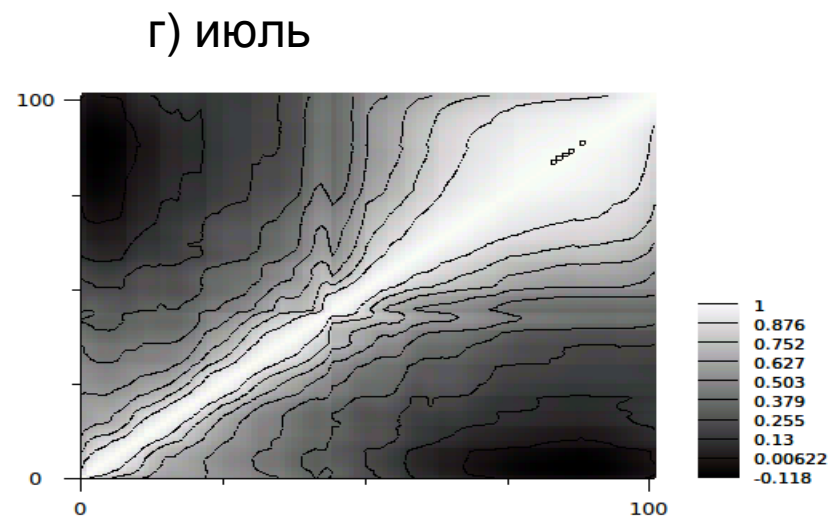
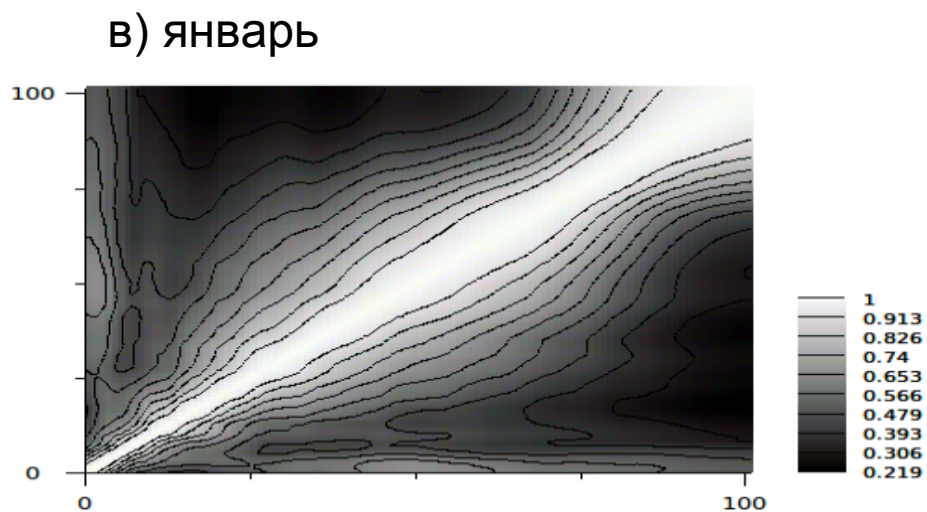
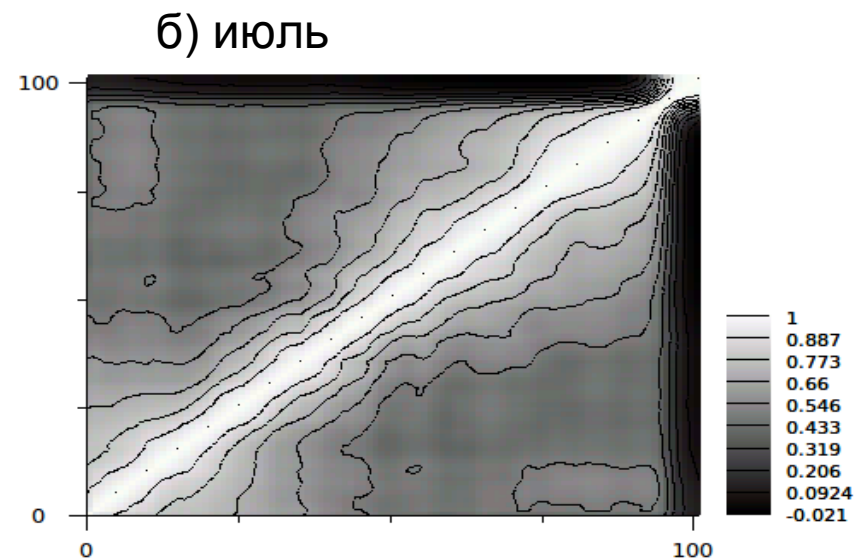
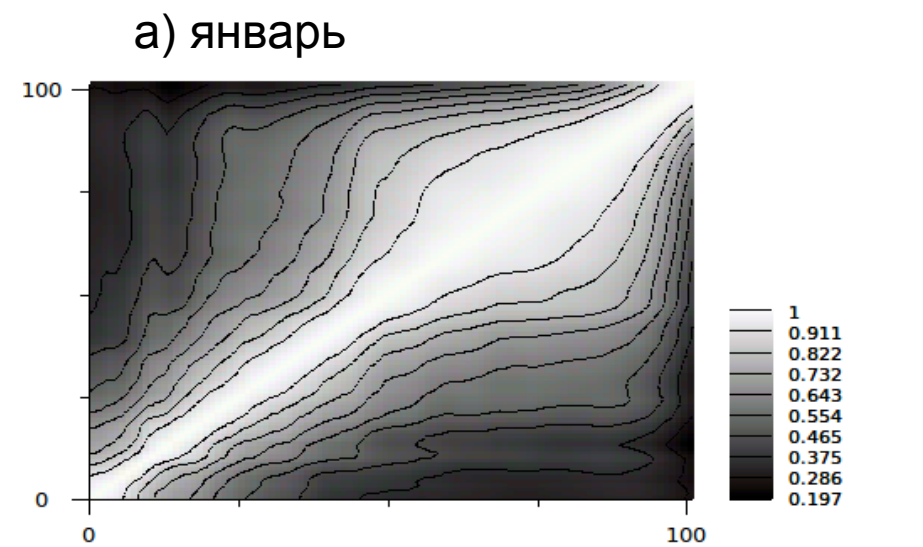


Рис.2 Матрицы ковариации полей: парциального давления водяного пара(а, б), показателя преломления радиоволн (в, г)

Восстановление профиля влажности воздуха

В результате математических преобразований получается выражение для определения удельной влажности по значениям показателя преломления:

$$q_i = \frac{R_d}{\frac{[(k_2 - k_1) \cdot T_i + k_3] R_v P_i - k_1 T_i - (R_v - R_d)}{(n_i - 1) T_i^2}}$$

$$T_i = T_{i-1} - \gamma \cdot \Delta z$$

$$P_i = P_{i-1} \frac{T_i}{T_{i-1}} \frac{R_d}{R_v} \frac{1}{1 + \frac{R_d}{R_v} \frac{g}{q_i}}$$

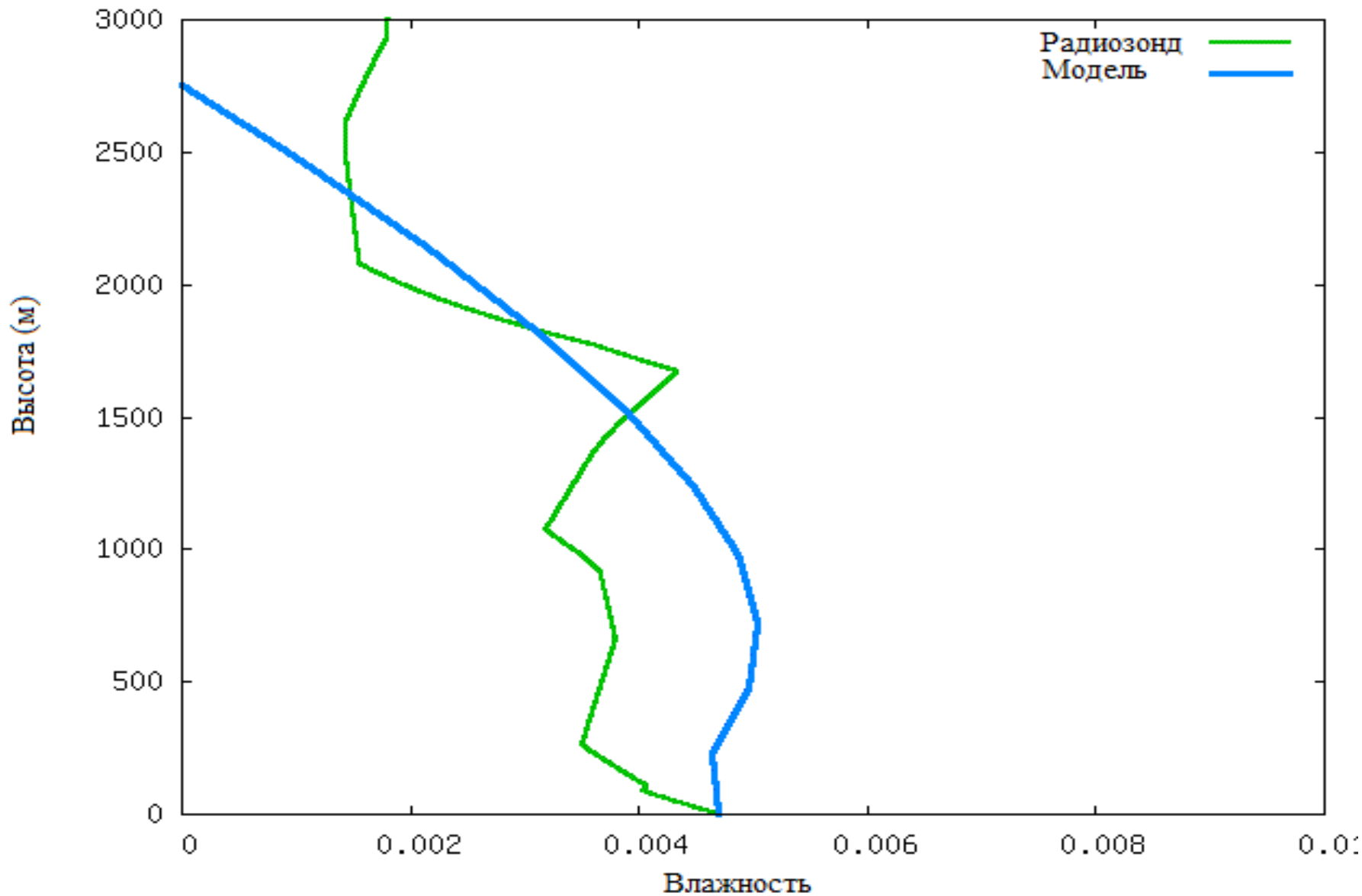


Рис.3 Вертикальный профиль массовой доли водяного пара

Заключение

Рассмотренный метод позволяет получать важную информацию о вертикальном распределении содержания водяного пара в нижних слоях атмосферы.

К достоинствам метода относятся его оперативность, "всепогодность" (независимость от наличия облаков), полная автоматизация, отсутствие расходных материалов при проведении дистанционного зондирования атмосферы.

Информация, получаемая этим методом, может быть использована в региональных численных моделях прогноза погоды с целью улучшения качества прогноза и его пространственной детализации.