



Научно-образовательный центр

НЕВОД



Учет температурного разреза атмосферы в данных мюонного годоскопа УРАГАН с использованием данных ЦАО, GDAS и информации "АЛИСА-СК": 2007-2014 гг.

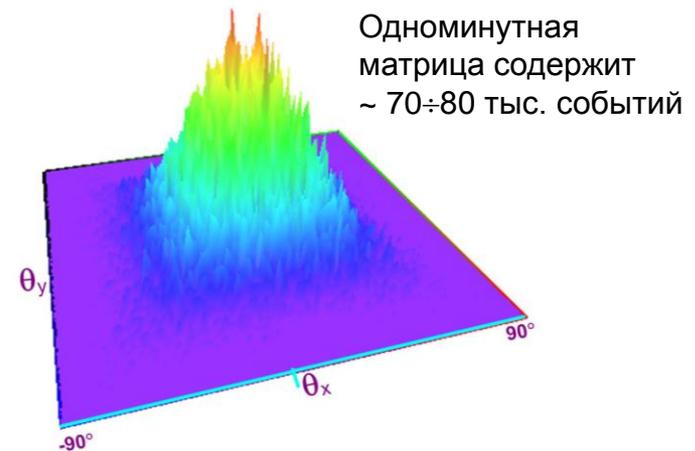
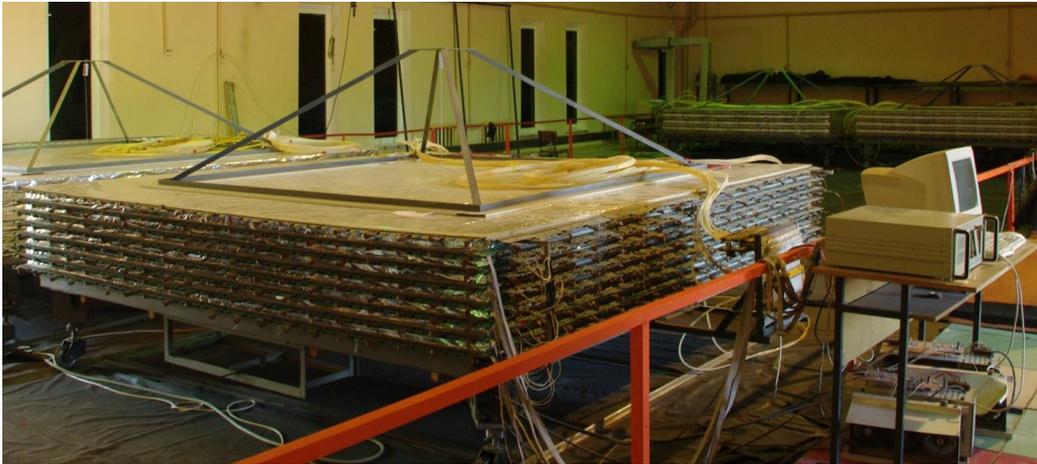
А.Н.Дмитриева*, Н.С.Барбашина, А.А.Ковыляева, Д.В.Чернов, В.В.Шутенко,
Е.И.Яковлева, И.И.Яшин

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Мюонный годоскоп УРАГАН

– широкоапертурный прецизионный мюонный годоскоп, предназначенный для исследования процессов в атмосфере и гелиосфере, вызывающих вариации потока мюонов на поверхности Земли.

- ✓ Годоскоп состоит из четырех супермодулей (СМ), каждый из которых имеет площадь 11.5 м².
- ✓ Супермодули регистрируют мюоны с высокой пространственной и угловой точностью (1 см и лучше 1°, соответственно) в широком интервале зенитных углов (0–80°).



Изменения состояния атмосферы приводят к модуляции потока мюонов на поверхности Земли. Вариации КЛ, имеющие внеатмосферное происхождение, оказываются такого же порядка, что и атмосферные. Поэтому для изучения внеатмосферных эффектов необходимо вводить поправки на изменения состояния атмосферы.

Основные атмосферные эффекты

Барометрический эффект – корреляция интенсивности потока космических лучей с давлением в точке наблюдения.

Температурный эффект обусловлен изменением температуры по всей высоте атмосферы.

Учет барометрического и температурного эффектов:

$$M^{corr}(\theta, \varphi, t, \Delta t) = M(\theta, \varphi, t, \Delta t) + \Delta M_p(\theta, t, \Delta t) + \Delta M_T(\theta)$$

t – календарное время начала набора матриц, Δt – интервал суммирования, ΔM_T и ΔM_p – поправки на температурный и барометрический эффекты.

$$\Delta M_p(\theta, t, \Delta t) = B(\theta) \cdot (P(t, \Delta t) - P_0)$$

P – текущее значения давления на уровне регистрации, $P_0 = 993$ мбар – среднее за длительный период значения давления на уровне регистрации, $B(\theta)$ – барометрические коэффициенты.

$$\Delta M_T(\theta) = M_0(\theta) \cdot \sum_i W_T(h_i, \theta) \Delta T(h_i) \Delta h_i / 100\%$$

$W_T(h, \theta)$ – дифференциальные по высоте температурные коэффициенты (ДТК), $\Delta T(h) = T_{CMA}(h) - T(h)$ – изменение высотного хода температуры (где h – глубина атмосферы, $\Delta h = 0.05$ атм, $T(h)$ – температура на глубине h , $T_{CMA}(h)$ – температура стандартной модели атмосферы на высоте h).

Информация о температурном профиле атмосферы

Данные аэрологических зондов: Центральная Аэрологическая Обсерватория (г.Долгопрудный). Зонды запускаются два раза в сутки: в 00:00 и в 12:00 по UTC.

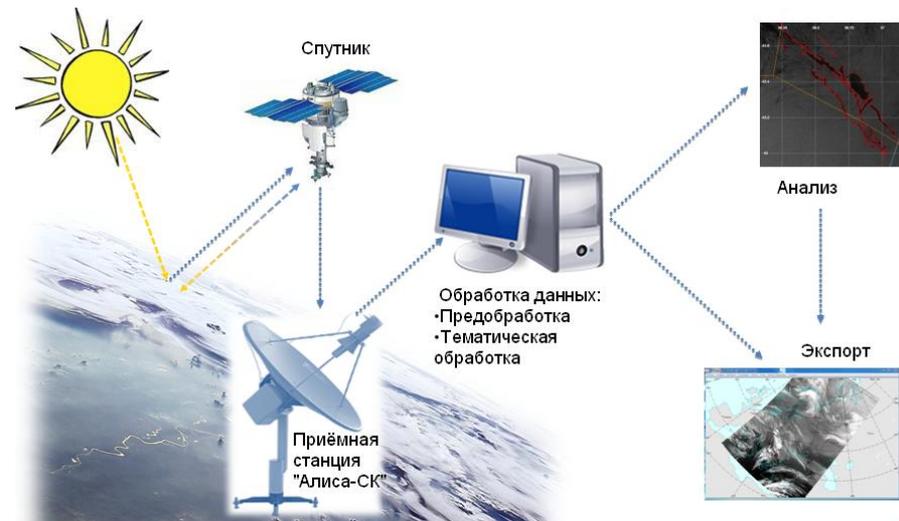
Прогностические модели атмосферы: численная модель атмосферы для предсказания погоды – Глобальная система сбора данных (The Global Data Assimilation System, GDAS). GDAS дает данные с трехчасовым шагом по времени по всему земному шару (матрица по широте и по долготе с шагом 1°) для 23 постоянных уровней давления (от 1000 до 20 мбар).

Данные (с 2005 г.) находятся в открытом доступе.

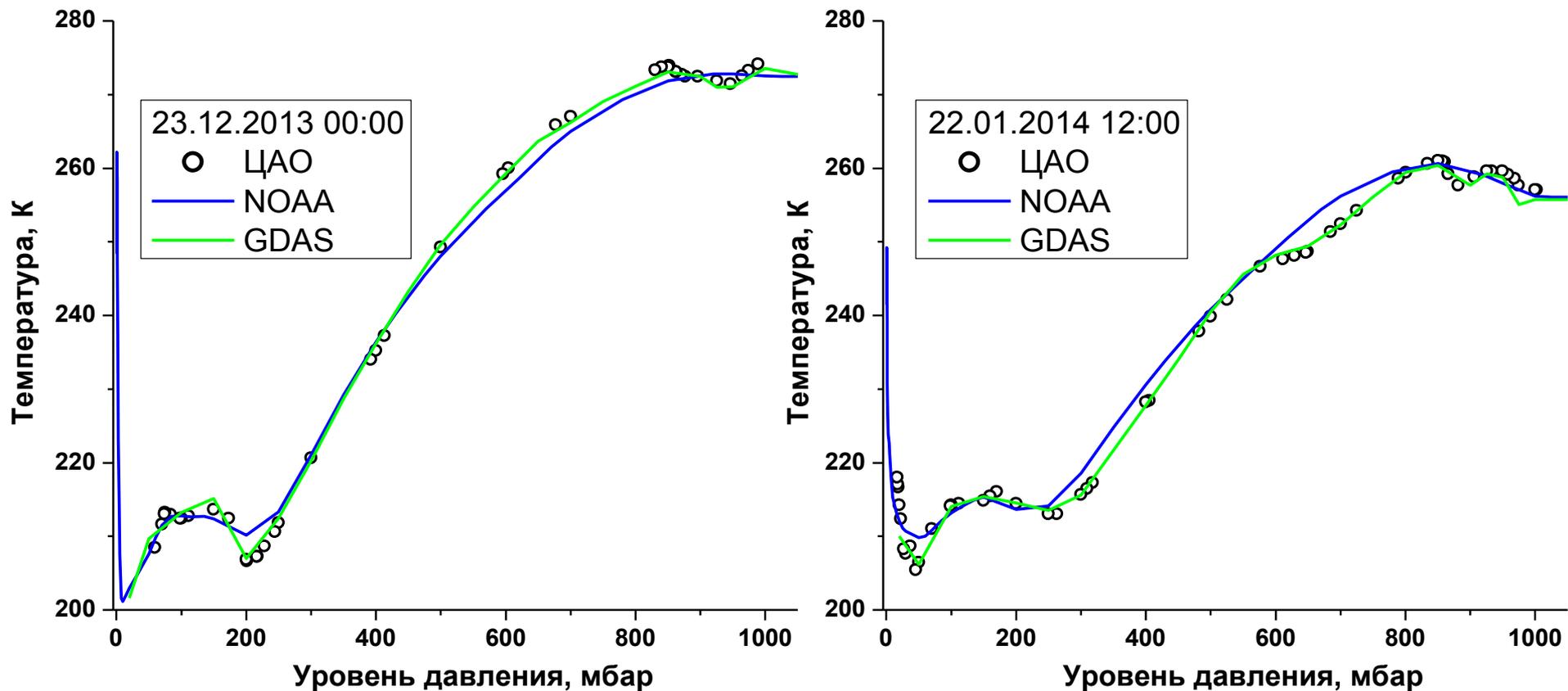
Данные спутниковых наблюдений: два спутника NOAA-18 и NOAA-19 пролетают над территорией Московской области в среднем 4 раза в сутки с интервалом от 10 минут до 16 часов.

Спутниковые данные можно получать при помощи приемной станции "Алиса-СК", которая была установлена на территории НИЯУ МИФИ (на крыше здания НОЦ НЕВОД) в ноябре 2013 г.

Принципиальная схема дистанционного зондирования атмосферы

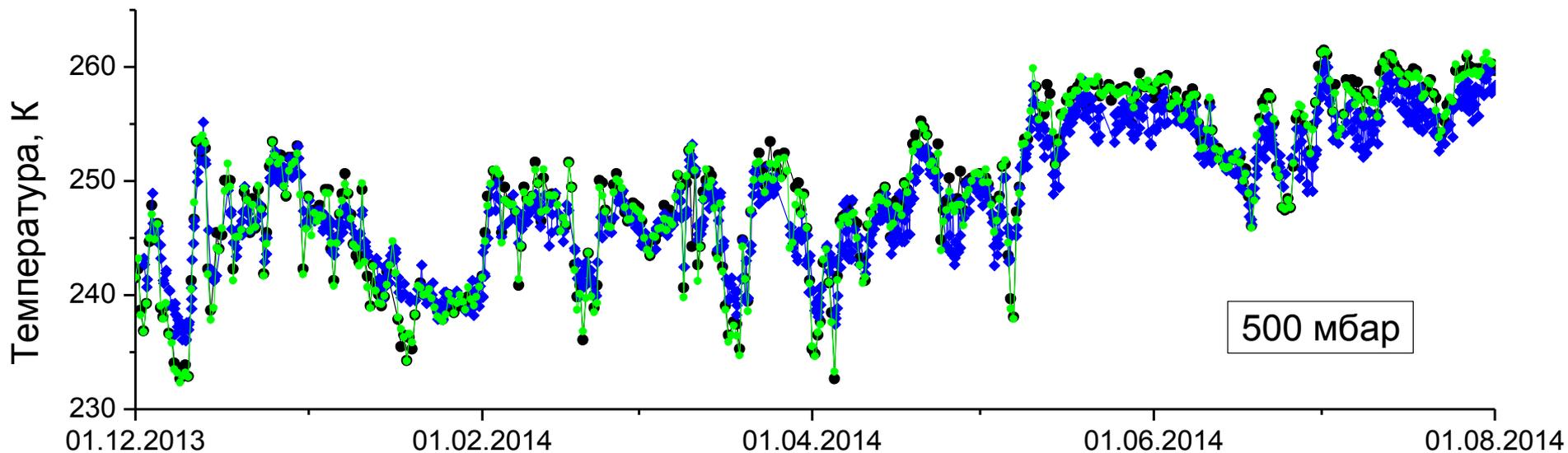
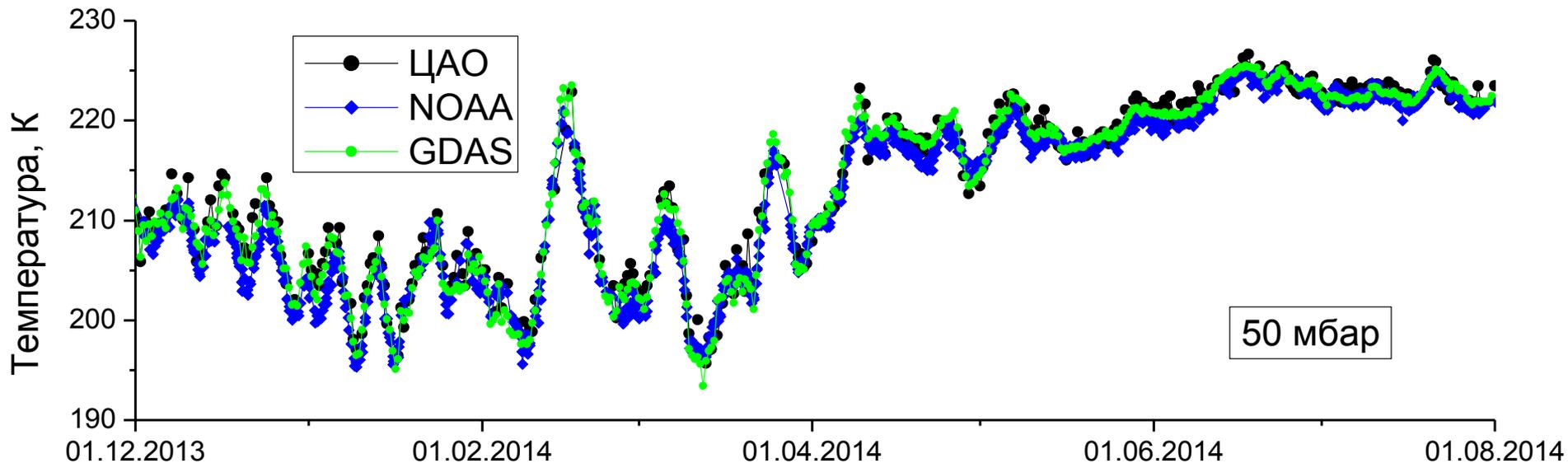


Зависимость температуры воздуха от уровня давления



Сравнение показывает хорошее согласие данных

Зависимость температуры воздуха от времени

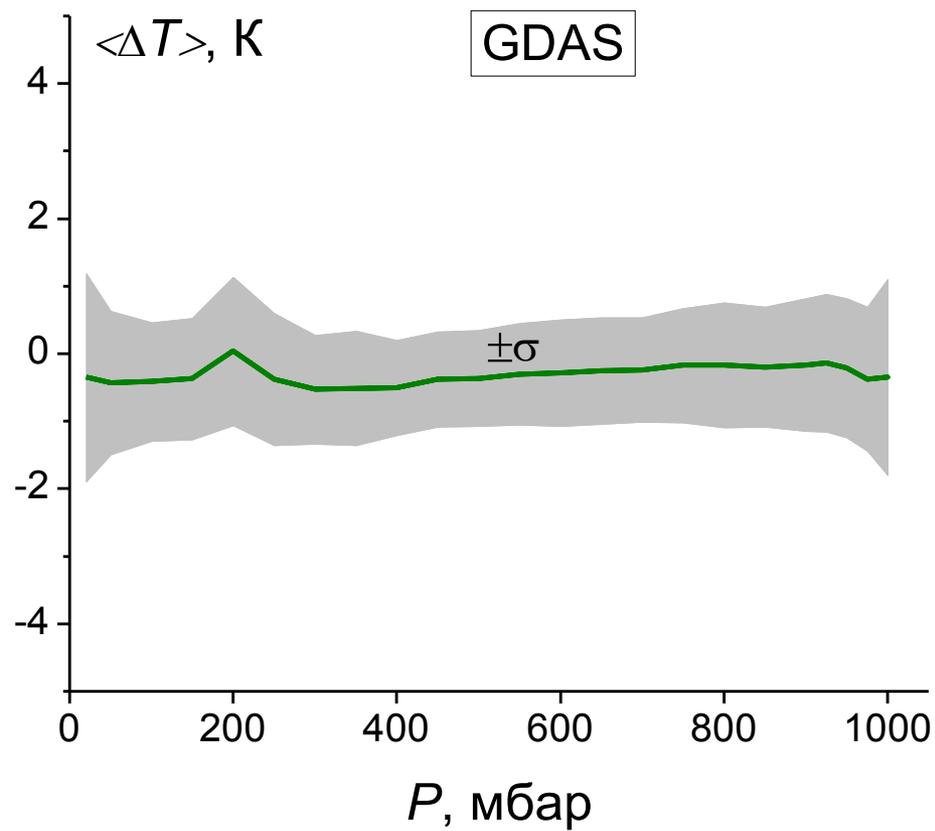
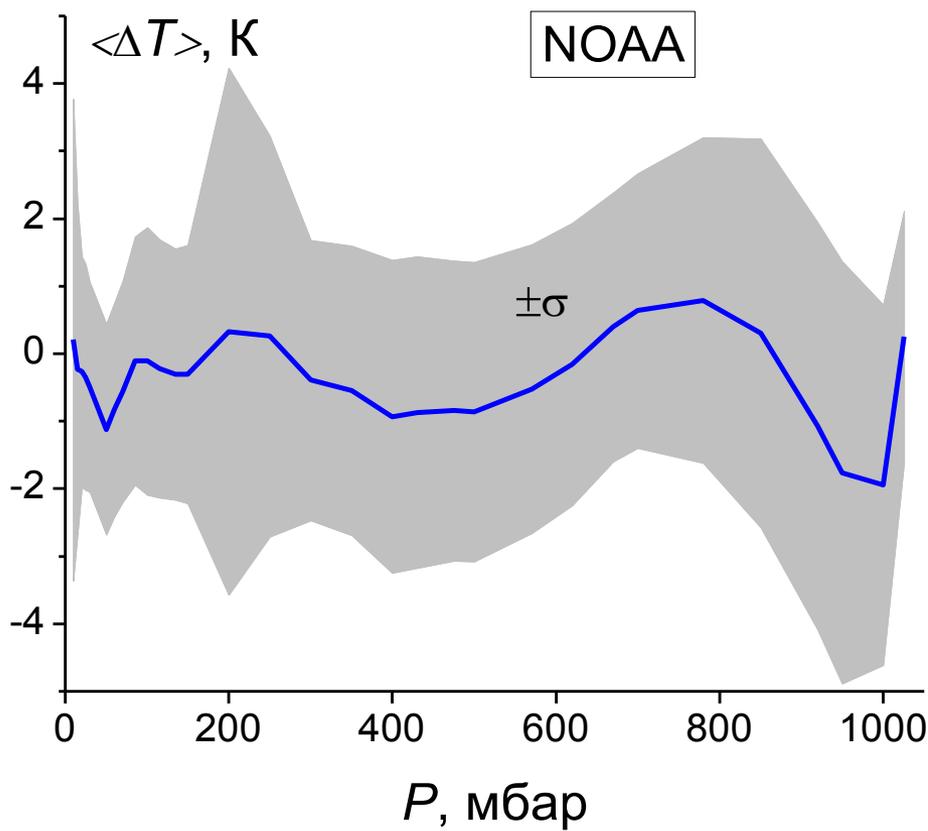


Сравнение показывает хорошее согласие данных

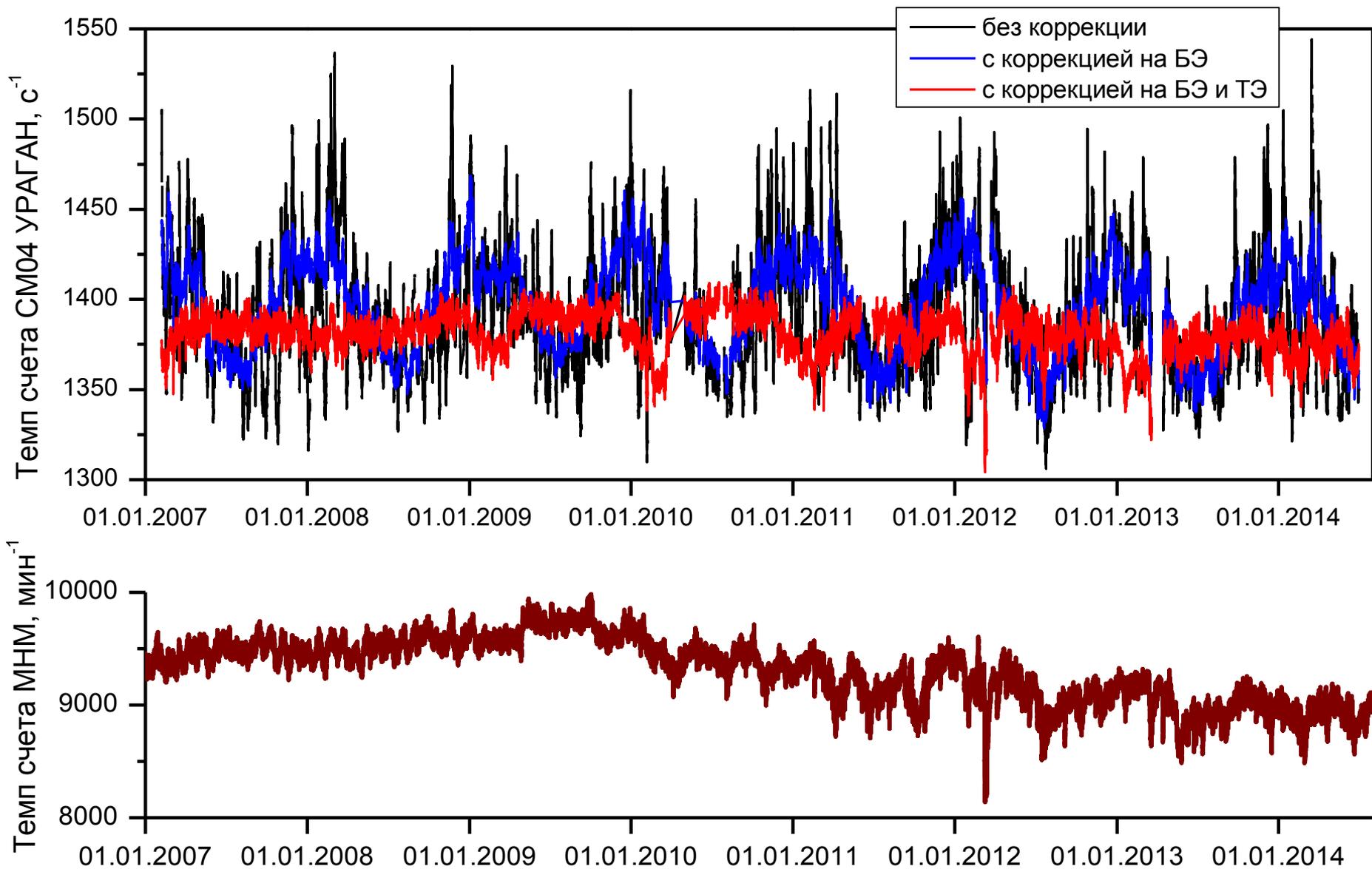
Среднее значение разности температур $\langle \Delta T \rangle$ по данным СК АЛИСА (NOAA) и GDAS

ноябрь 2013 г. – июль 2014 г.

2007–2013 гг.



Среднечасовой темп счета МГ УРАГАН (вверху) и темп счета Московского нейтронного монитора (внизу)

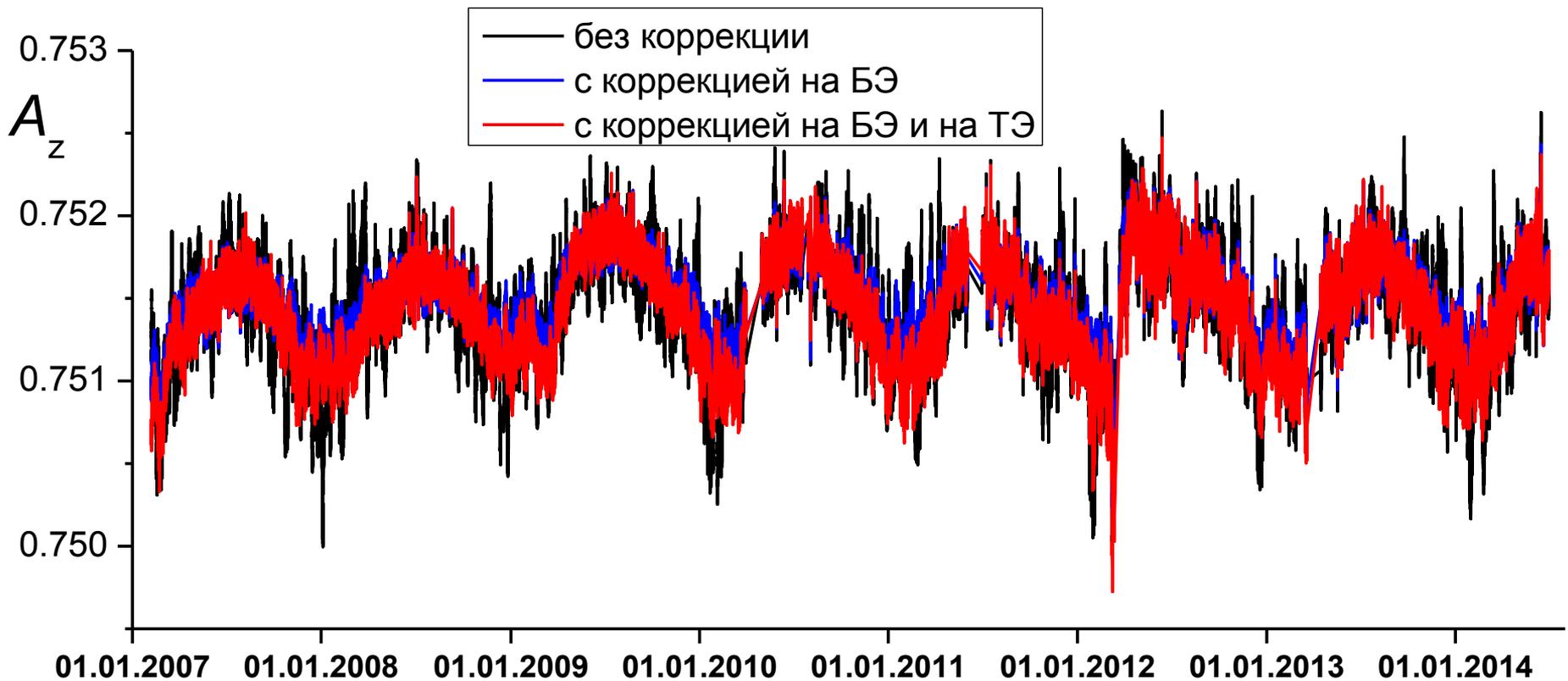


Локальная анизотропия

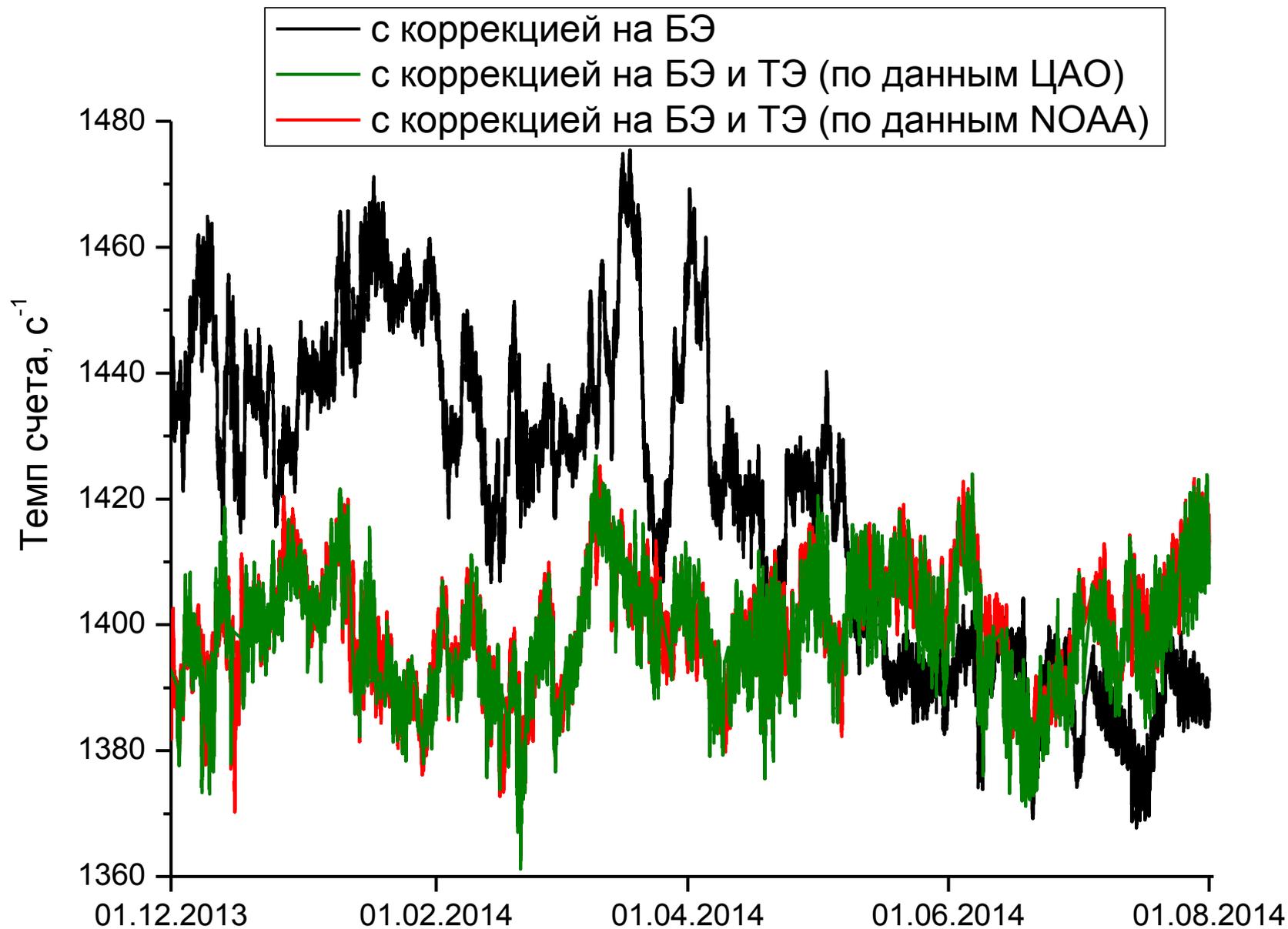
$$A_{\text{South}} = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \cos \varphi \sin \theta, \quad A_{\text{East}} = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \sin \varphi \sin \theta,$$

$$A_z = \frac{1}{N} \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi) \cos \theta,$$

$$N = \sum_{\theta} \sum_{\varphi} M(\theta, \varphi), \quad A = \sqrt{A_{\text{South}}^2 + A_{\text{East}}^2 + A_z^2}.$$



Темп счета МГ УРАГАН без коррекции и с коррекцией на ТЭ по данным ЦАО и СК АЛИСА (NOAA)

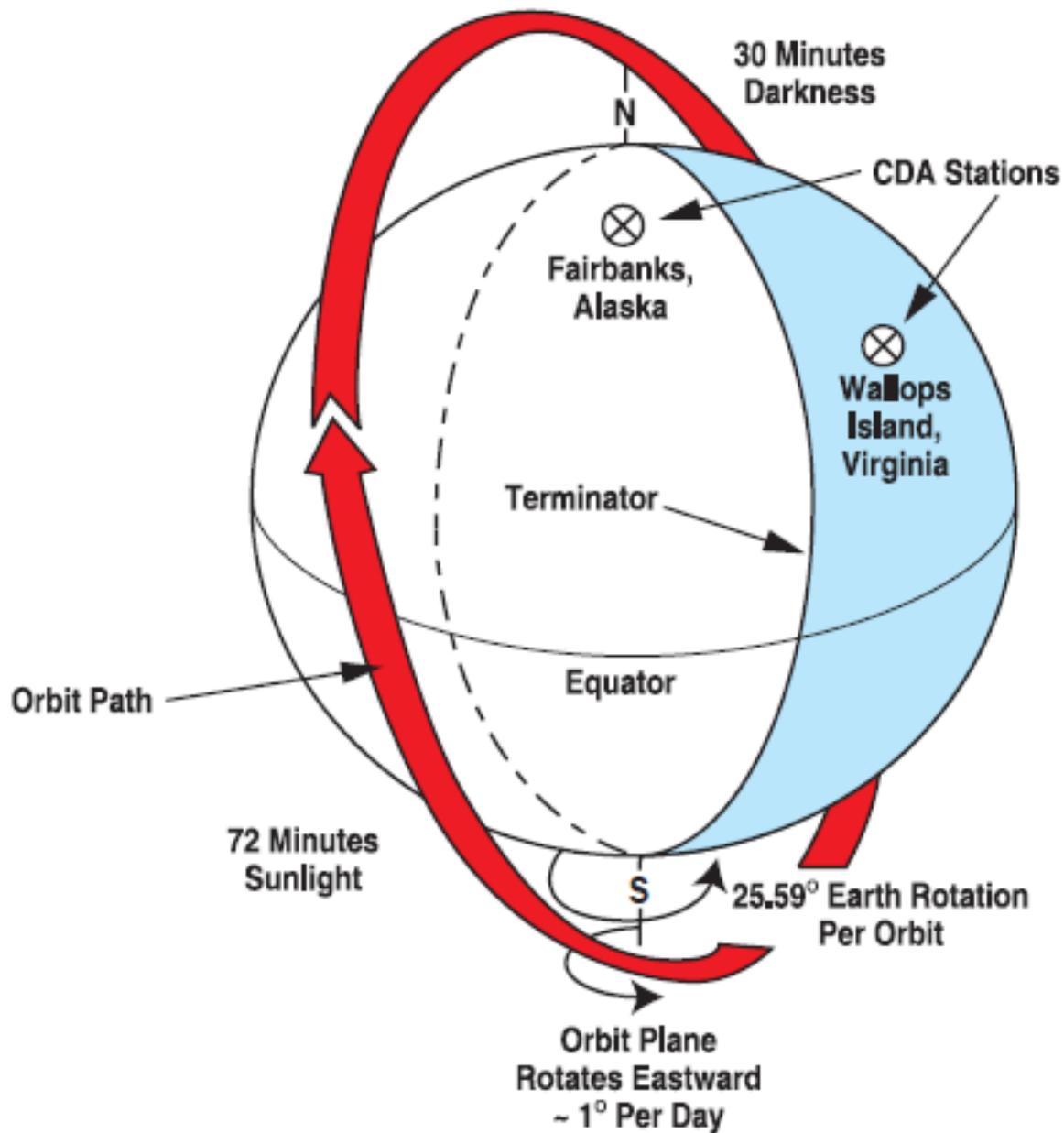


Заключение

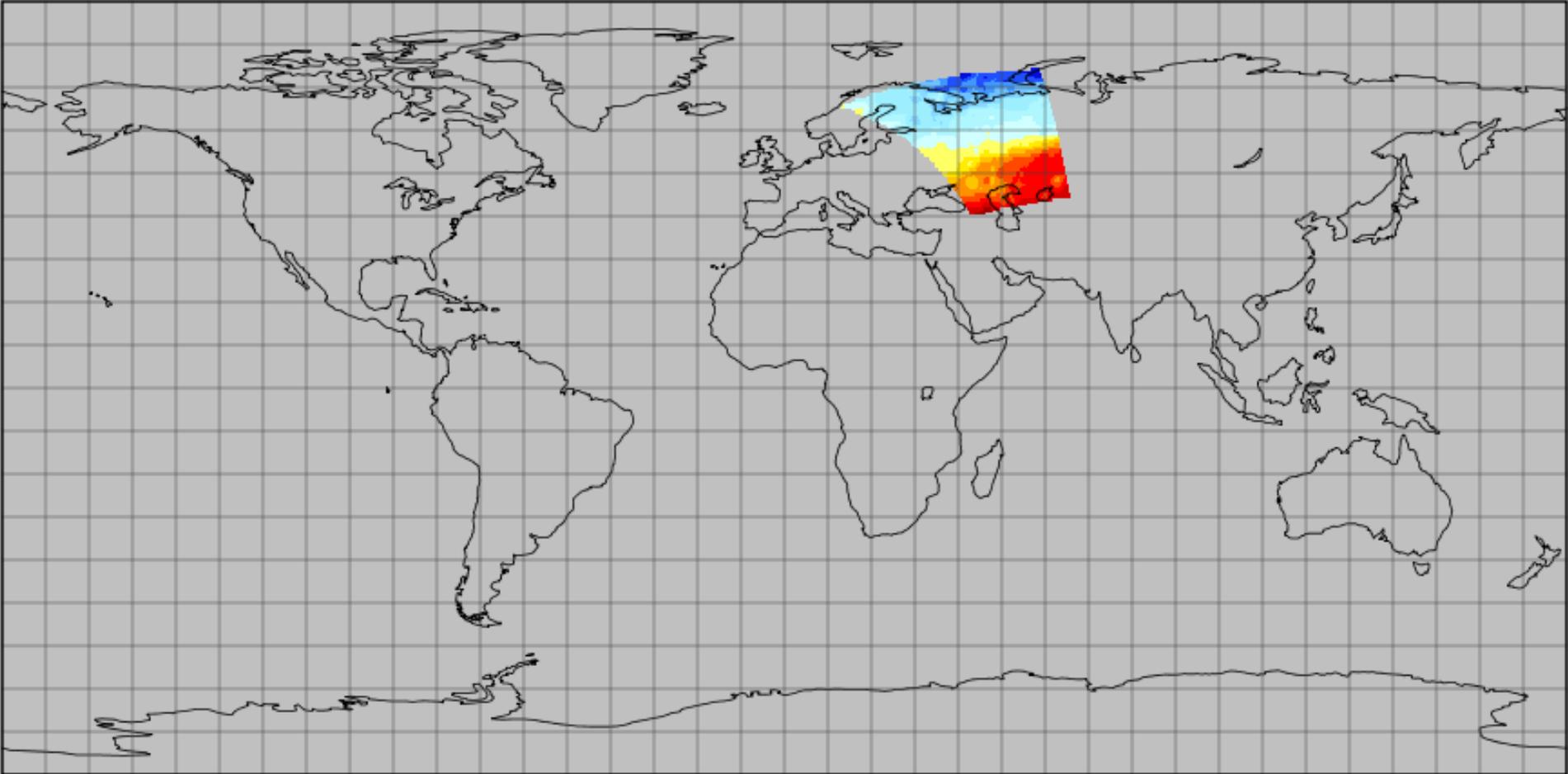
- **Данные альтернативных источников о температурном профиле атмосферы являются достаточно надежными для проведения коррекции темпа счета мюонных годоскопов на температурный эффект.**
- **Дополнительная информация GDAS может быть использована для коррекции данных за предыдущие годы (начиная с 2005 г.).**
- **Данные спутникового зондирования могут использоваться для корректировки в режиме, близком к on-line (с задержкой всего в несколько часов).**



Спасибо за внимание!



Temperature Retrieval for the IAPP



Temperature Retrieval for the IAPP (degrees Kelvin)



Data Min = 2,3E+02, Max = 2,5E+02

Subsystem	Description	Status
<u>ADACS</u>	Attitude Determination and Control System	Yellow
<u>AMSU-A1</u>	Advanced Microwave Sounding Unit -A1	Green
<u>AMSU-A2</u>	Advanced Microwave Sounding Unit -A2	Green
<u>AVHRR</u>	Advanced Very High Resolution Radiometer	Green
<u>CCS</u>	Command and Control System	Green
<u>COMM</u>	Communications	Green
<u>DCS</u>	Data Collection System	Green
<u>DHS</u>	Data Handling System	Green
<u>DPLY</u>	Deployment Subsystem	Green
<u>EPS</u>	Electrical Power System	Green
FSW	Flight Software	
GROUND	Polar Acquisition and Command System (PACS)	
<u>HIRS</u>	High Resolution Infrared Radiation Sounder	Red
<u>MHS</u>	Microwave Humidity Sounder	Green
RCS	Reaction Control Subsystem	
<u>SARP</u>	Search and Rescue Processor	Green
<u>SARR</u>	Search and Rescue Repeater	Green
<u>SBUV</u>	Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer	Red
<u>SEM</u>	Space Environment Monitor	Green
<u>THERM</u>	Thermal Control System	Green

Расчет дифференциальных температурных коэффициентов

Обозначим за $N_0(E_{\text{мин}}, X, \theta)$ невозмущенный поток мюонов в точке наблюдения на глубине X для зенитного угла θ и пороговой энергии $E_{\text{мин}}$. Для учета температурного эффекта необходимо знать дифференциальные температурные коэффициенты (ДТК), позволяющие вносить поправку в темп счета с учетом изменения температуры на всех высотах атмосферы. При изменении высотного хода температуры на $\Delta T(h)$, где h – глубина в атм, поток мюонов изменится на $\Delta N_T(E_{\text{мин}}, X, \theta)$ и относительное отклонение можно записать в следующем виде:

$$\Delta N_T(E_{\text{мин}}, X, \theta) / N_0(E_{\text{мин}}, X, \theta) \cdot 100\% = \int_0^X W_T(E_{\text{мин}}, X, h, \theta) \Delta T(h) dh$$

где функция $W_T(E_{\text{мин}}, X, h, \theta)$ и есть ДТК.

$$\begin{aligned} W_T(E_{\text{мин}}, X, h, \theta) = & \\ = & \frac{100\%}{N_0(E_{\text{мин}}, X, \theta)} \cdot \sum_{\eta} \left[\frac{1}{T(z_h)} \int_{E_{\text{мин}}}^{\infty} dE \int_0^{z_h} dz' \int_{\varepsilon}^{(m_{\eta}/m_{\mu})^2 \varepsilon} dE_{\eta} F_{\eta}(E, X, \theta, z_h, z', E_{\eta}) + \right. \\ & + \int_{E_{\text{мин}}}^{\infty} dE \int_{z_h}^{z_X} dz \int_0^{z_h} dz' \int_{\varepsilon}^{(m_{\eta}/m_{\mu})^2 \varepsilon} dE_{\eta} F_{\eta}(E, X, \theta, z, z', E_{\eta}) \cdot \left(-m_{\eta} c^2 R / (c \tau_{\eta} E_{\eta} M P(z_h)) \right) + \\ & \left. + \int_{E_{\text{мин}}}^{\infty} dE \int_0^{z_h} dz \int_0^z dz' \int_{\varepsilon}^{(m_{\eta}/m_{\mu})^2 \varepsilon} dE_{\eta} F_{\eta}(E, X, \theta, z, z', E_{\eta}) \cdot \left(\frac{-m_{\mu} c^2 R}{c \tau_{\mu} M \varepsilon (E, z_X - z_h) P(z_h)} \right) \right] \end{aligned}$$

В расчетах ДТК использовалась стационарная стандартная атмосфера. Поверхность Земли и атмосфера считались сферическими, учитывался вклад пионов и каонов, а также зависимость потерь от энергии мюона и плотности воздуха. Использовались значения параметров: $\gamma = 2.7$, $L_p = 110$ г/см², $\lambda_{\pi} = 120$ г/см² и $\lambda_K = 150$ г/см², $A_K/A_{\pi} = 0.15$.