

# Программный комплекс для анализа метеорологических эффектов мюонной компоненты космических лучей

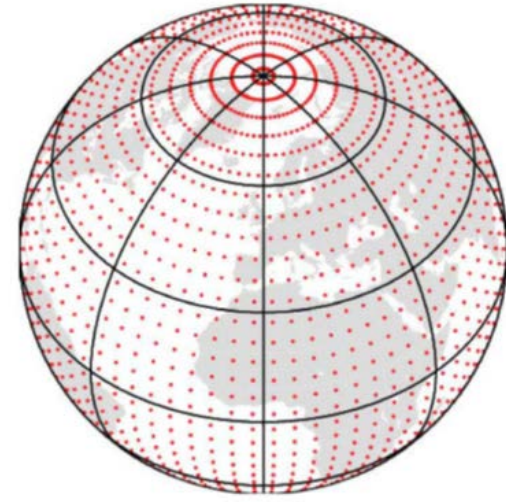
Белов С.М., Янке В.Г. (ID 63)

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова (ИЗМИРАН), Москва

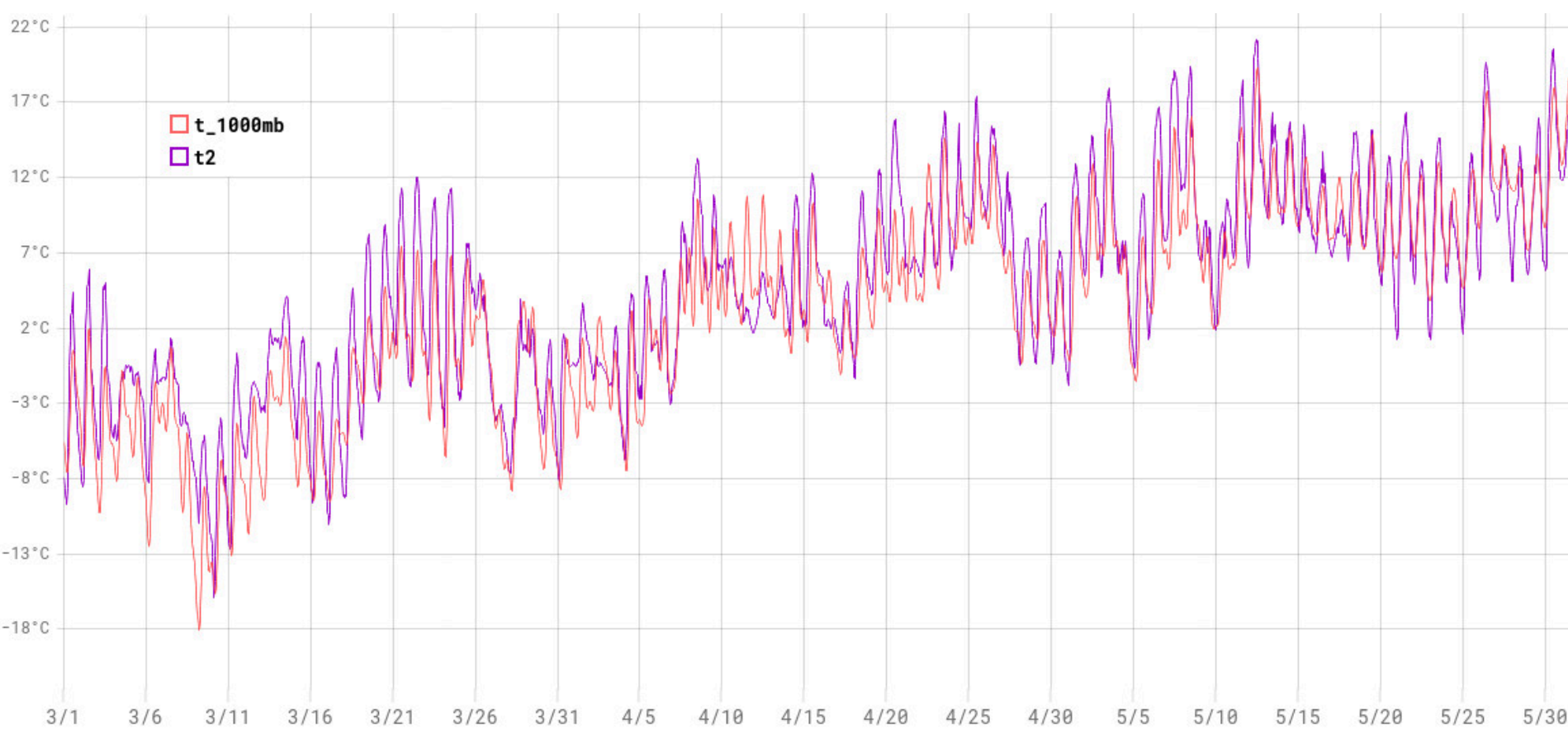
**Задача.** Значительное влияние температурного распределения в атмосфере на интенсивность мюонной компоненты является одной из основных проблем при использовании мюонных телескопов для изучения вариаций космических лучей. В связи с этим появилась идея разработки универсального программного комплекса, который бы позволил легко и эффективно решать задачу коррекции данных детекторов на метеорологические эффекты. Данный комплекс должен позволить оперативно получать данные мюонных телескопов, скорректированные наиболее оптимальным способом, тем самым облегчая дальнейшие исследования космических лучей.

**Новизна** данной работы заключается в предоставлении пользователям возможности получения скорректированных данных мюонных детекторов **в реальном времени**. При этом получение исходных, нескорректированных данных может происходить автоматически. В результате чего появляется возможность проводить собственные исследования без необходимости лишней раз решать проблему учета метеорологических эффектов.

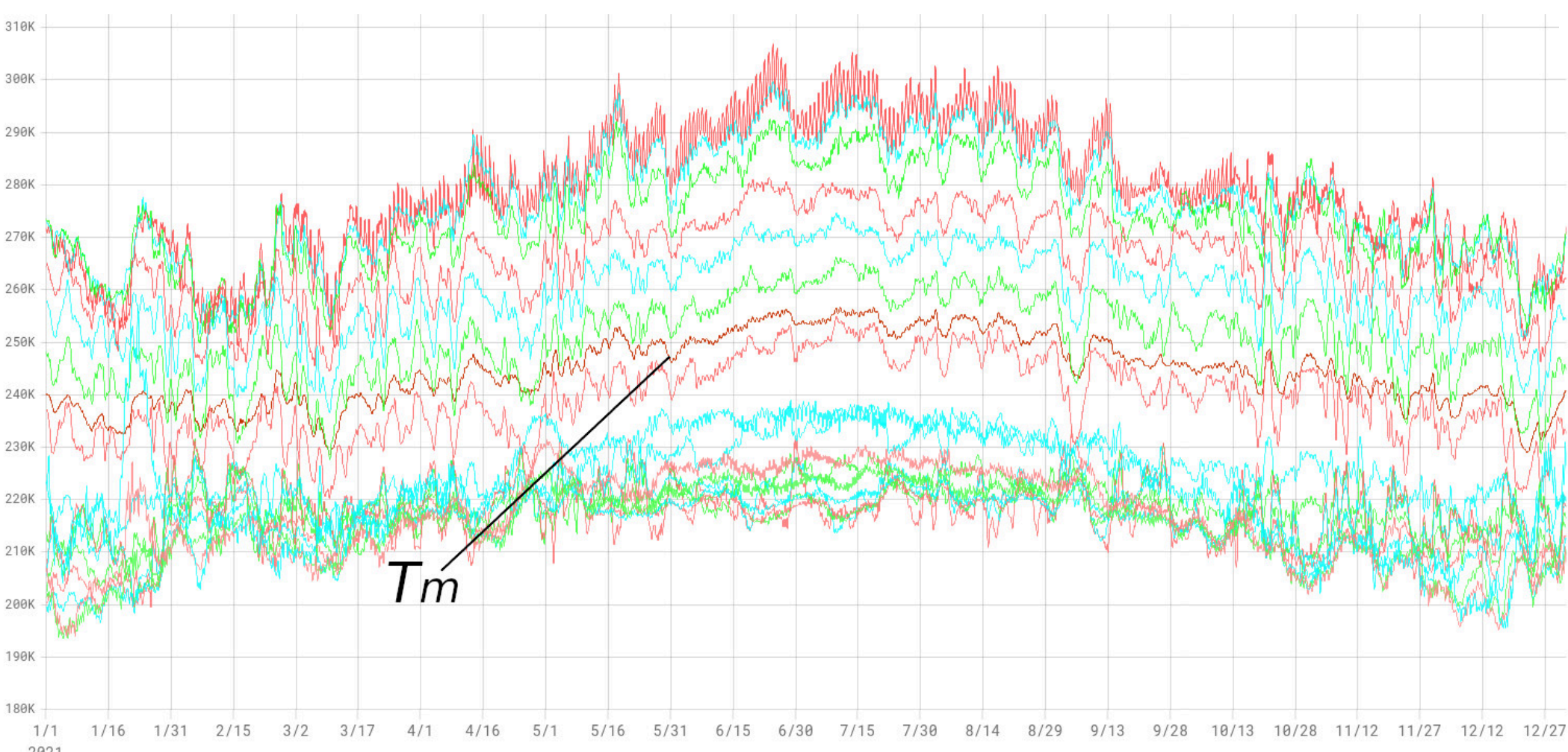
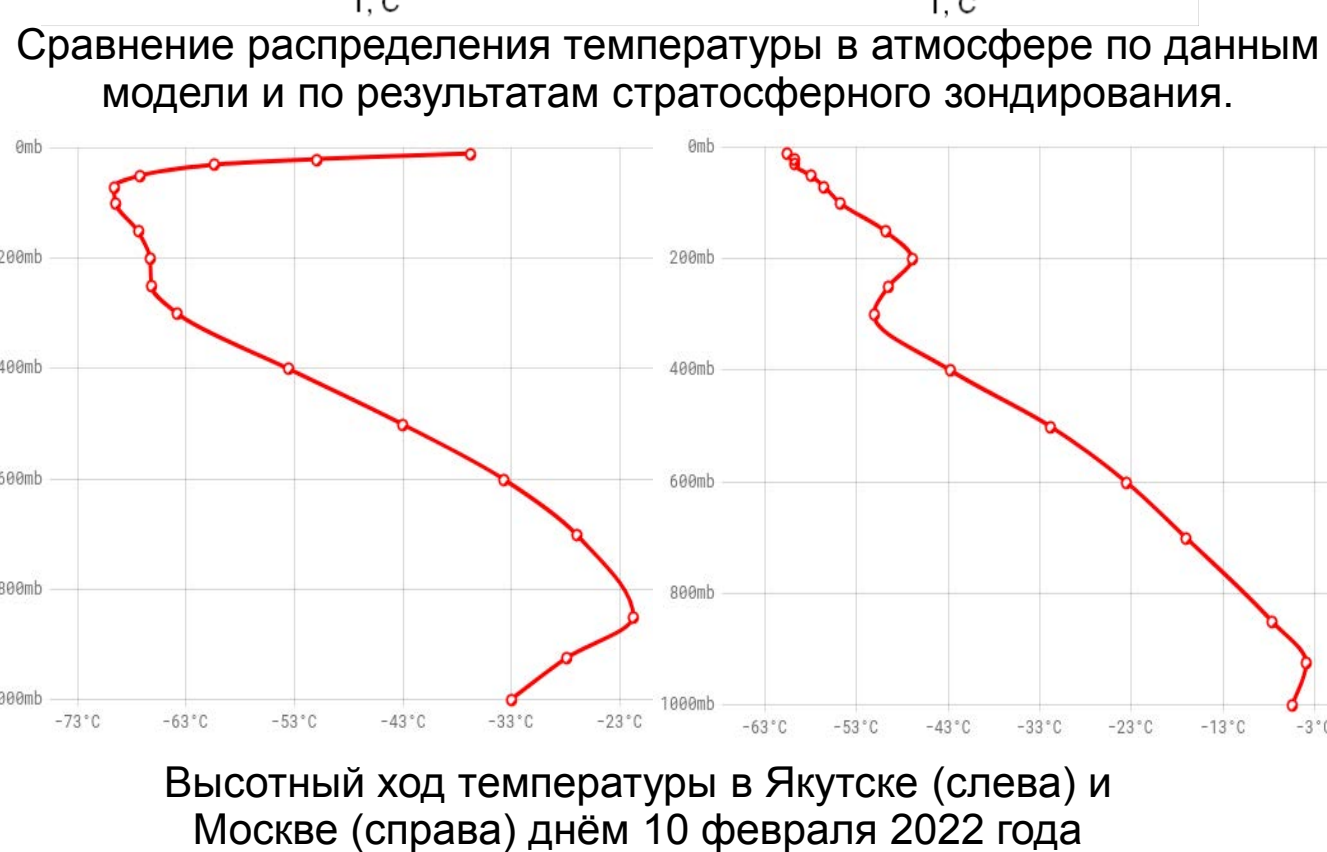
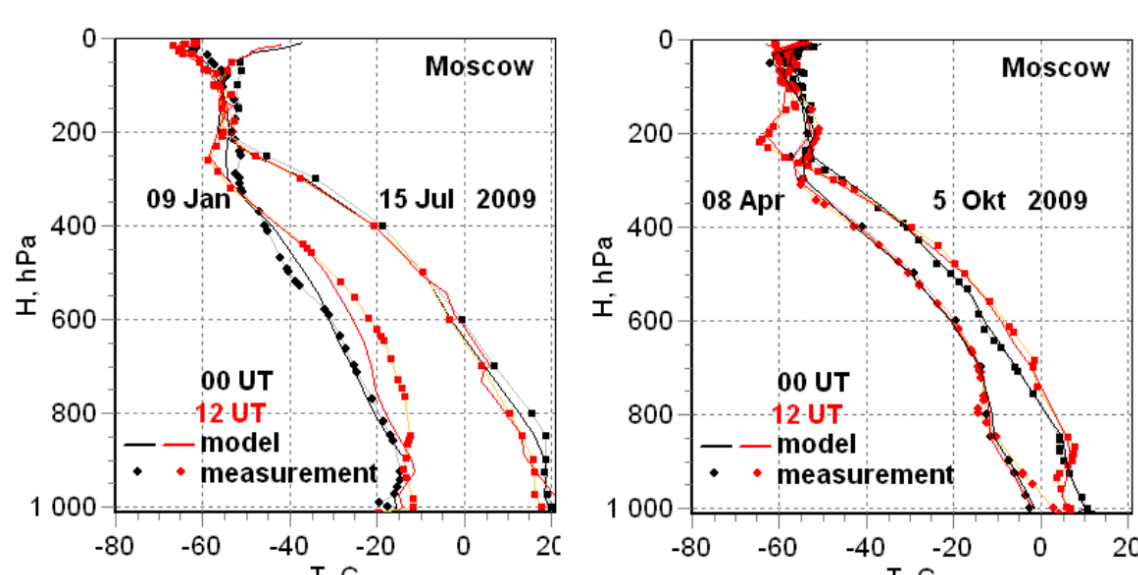
**Температурная модель.** Наиболее сложной задачей при исправлении температурного эффекта является получение часовых данных о распределении температуры в атмосфере за весь исследуемый период. В данной работе используются данные модели **Global Forecast System**, предоставляемые Национальным центром экологического прогнозирования США (**NCEP**)



Вышеупомянутая модель предлагает данные о температуре в атмосфере на 17 изобарических уровнях над узлами сетки с разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$ . Для получения температурного профиля в локации станции производится интерполяция по сетке. Временное разрешение модели составляет 6 часов, для получения часовых данных производится интерполяция с помощью кубических сплайнов.



Для работы с профилем температуры на больших временных интервалах в программном комплексе используются данные проекта **NCEP/NCAR Reanalysis**, доступные с 1948 года. Эти данные имеют большую точность чем данные прогностической модели **GFS**, но они выпускаются с опозданием на несколько суток. Вследствие чего для работы в реальном времени нужно совмещать данные реанализа и прогноза, обеспечивая таким образом временное покрытие с 1948 года до текущего момента, с возможностью прогноза на 5 дней вперед.



Для коррекции данных мюонной компоненты на температуру был произведен сравнительный анализ следующих методов:

1. Метод эффективного уровня генерации [A. Duperier, 1949]  $\frac{\delta N}{N}|_T = \alpha_H \delta H_{100} + \alpha_T \delta T_{100}$

2. Метод эффективной температуры [P. Barrett et al., 1952]  $\frac{\delta N}{N}|_T = \int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) \cdot dh = \int_0^{h_0} W_T(h) dh \cdot \frac{\int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) dh}{\int_0^{h_0} W_T(h) dh} = \alpha_T \delta T_{eff}$

3. Интегральный метод [L. Dorman, 1954, 1956; Maeda&Wada, 1954; Olbert, 1953]

4. Метод среднемассовой температуры [Yu. Krestyannikov, 1976]  $\frac{\delta N}{N}|_T = \int_0^{h_0} W_T(h) \delta T(h) dh = \bar{\alpha}_T \int_0^{h_0} \delta T(h) \cdot dh = \bar{\alpha}_T \delta T_m$

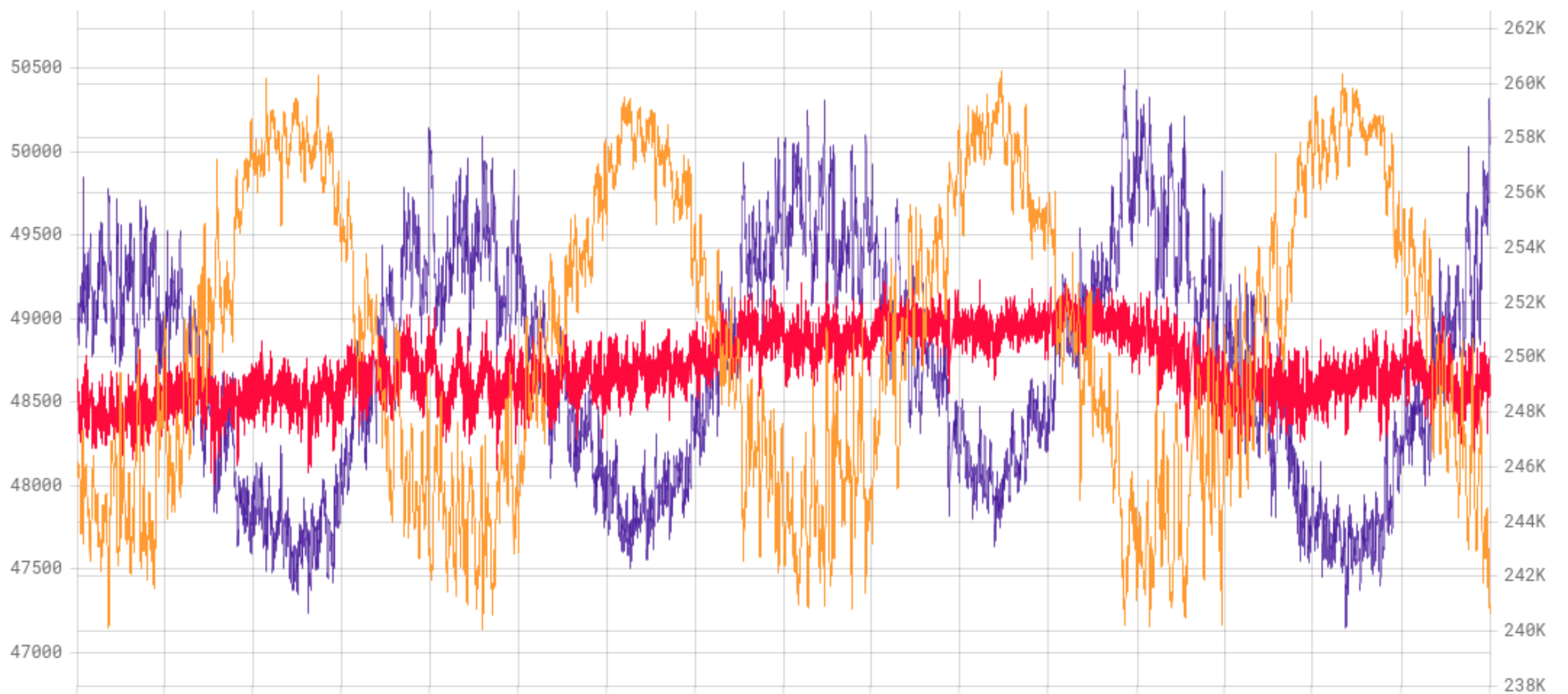
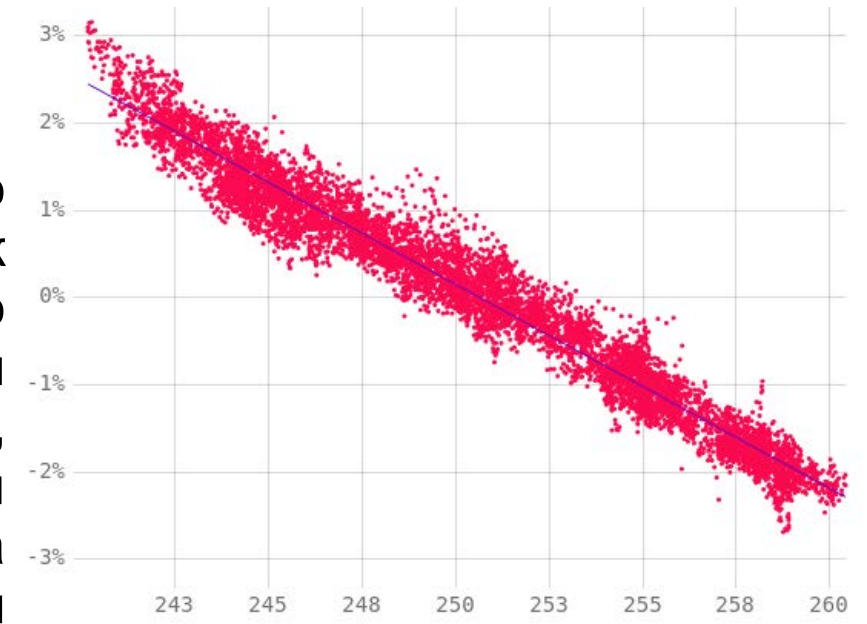
5. Метод определения вклада каждого изобарического уровня посредством многопараметрической регрессии.

В результате анализа было принято решение о выборе метода среднемассовой температуры как основного, так как он не требует предварительного определения функции плотности. При этом коэффициент определяется статистически, посредством множественной линейной регрессии с учетом атмосферного давления, а также (опционально) первичных вариаций космических лучей:

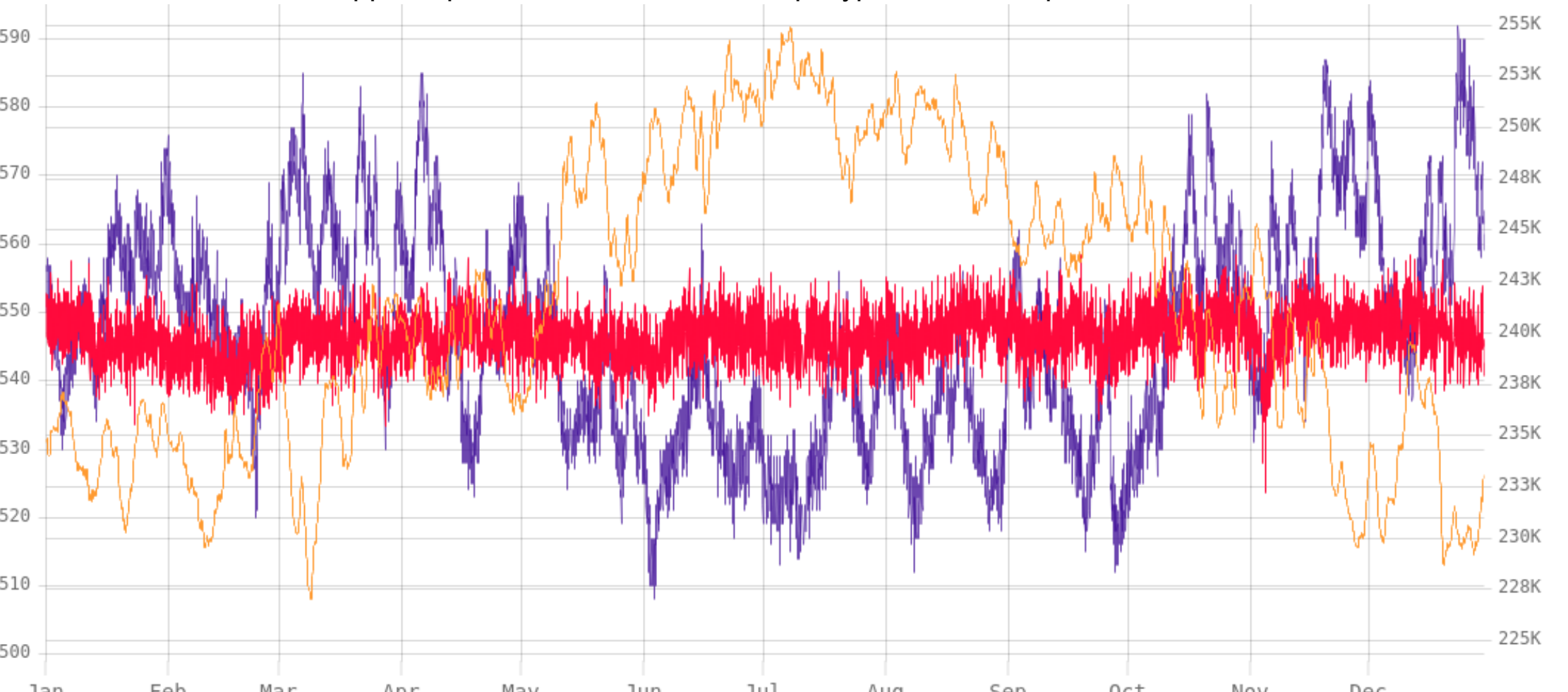
$$\ln N_U = \ln N_C + \beta(P_0 - P) + \alpha(T_0 - T_{eff}) + \delta v_S$$

После определения всех необходимых коэффициентов производится коррекция скорости счета:

$$N_C = N_U \exp[-\beta(P_0 - P)] \times [1 - \alpha(T_0 - T_{eff})]$$



Скорость счета мюонного телескопа Апатиты, скорректированная на температуру и давление. На рисунке видно форбуш-понижение в ноябре 2021 года.



## Выводы:

1. Модель **GFS** позволяет получать данные о распределении температуры в атмосфере с точностью достаточной для исключения температурного эффекта из часовых наблюдений мюонных детекторов, как ретроспективно, так и в реальном времени.

2. Из всех рассмотренных методов определения температурного эффекта наиболее предпочтительным является метод **эффективной температуры**. Однако хорошее приближение представляет метод **среднемассовой температуры**, не требующий предварительного определения плотности температурного коэффициента, и потому являющийся наиболее универсальным и оптимальным выбором.

3. Создан программный комплекс для анализа метеорологического эффекта мюонной компоненты, позволяющий проводить собственные исследования с помощью **интерфейса**, доступного по адресу <https://crst.izmiran.ru/crdt/>. Получение исходных данных возможно с помощью облачного хранилища, либо напрямую с сервера.

Для добавления вашего телескопа в систему, а также по любым другим вопросам связанным с использованием данного программного комплекса, просим обращаться по адресу [izmiran.crdt@gmail.com](mailto:izmiran.crdt@gmail.com), либо к авторам данной работы.