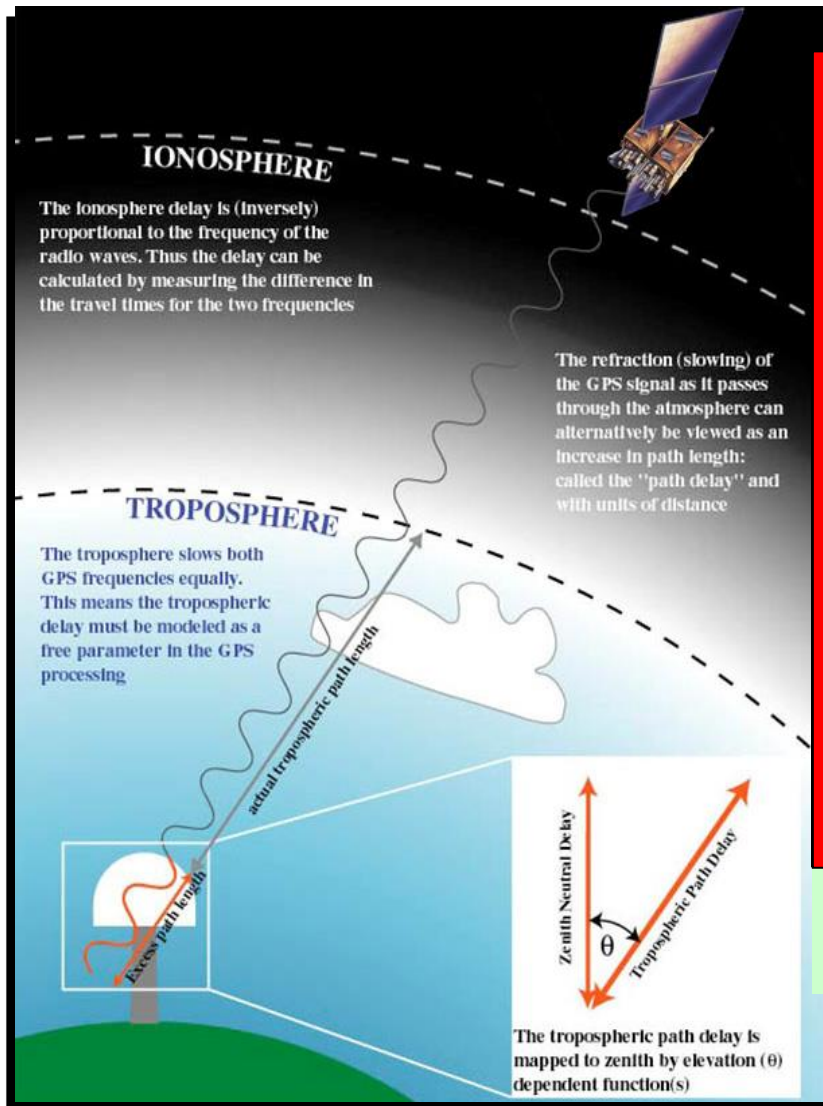


«Метеорологический мониторинг атмосферы на основе обработки ГНСС данных сети ZAKPOS»

Каблак Наталья

GEO-UA 2014

Общие теоретические основы GNSS метеорологии



Атмосферная
задержка

Ионосферная
задержка

Тропосферная
задержка

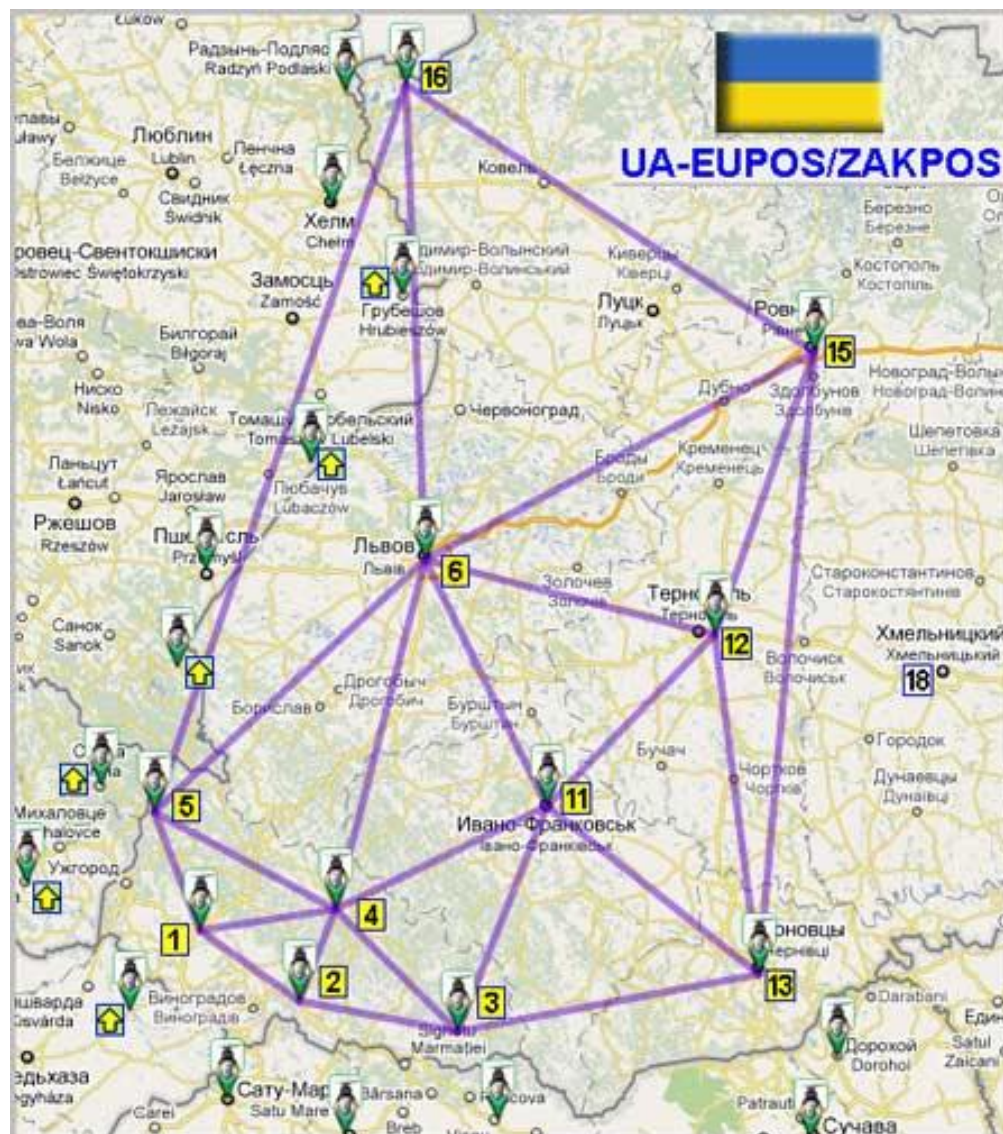
Сухая

Влажная

Используя значение тропосферной задержки, полученное при обработке GPS-наблюдений, можно вычислить осажденный водяной пар (IWV)

(масса водяного пара в столбе воздуха от поверхности Земли до верхней границы атмосферы с поперечным сечением 1 м²)

4 февраля 2009 - начались регулярные ГНСС-наблюдения на референционных станциях сети ZAKPOS (Transcarpathian Positioning Service) - первая сеть на территории Украины

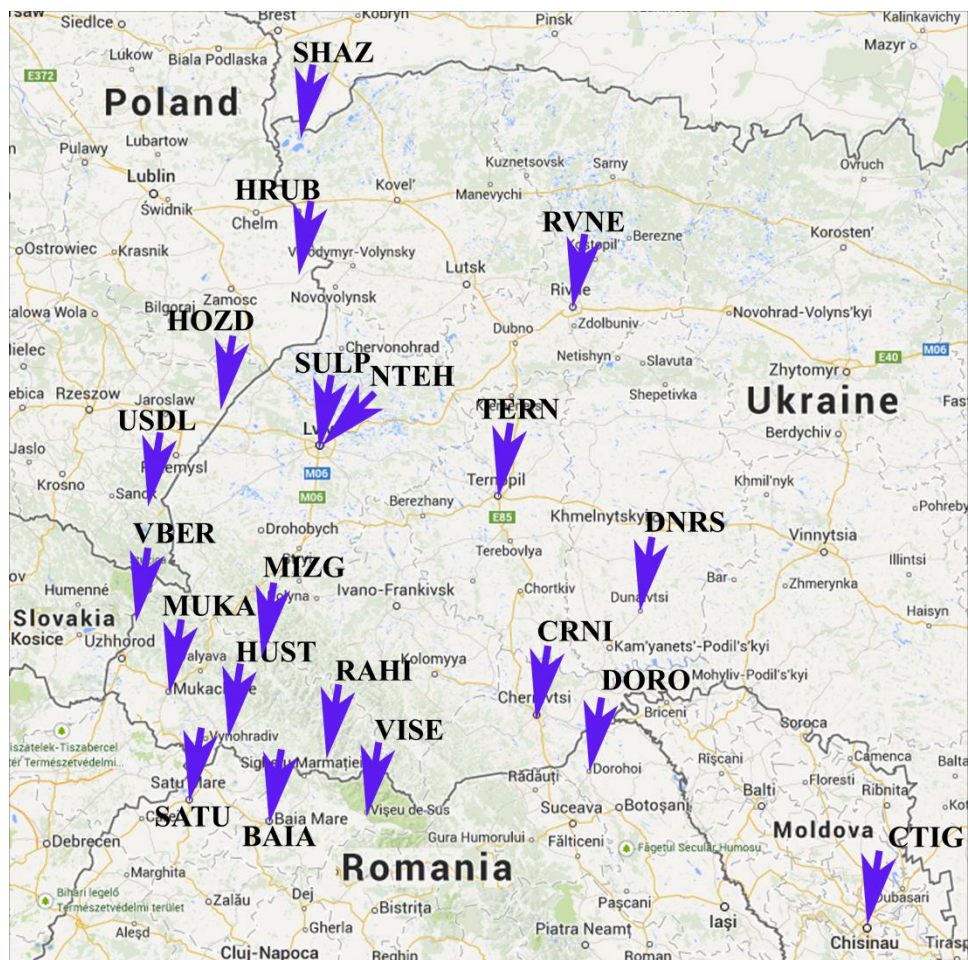


- | | |
|----|------|
| 1 | MUKA |
| 2 | HUST |
| 3 | RAHI |
| 4 | MIZG |
| 5 | VBER |
| 6 | SULP |
| 11 | FRAN |
| 12 | TERN |
| 13 | CRNI |
| 15 | RVNE |
| 16 | SHAZ |
| 18 | HMEL |

© ZAKPOS office
2010

Исследования проводились на основании результатов 845 измерений тропосферной задержки на 20 станциях сети UA-EUPOS/ZAKPOS

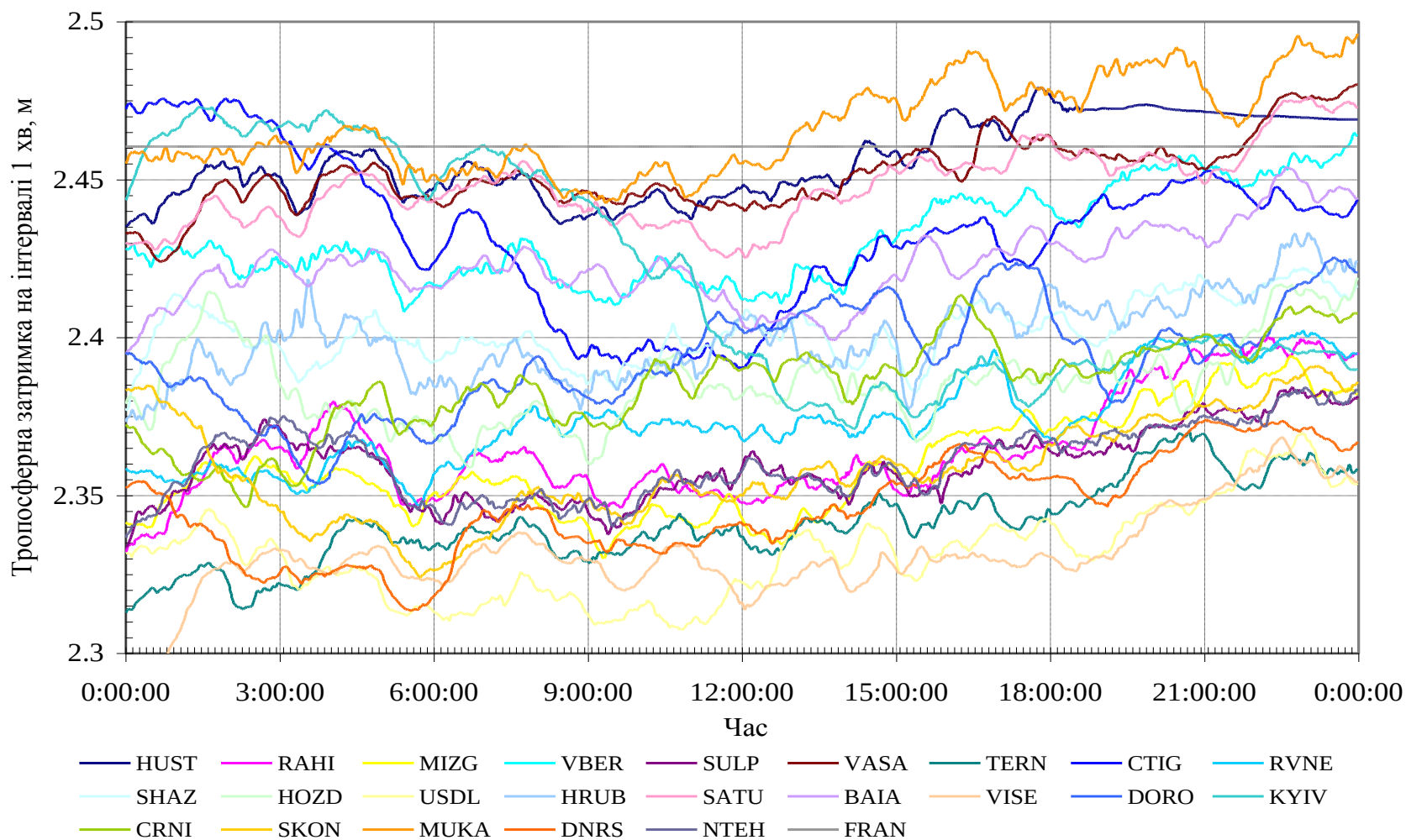
Схема размещения ГНСС-станций сети UA-EUPOS/ZAKPOS



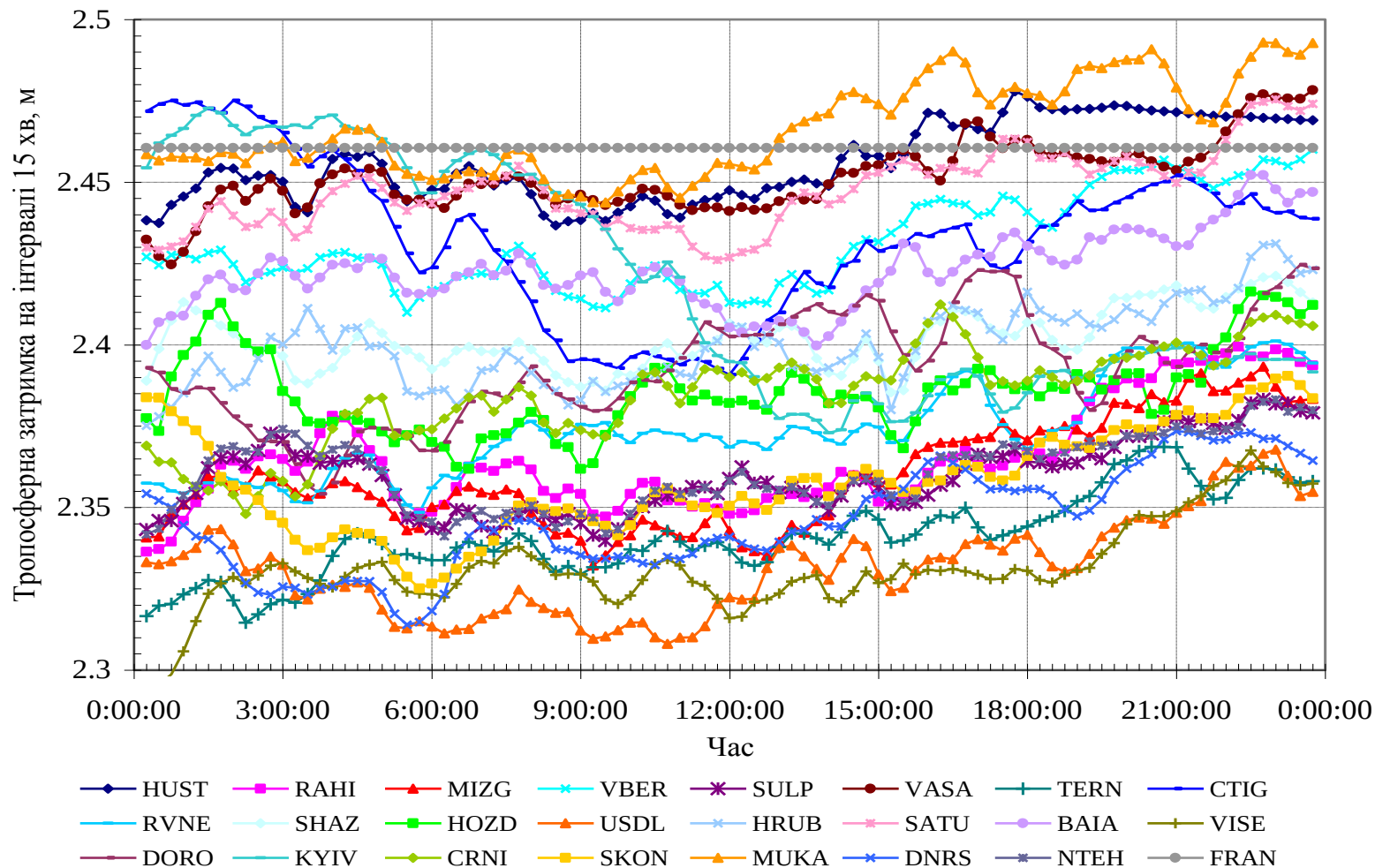
Тропосферные данные при обработке GNSS наблюдений в сети ZAKPOS

- A PRIORI MODEL: Niell MAPPING FUNCTION: Niell MIN. ELEVATION: 5
- (START TIME) (END TIME)
- STATION NAME FLG YYYY MM DD HH MM SS YYYY MM DD HH MM SS ZTD SIGMA
- #12 7 9 12 0 0.0000000
- HUST 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.48715 0.00001
- RAHI 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.38579 0.00001
- MIZG 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.39046 0.00001
- VBER 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.51023 0.00001
- SULP 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.47359 0.00001
- TERN 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.41766 0.00001
- CTIG 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.49810 0.00001
- RVNE 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.47298 0.00001
- SHAZ 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.46647 0.00001
- HOZD 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.43393 0.00001
- USDL 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.42967 0.00001
- HRUB 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.42615 0.00001
- SATU 0 2012 07 02 07 04 54.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.49222 0.00001
- BAIA 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.45834 0.00001
- VISE 0 2012 07 02 07 04 54.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.35837 0.00001
- DORO 0 2012 07 02 07 04 54.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.49212 0.00001
- CRNI 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.40929 0.00001
- SKON 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 05 12 42.00 2.46470 0.00000
- MUKA 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.51127 0.00001
- DNRS 0 2012 07 02 06 11 38.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.41099 0.00001
- NTEH 0 2012 07 02 06 07 40.00 2012 07 09 11 59 51.00 2.47436 0.00001

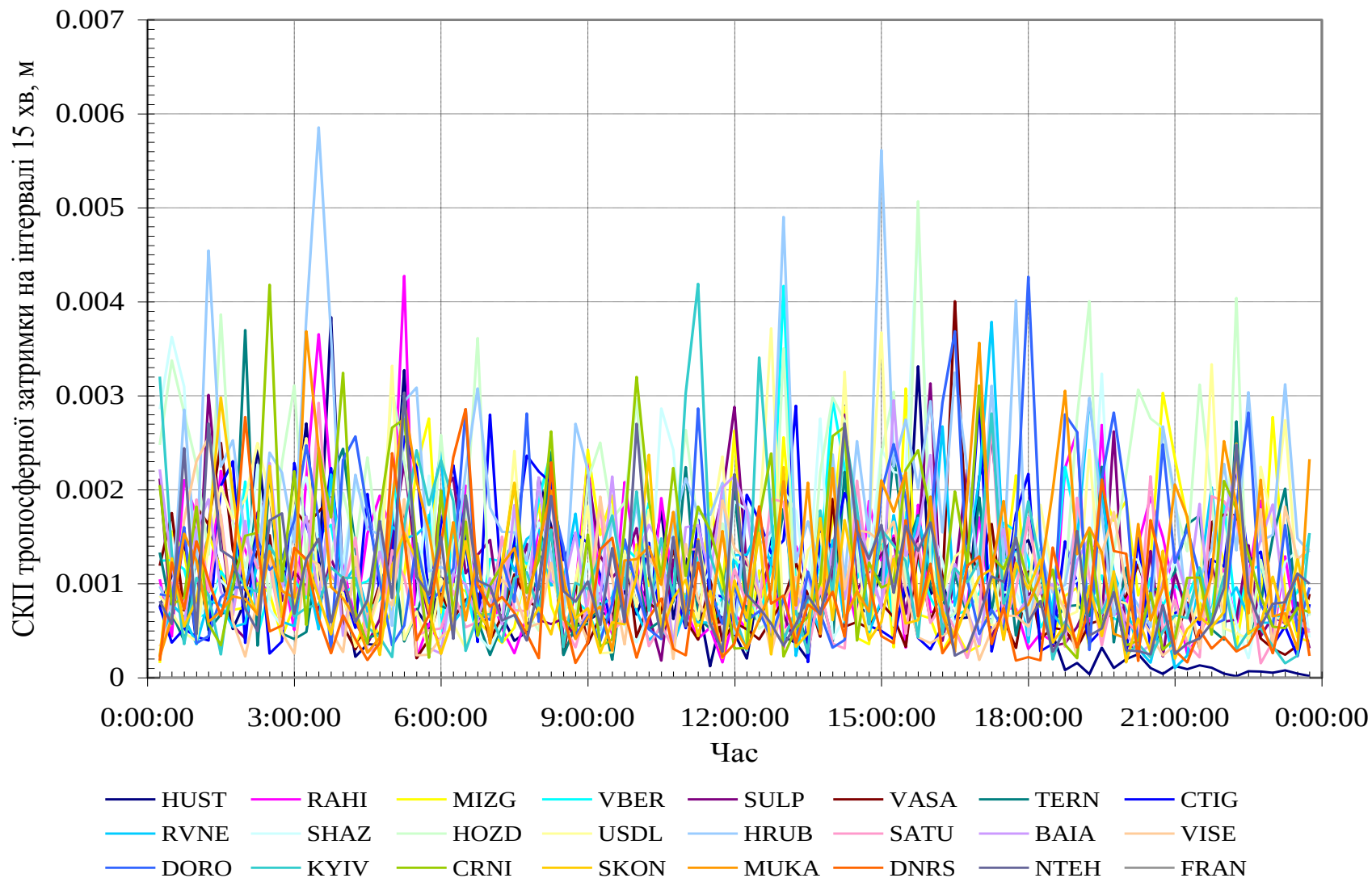
Кривые изменений тропосферных задержек на станциях сети с шагом 1 мин. (06.07.2012 г.)



Усредненные значения тропосферных задержек – интервал 15 мин.



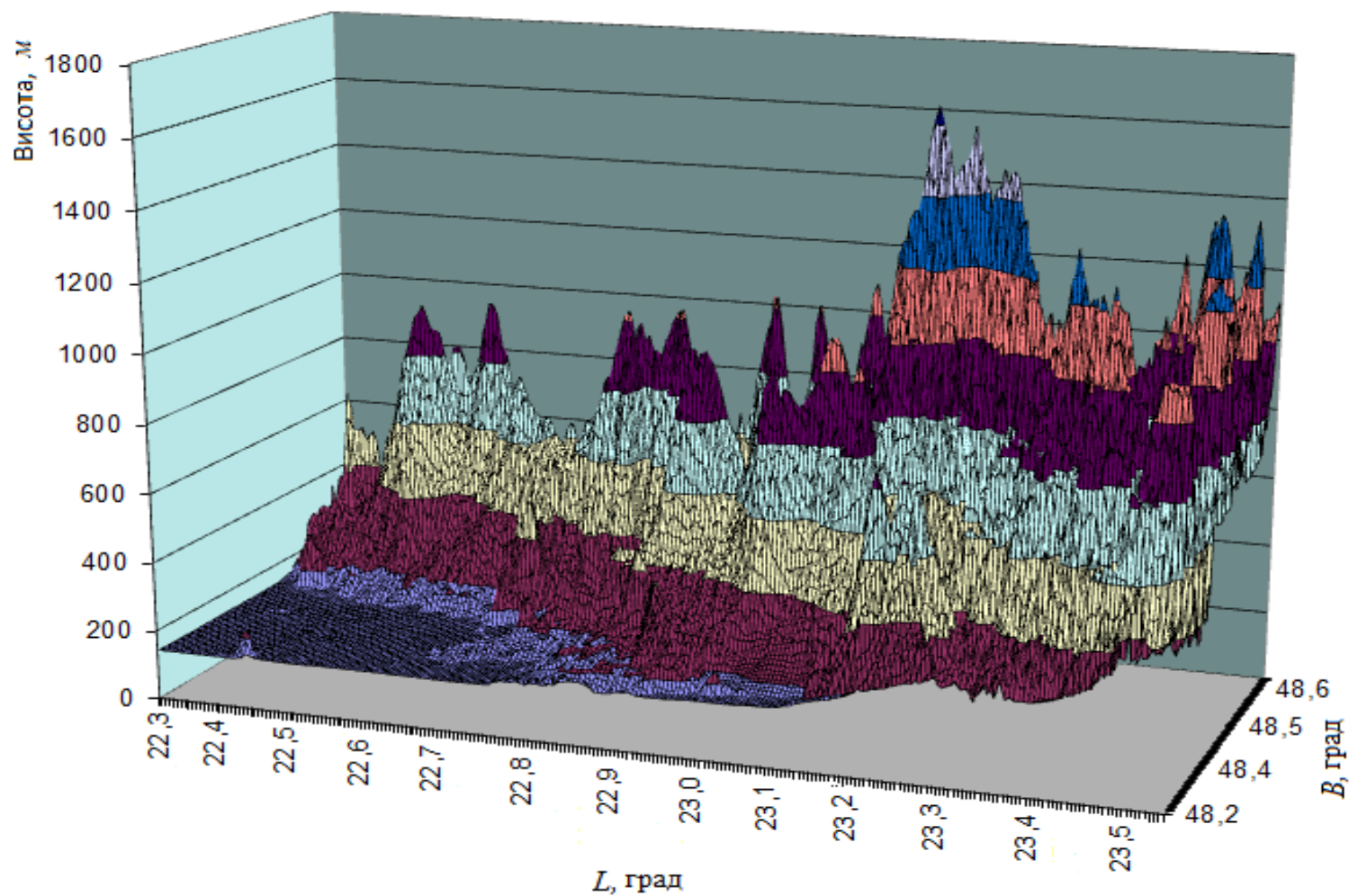
Среднеквадратичные отклонения усреднения - интервал 15 мин.



- Точность определения тропосферной задержки: 0,5-2 см
- Усреднение тропосферных задержек можно проводить с шагом 15-30 мин.

Разработана технология определения тропосферных задержек в любом пункте на территории покрытия сетью активных референционных станций UA-EUPOS/ZAKPOS.

Рельеф Закарпатской области.
Более 200 тысяч точек



Определение тропосферной задержки:

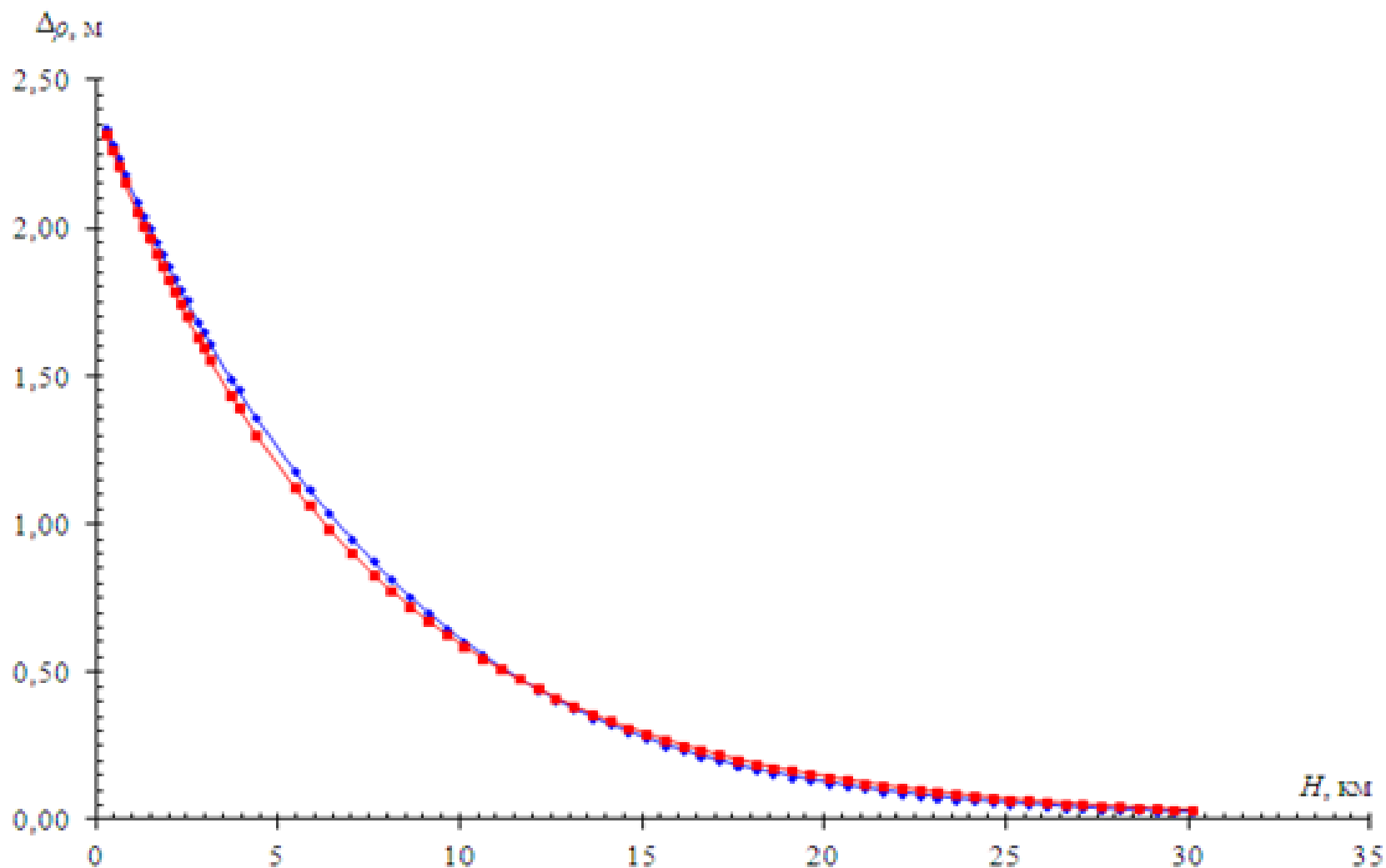
$$\frac{\Delta\rho_i}{\Delta\rho_{on}} = [C_0 + C_1(B_i - B_{on}) + C_2(L_i - L_{on})] \exp \left\{ -\frac{H_i - H_{on}}{C_3} \right\}$$

$\Delta\rho_i, B_i, L_i, H_i$ – зенитная тропосферная задержка и координаты i -й референционной станции;

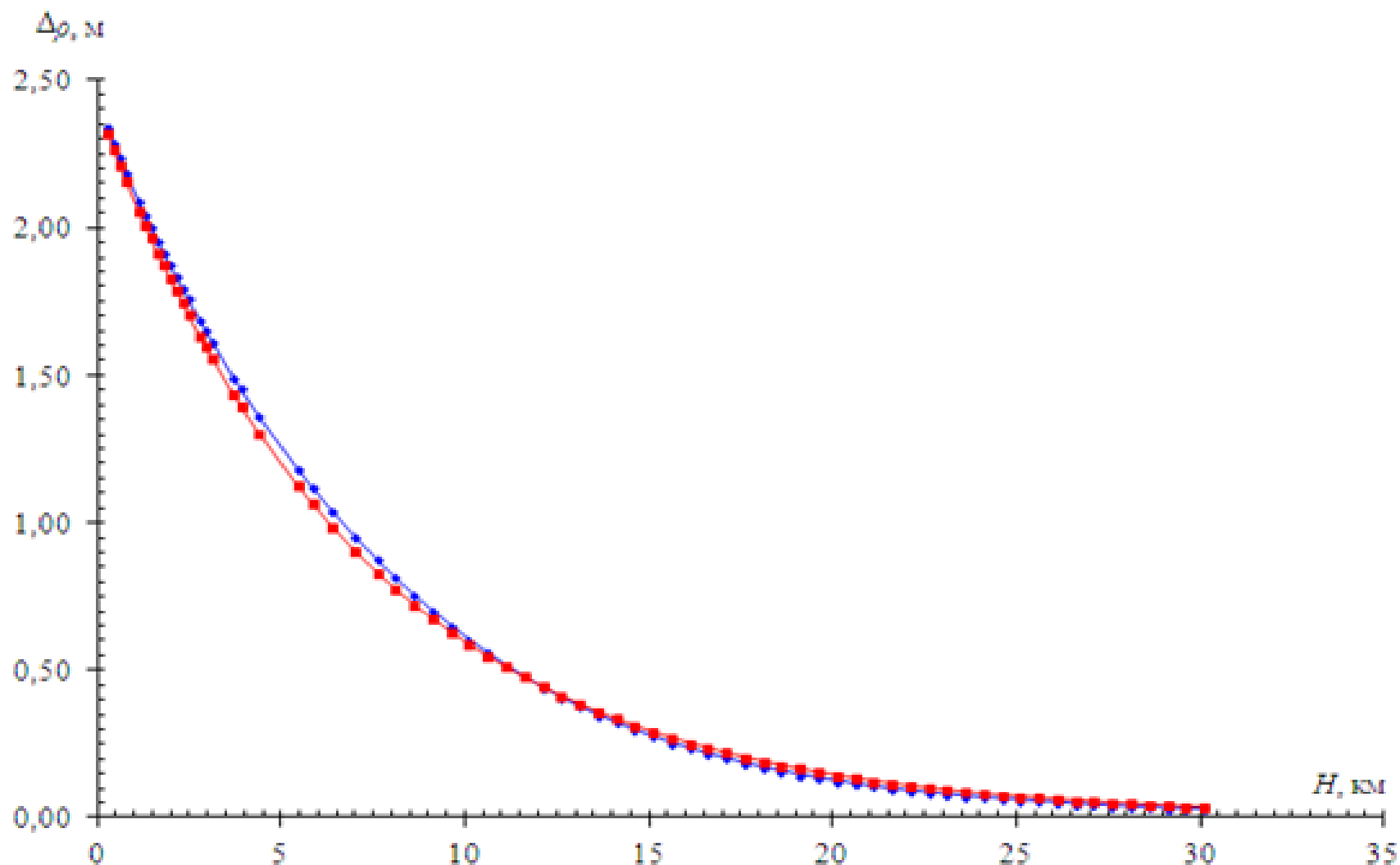
$\Delta\rho_{оп}, B_{оп}, L_{оп}, H_{оп}$ – зенитная тропосферная задержка и координаты опорной референционной станции.

C_0, C_1, C_2, C_3 – коэффициенты определяли методом наименьших квадратов на данный момент времени.

Графики зависимостей тропосферной задержки от высоты в пункте CRNI (Черновцы), 03.03.2013 г.

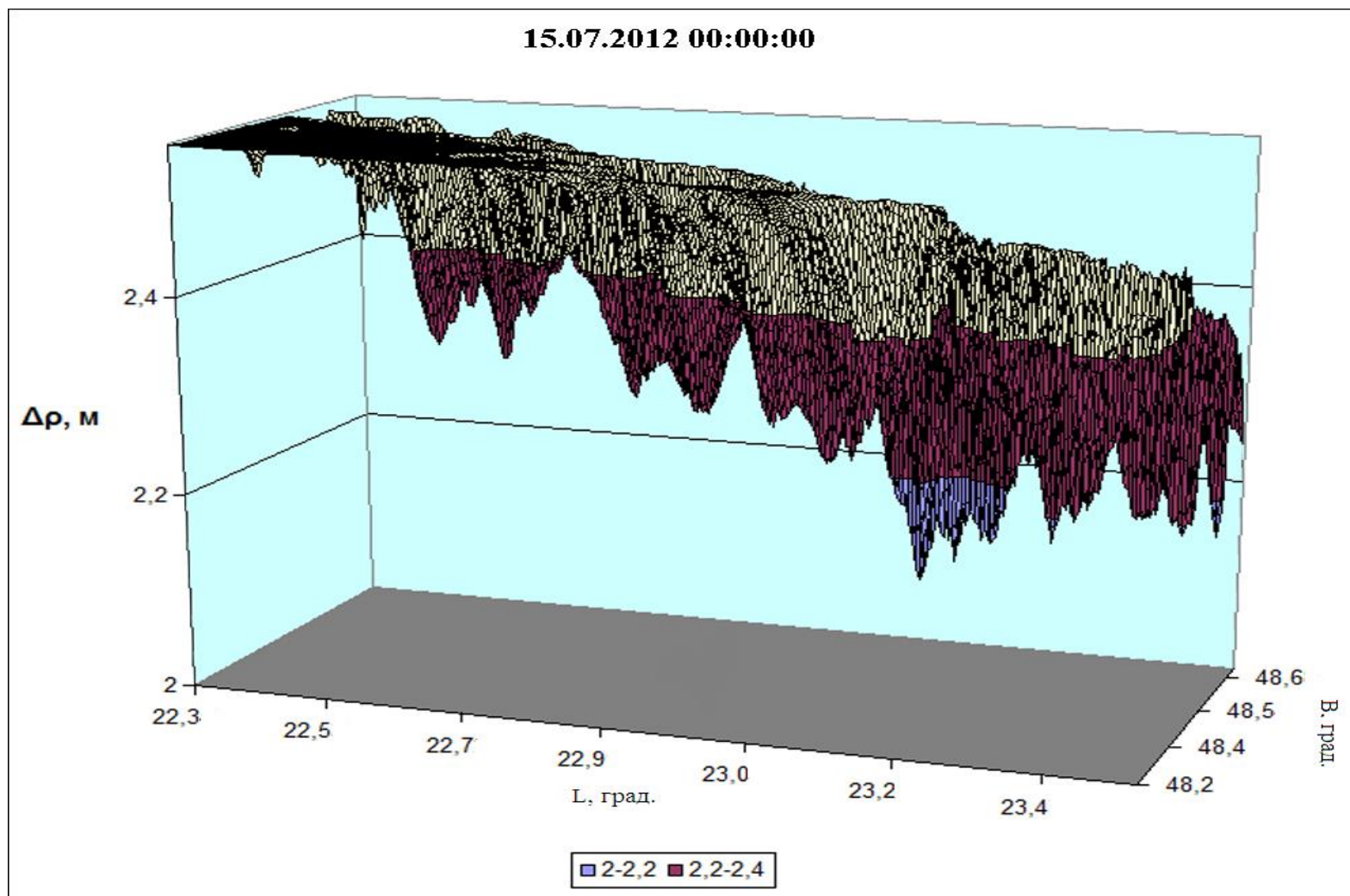


Графики зависимостей тропосферной задержки от высоты в пункте SULP (Львов), 14.02.2013 г.

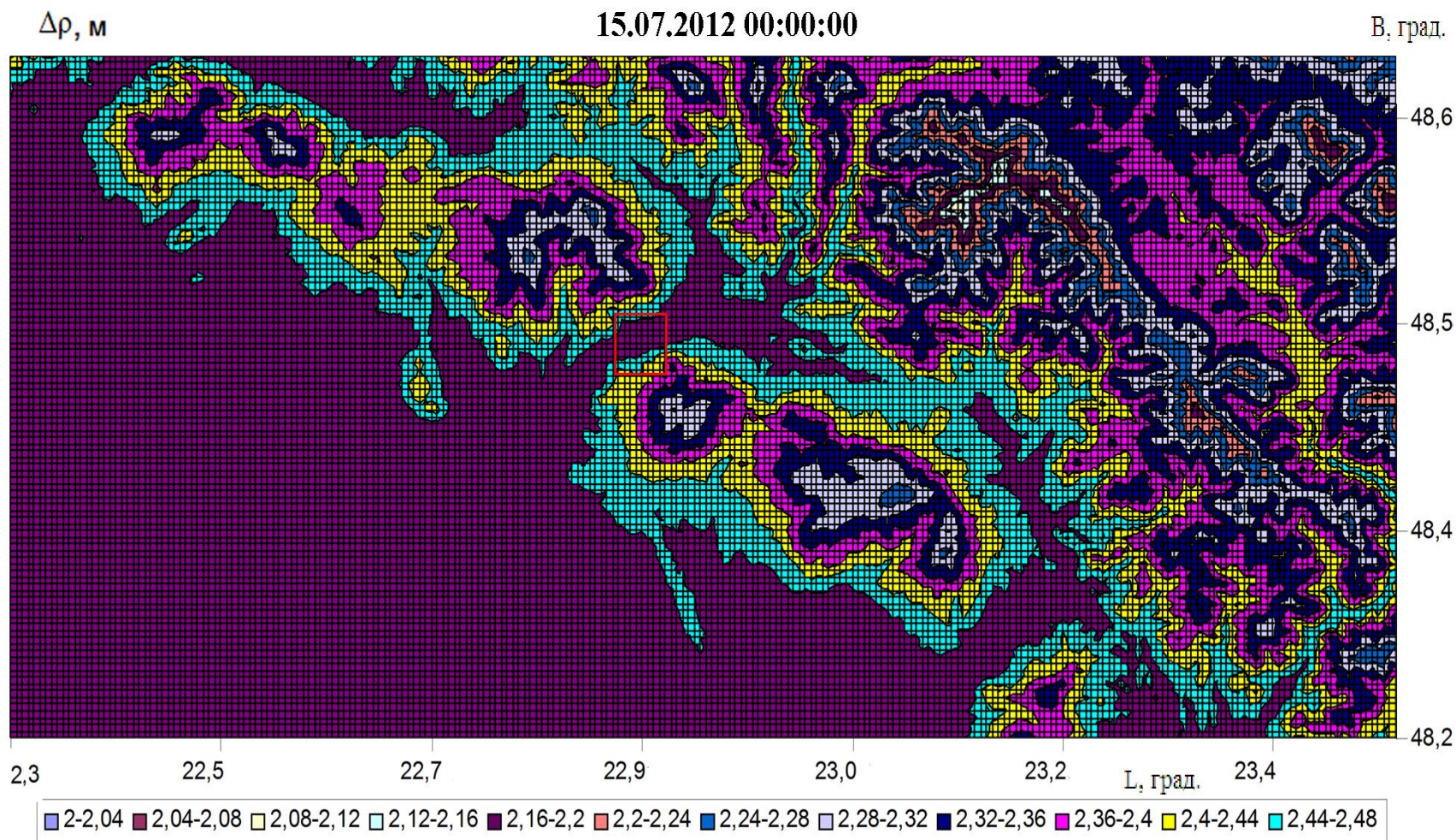


На рисунке приведены поверхность изменения тропосферной задержки на основе данных 20-ти референционных станций и интерполяционных методов определения тропосферной задержки на 200000 узловых точках регулярной планово-высотной сетки

Поверхность изменения тропосферной задержки



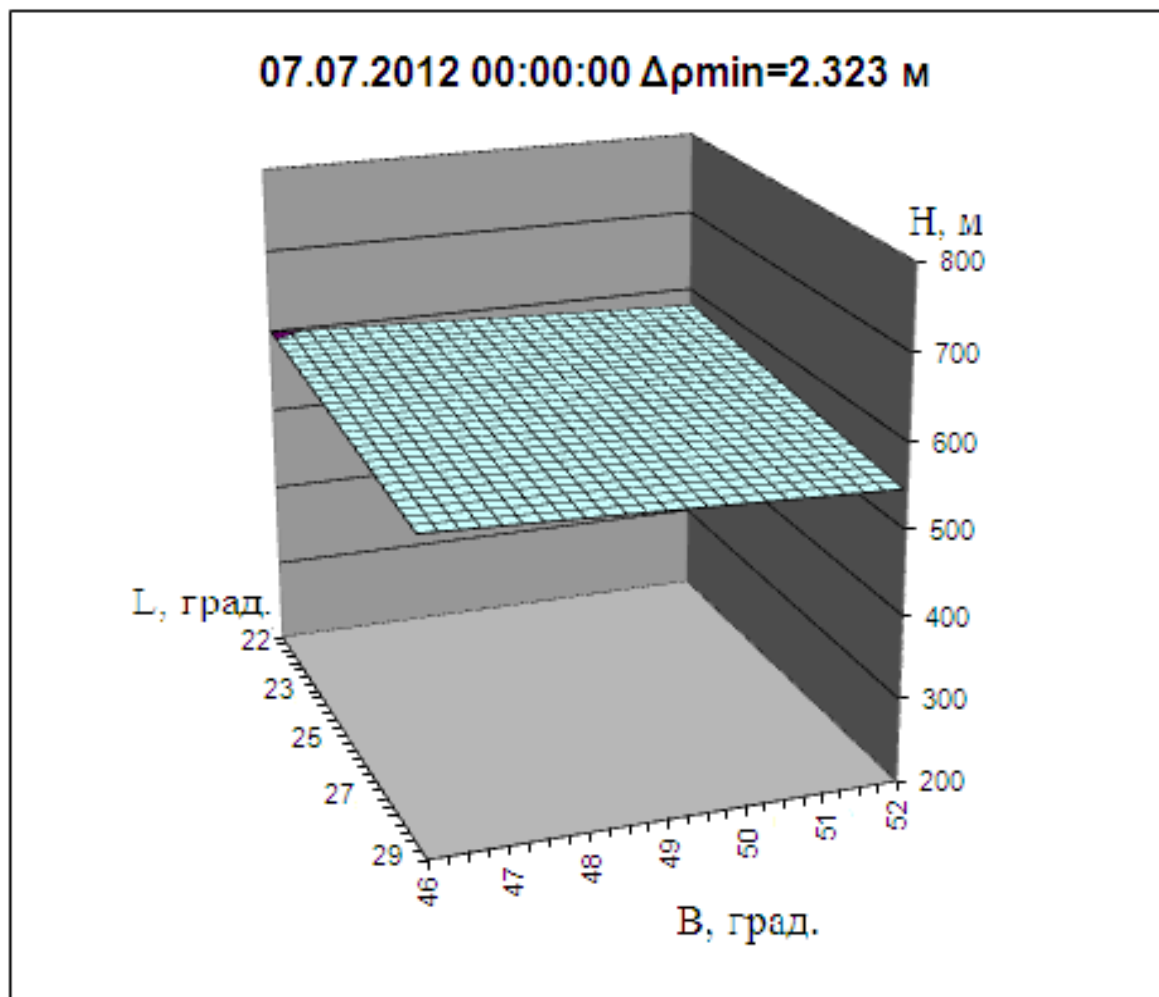
Изменение тропосферной задержки в виде ИЗОЛИНИЙ



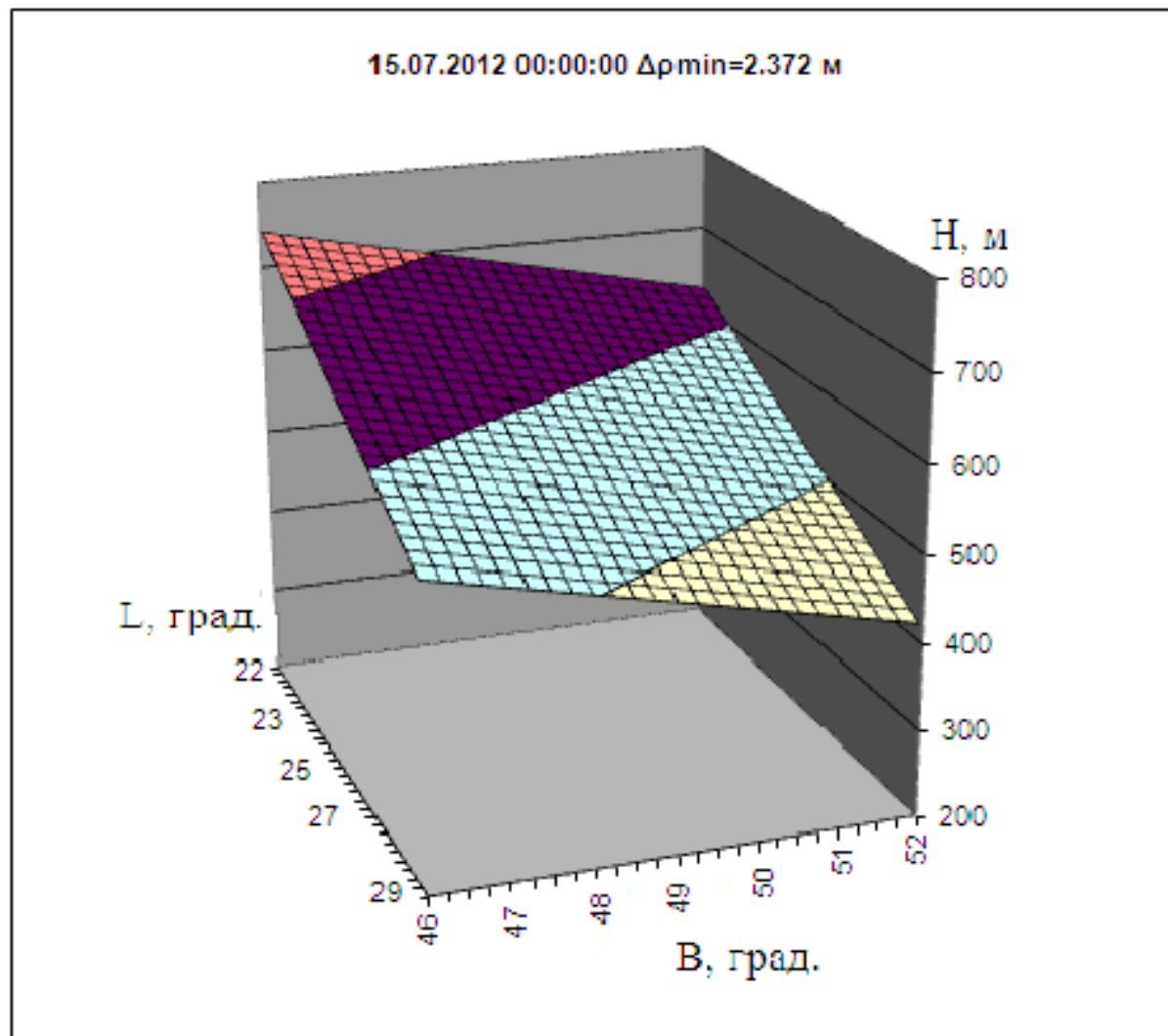
Разработана технология построения
изоповерхностей тропосферных задержек.

Изоповерхность значений тропосферной задержки

07.07.2012 г., UT 00^h00^m



Изоповерхность значений тропосферной задержки 15.07.2012 г., 00.00 UTC.



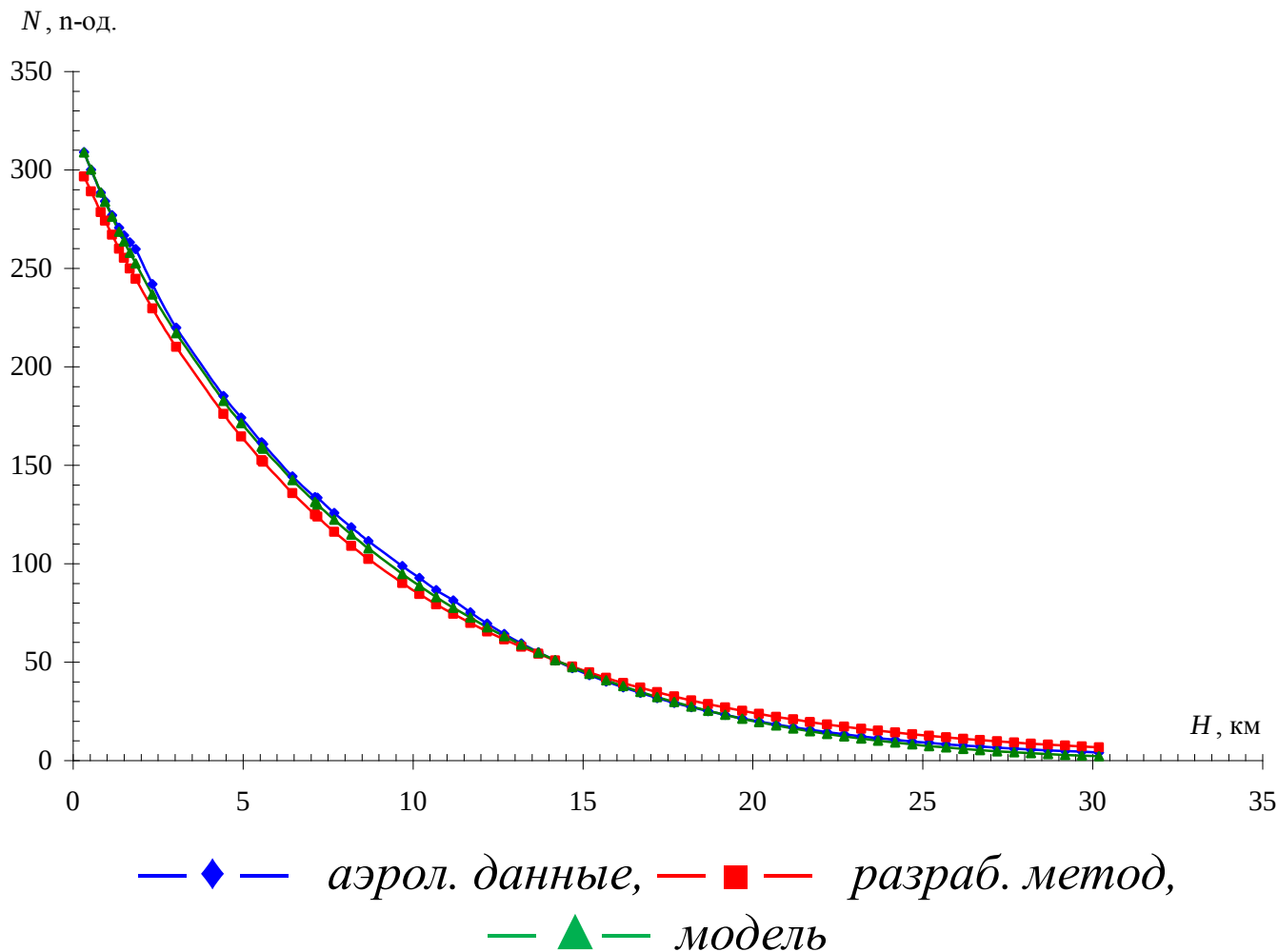
Высоты слоев тропосферы над референчными станциями сети UA-EUPOS/ZAKPOS с фиксированным значением тропосферной задержки

Дата	UTC	$\Delta\rho_{ГНСС}, \text{м}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	$\Delta H, \text{м}$
7.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,323	543	601	57
08.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,383	523	589	66
09.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,343	438	650	211
10.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,377	527	772	245
11.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,367	569	700	130
13.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,351	306	678	371
13.07.2012	12 ^h 55 ^m	2,335	6	965	959
15.07.2012	00 ^h 00 ^m	2,372	419	744	325
15.07.2012	12 ^h 55 ^m	2,329	269	937	668

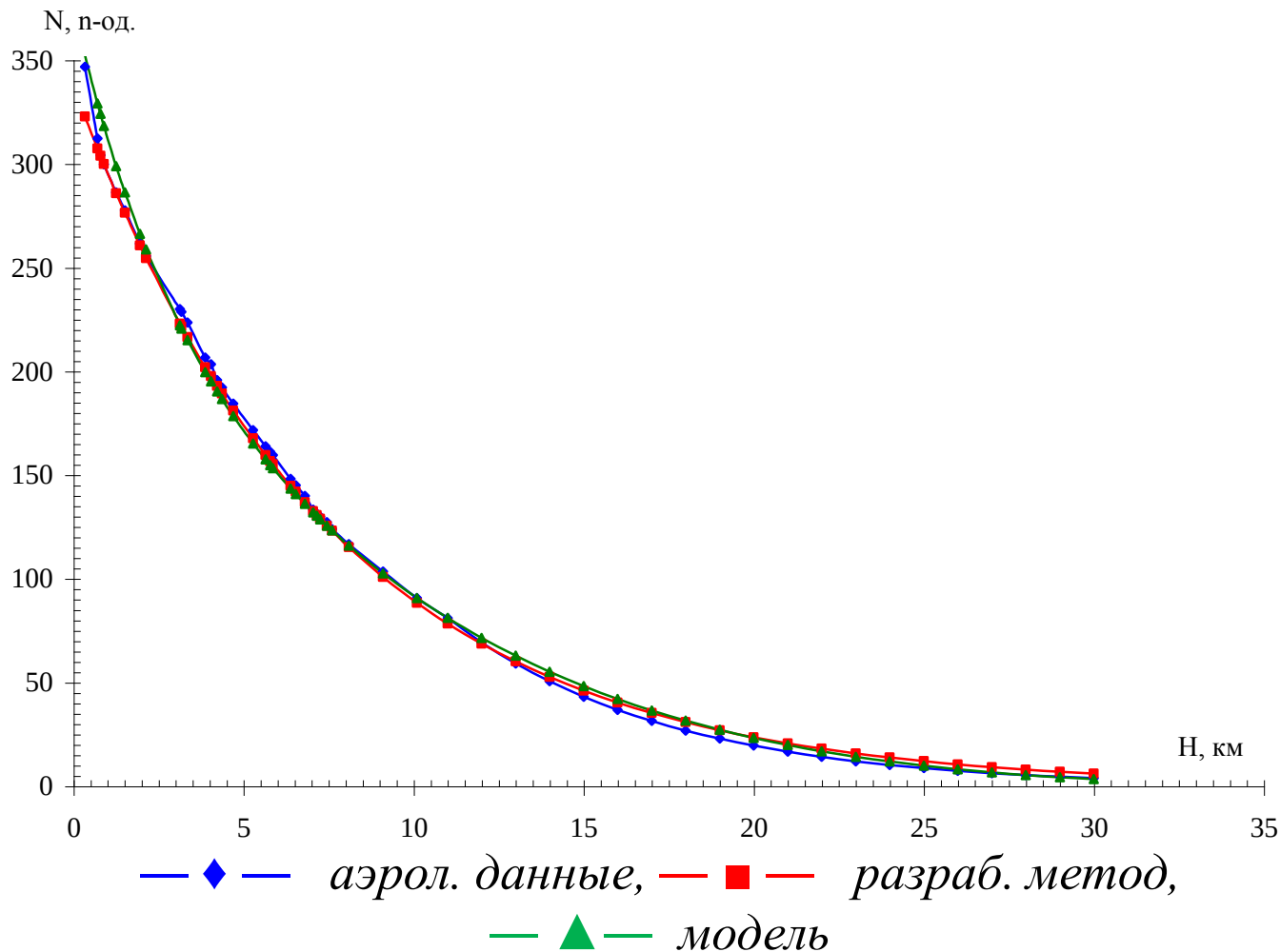
Разработан метод определения индекса показателя преломления над территорией покрытия сетью референционных станций:

$$N_i(H) = -10^6 \frac{\partial \Delta \rho}{\partial H} = \frac{10^6}{c_3} \Delta \rho_{on} [1 + c_1(B_i - B_{on}) + c_2(L_i - L_{on})] \exp \left(-\frac{H_i - H_{on}}{c_3} \right)$$

Графики зависимостей индекса показателя преломления от высоты в пункте SULP (Львов) 12.02.2013 г., 00.00 UTC.



Графики зависимостей индекса показателя преломления от высоты в пункте CRNI (Черновцы) 13.07.2012 г., 00.00 UTC.



Высотный ход индекса показателя преломления дает возможность определить изменение парциального давления с высотой.

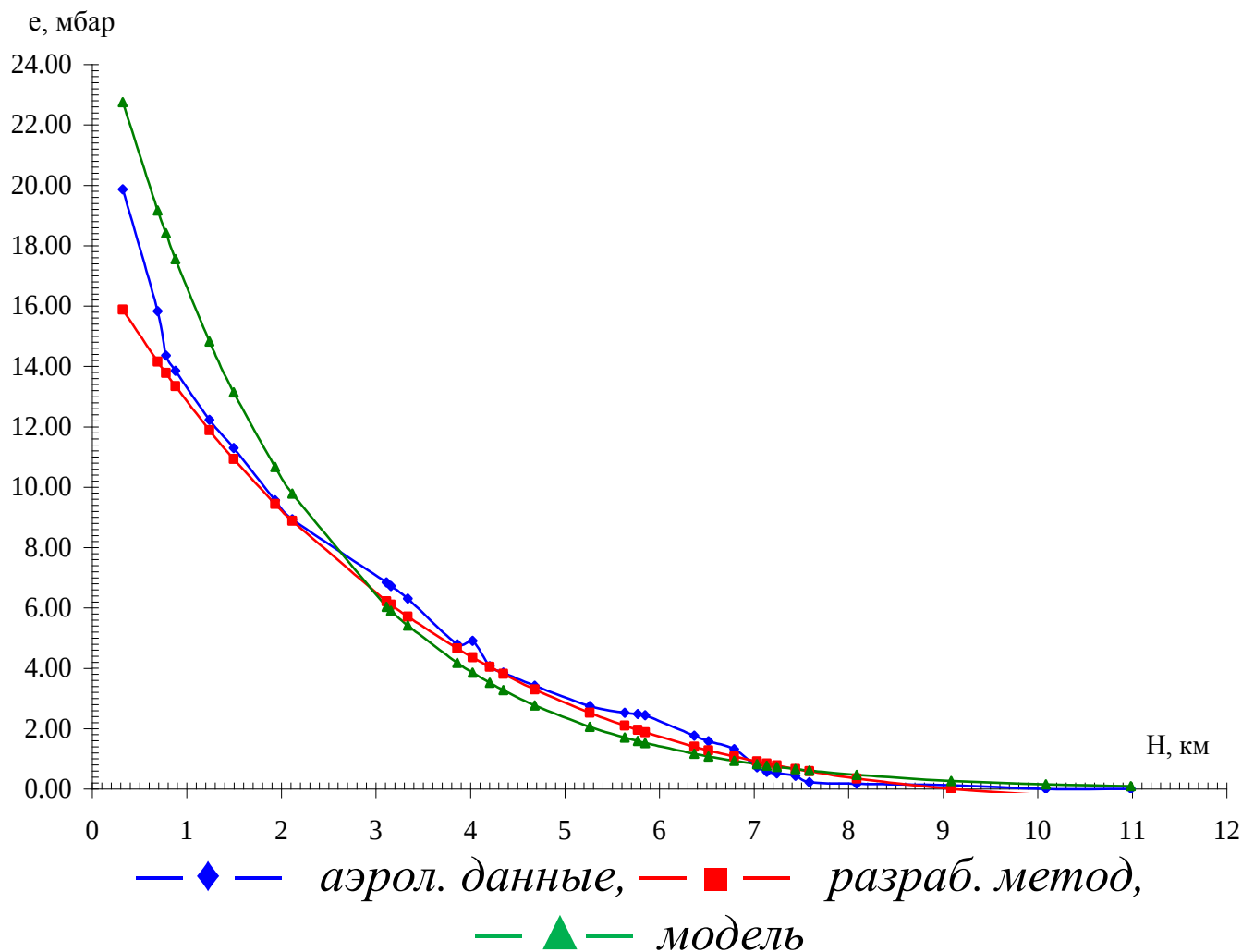
$$e(H) = \frac{T(H)N(H) - K_1 p(H)}{K_2 - K_1 + \frac{K_3}{T(H)}}$$

$$T(H) = T_0 - \gamma(H - H_0) \qquad p(H) = p_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{g_0}{\gamma R_d}}$$

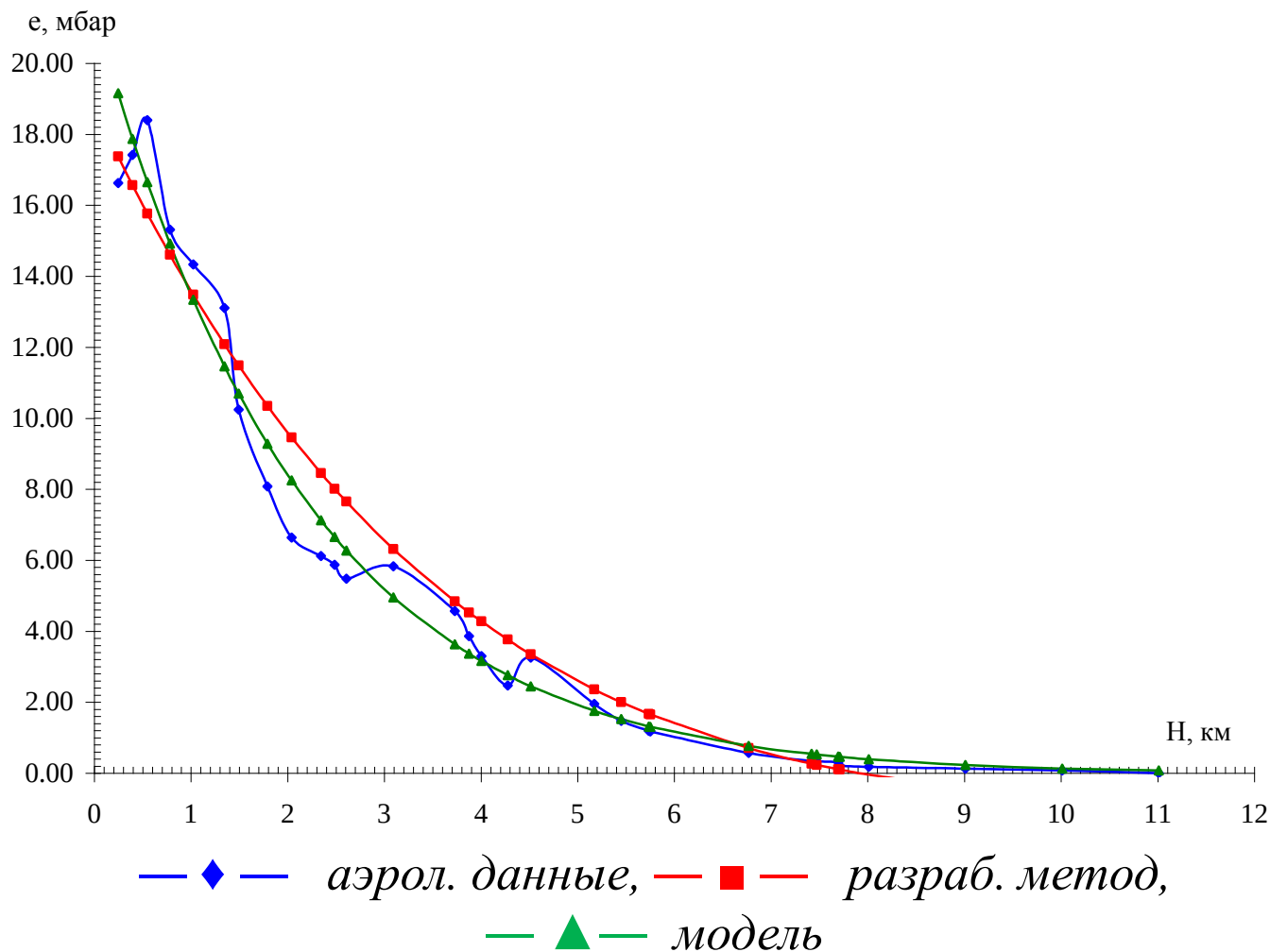
$$e(H) = e_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{\frac{4g_0}{\gamma R_d}}$$

$$e_0 = \frac{6.11W_0}{100} 10^{\frac{7.5(T_0 - 273.15)}{237.3 + T_0 - 273.15}}$$

Графики зависимостей парциального давления от высоты в пункте SULP (Львов) 12.07.2012 г., 00.00 UTC.



Графики зависимостей парциального давления от высоты в пункте CRNI (Черновцы), 13.07.2012 г., 00.00 UTC.



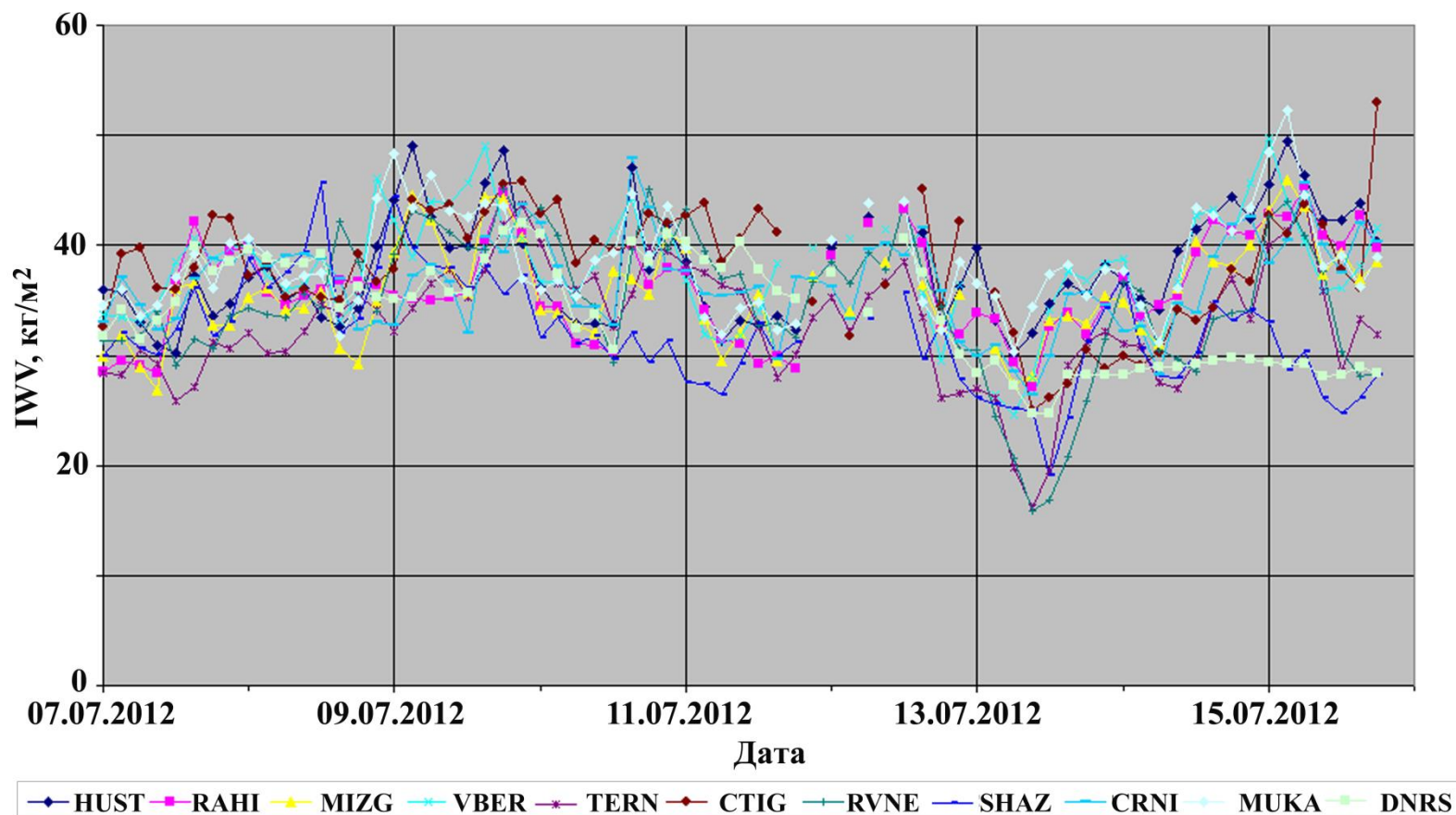
Сочетание данных обработки ГНСС-измерений и дополнительной метеорологической информации позволит получить модель тропосферы практически в режиме реального времени и проводить мониторинг состояния тропосферы.

По высотным зависимостями парциального давления водяного пара e и температуры T осажденный водяной пар вычисляли следующим образом:

$$IWV_e = \frac{\mu}{R_w} \int_{h_0}^h \frac{e(h)}{T(h)} dh$$

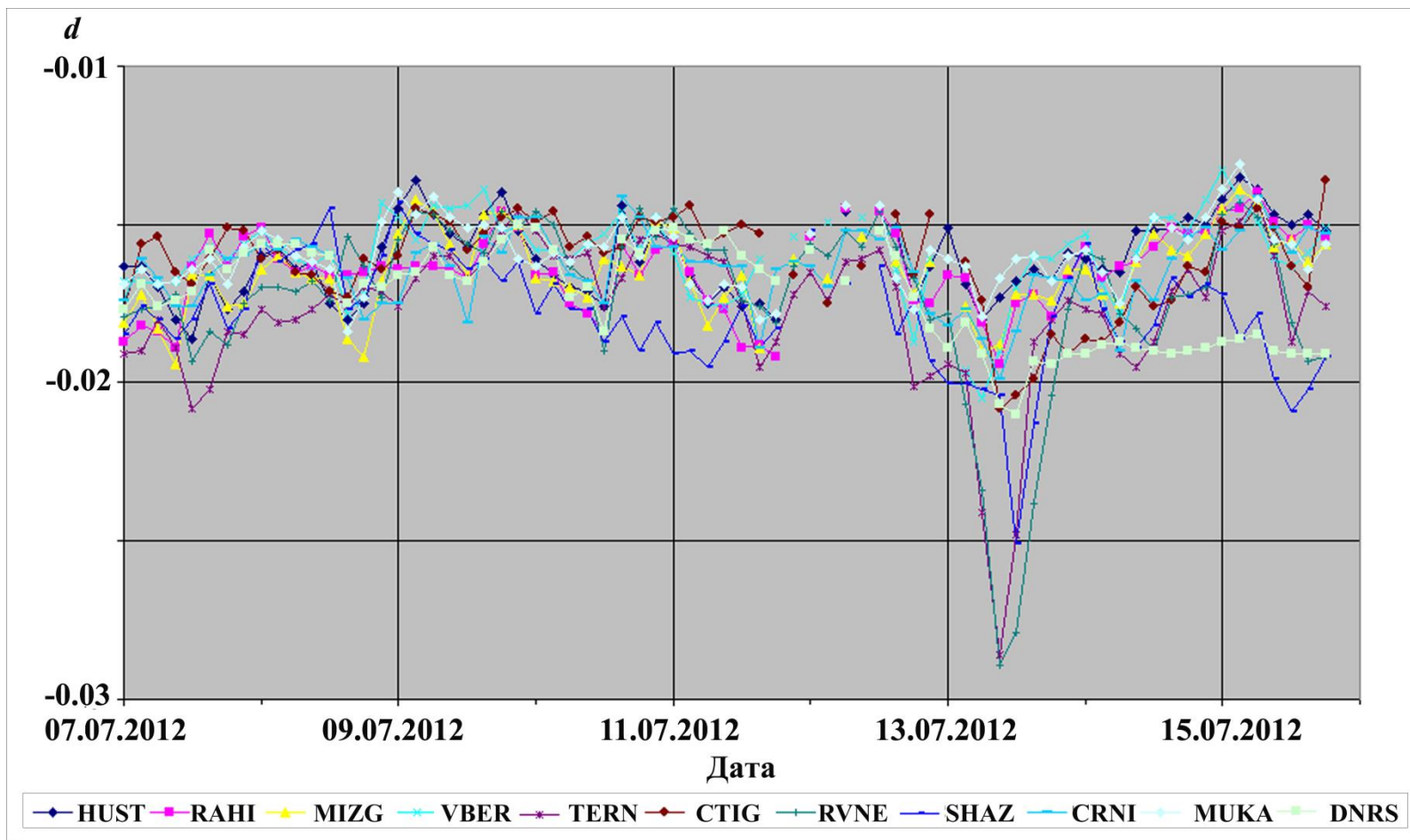
Осажденный водяной пар

07.07.2012 г. - 15.07.2012 г.



Относительная погрешность IWV (d)

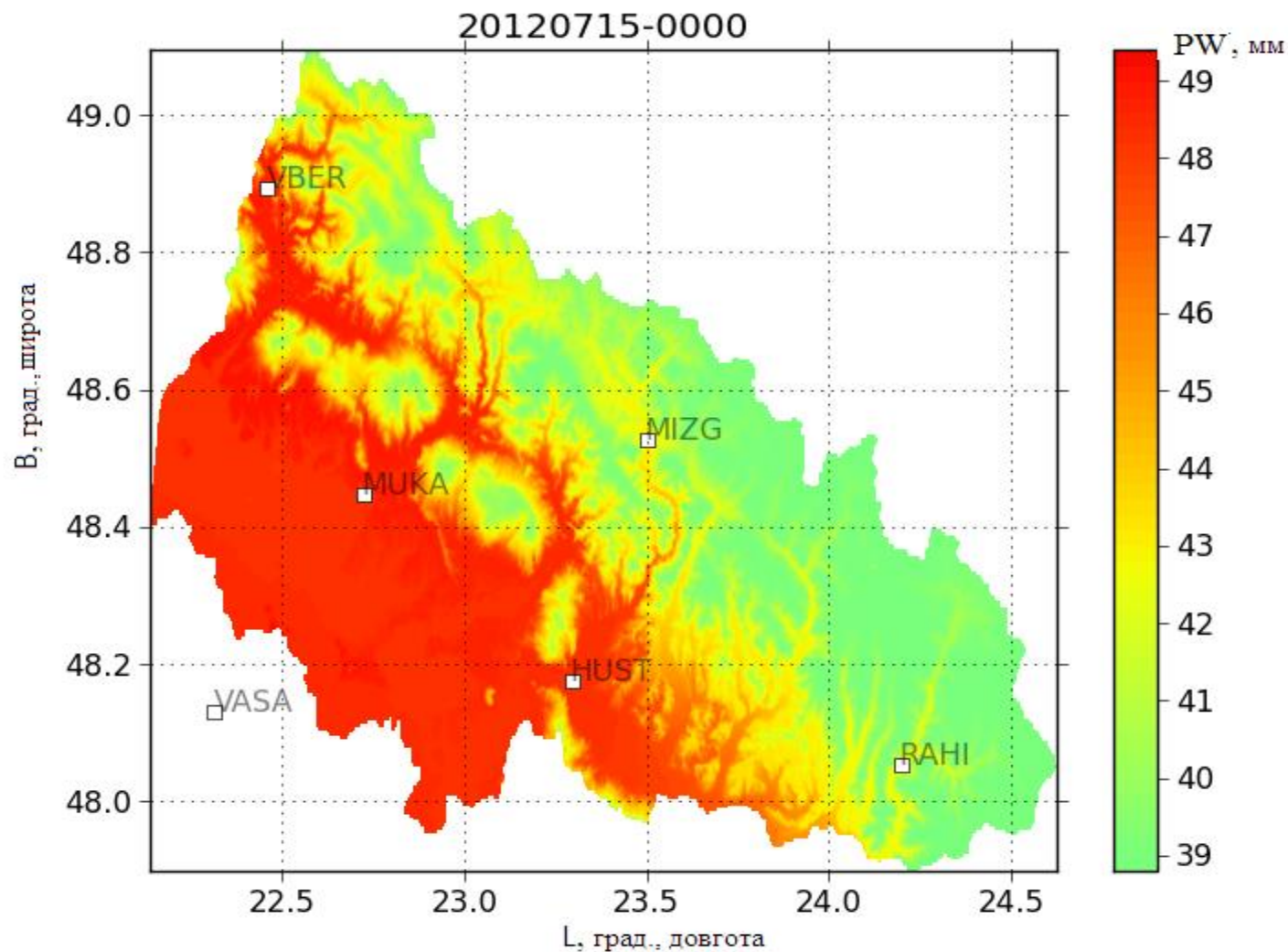
07.07.2012 г. -15.07.2012 г.



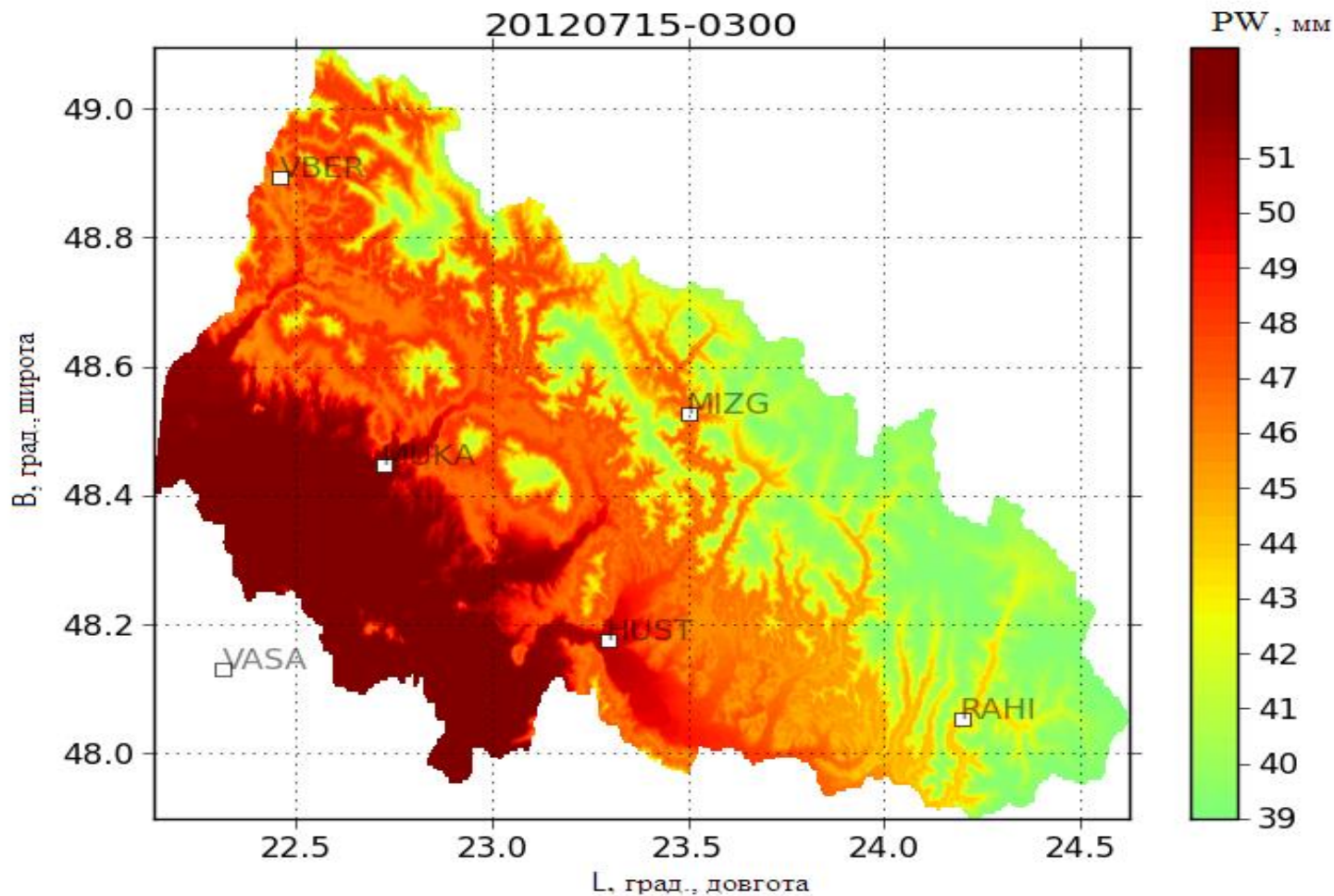
Разработано программное обеспечение и
осуществлено построение карты
распределения IWV

Динамическая карта изменения IWV с
шагом 1 мин. или 15 мин.

Пространственное (широта - долгота)
распределение осажденного водяного пара (IWV)
15.07.2012 г., 00.00 UTC.

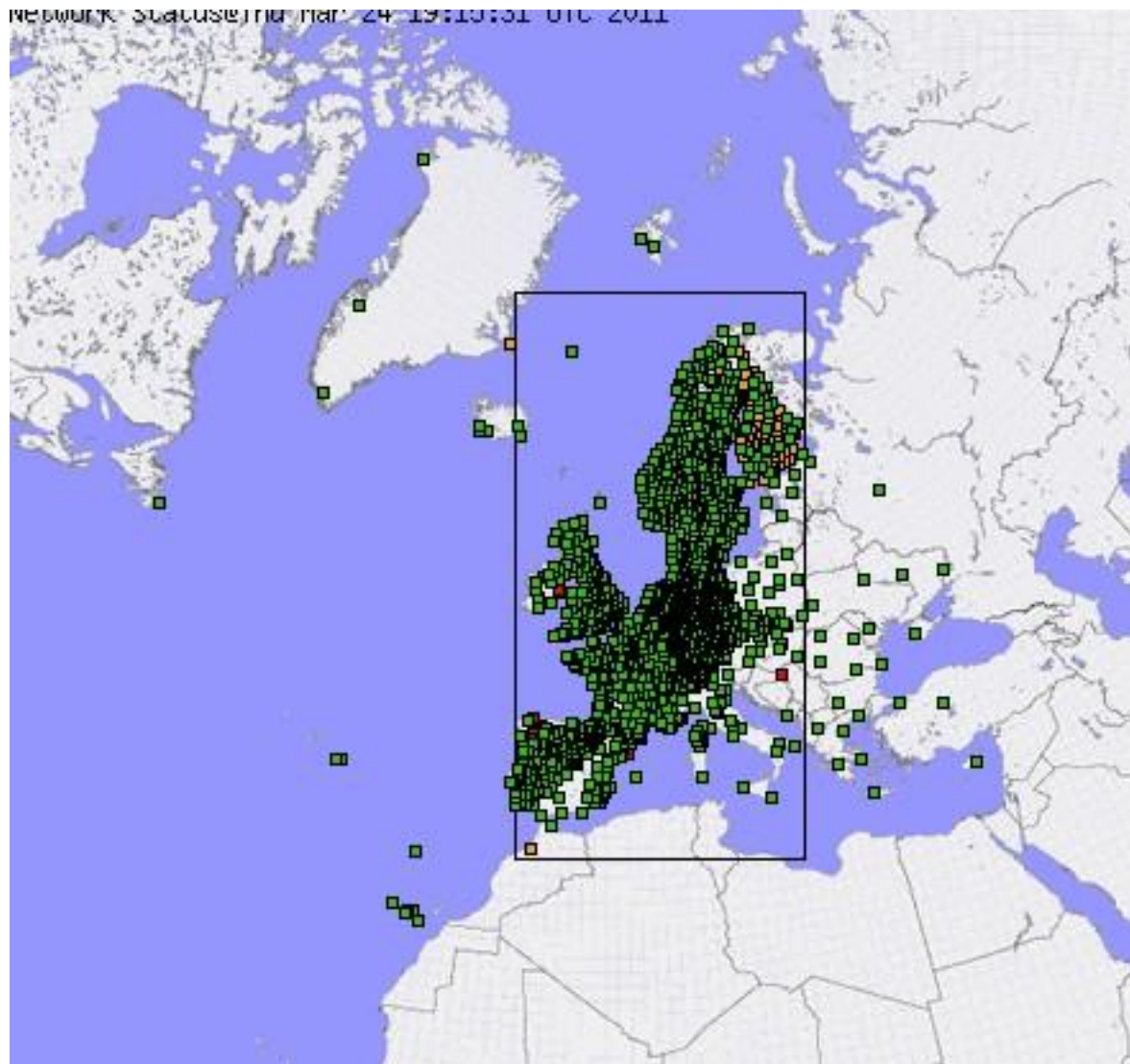


Пространственное (широта - долгота)
распределение осаждаемых водяного пара (IWV)
15.07.2012 г., 03.00 UTC.



Оперативное построение 4D-поля
осажденного водяного пара позволит
повысить качество прогноза погоды и
предупредить возникновение различного рода
стихийных явлений.

Территория проекту - E-GVAR





Програма прикордонного співробітництва ЄСП
Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна

Програма фінансована з фондів
Європейського Союзу



проект HUSKROUA/1101/252

**«Система космической защиты от чрезвычайных ситуаций -
система для предсказания чрезвычайных природных явлений
на основе использования спутниковых технологий на
территории Венгрии, Словакии, Румынии и Украины»**



Програма прикордонного співробітництва ЄСП
Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна

Програма фінансована з фондів
Європейського Союзу



ПАРТНЕРЫ ПРОЕКТА:

1. Ужгородский национальный университет (Ужгород, Украина),
2. Мишкольцський университет (Мишкольц, Венгрия),
3. Вигорлатская обсерватория (Гуменное, Словакия),
4. Объединенный центр внедрения научных исследований, инноваций и технологий «NORDTech» (Бая Маре, Румыния),
5. Международная ассоциация институтов регионального развития МАИРР (Ужгород, Украина).

«Закарпатгеодезцентр» - г. Мукачево, Украина
Институт геодезии, картографии и дистанционного зондирования - г. Будапешт, Венгрия.

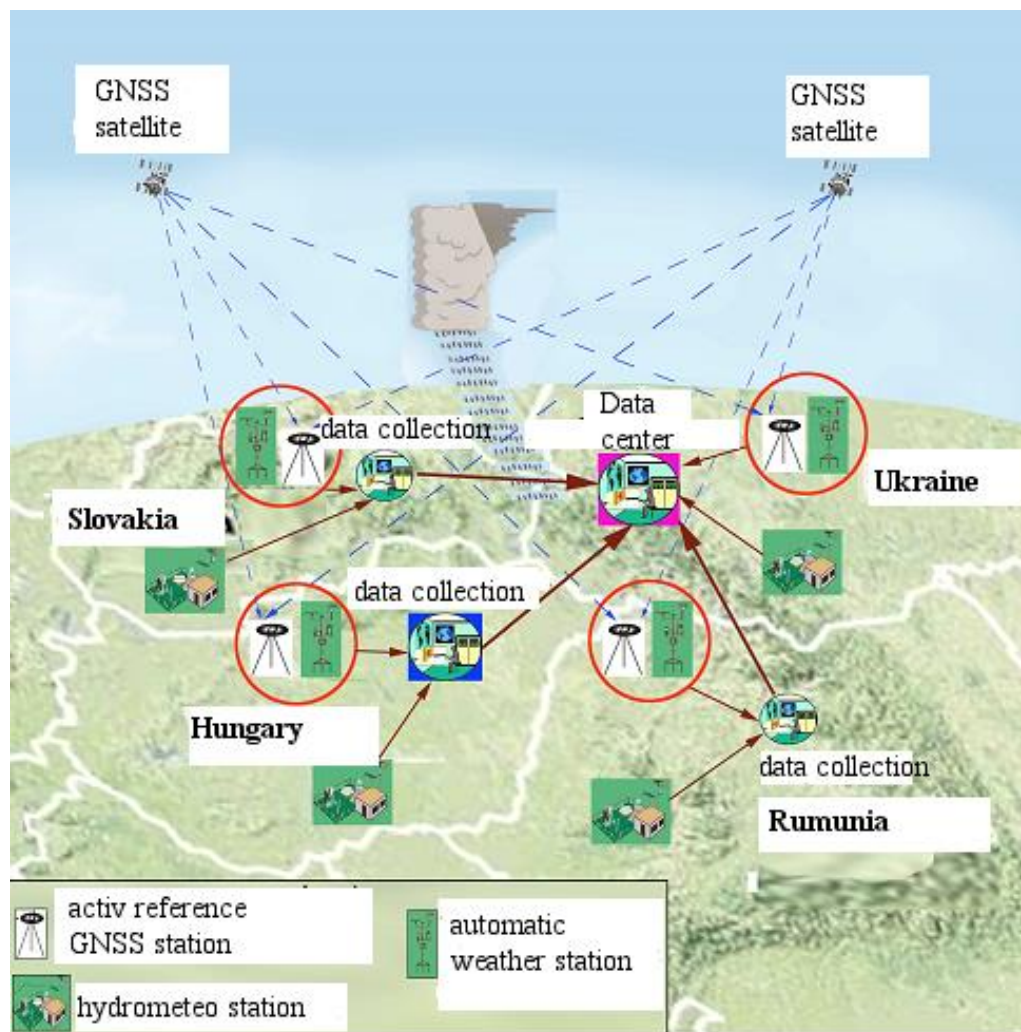


Програма прикордонного співробітництва ІСР
Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна

Програма фінансована з фондів
Європейського Союзу



Система дистанційного моніторинга атмосфери





Програма прикордонного співробітництва ЄСП
Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна

Програма фінансована з фондів
Європейського Союзу



основной идеей реализации проекта является
тесное сотрудничество геодезии (ГНСС-сети) и
метеорологии.

Спасибо за внимание!