



Роль нисходящей длинноволновой радиации в прогнозе температуры воздуха в условиях снежного покрова

Пискунова Д.А. ^{1,2}, Чубарова Н.Е. ^{1,2}, Шатунова М.В. ², Шувалова Ю.О. ²

1 – МГУ им. М.В. Ломоносова

2 – ФГБУ «Гидрометцентр России»

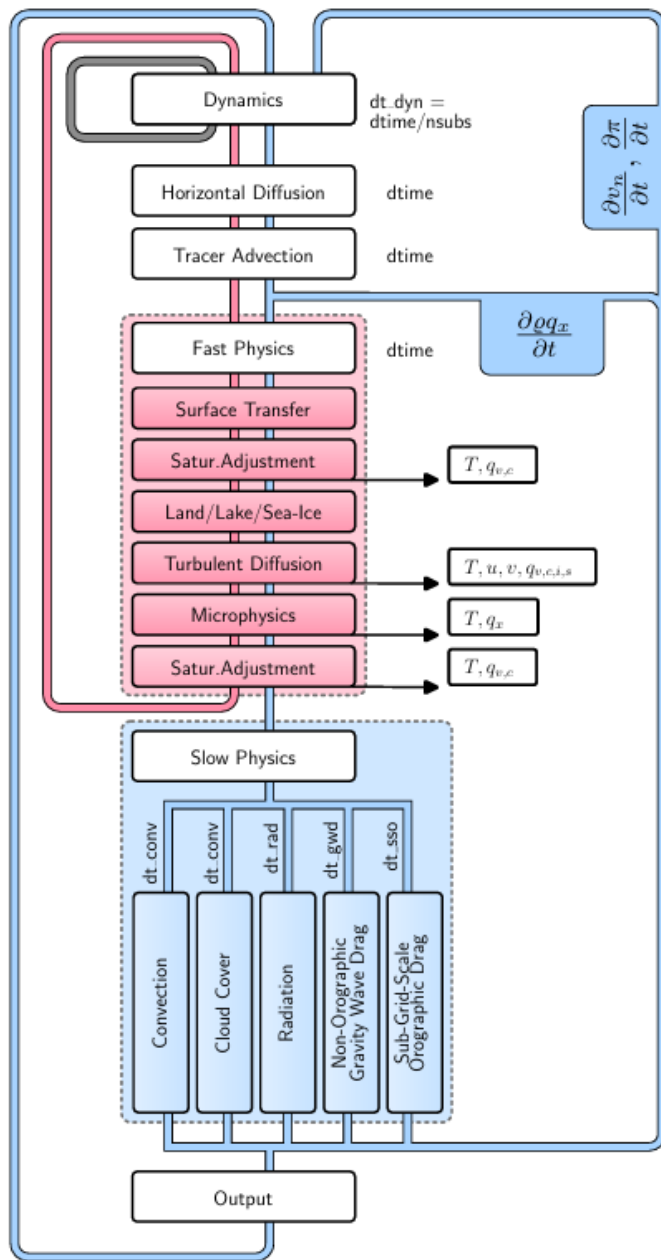
V Всероссийская конференция с международным участием
«Турбулентность, динамика атмосферы и климата»

Посвященная памяти академика Александра Михайловича Обухова

19–21 ноября 2024 г. Москва

План доклада

1. Учет длинноволновой радиации в прогнозе температуры воздуха в модели ЧПП ICON
2. Выбор случаев и постановка численных экспериментов при экстремально высоких значениях длинноволнового баланса
3. Результаты численных экспериментов
 - 3.1. Точность воспроизведения длинноволновой радиации и температуры
 - 3.2. Возможные причины расхождений между моделью и наблюдениями
4. Выводы



ICON

ICOsahedral Nonhydrostatic

Подробнее: в докладе Ривин Г.С. и др.
«Система краткосрочного численного
прогноза погоды Гидрометцентра России на
основе российских глобальной и региональных
конфигураций бесшовной негидростатической
модели нового поколения ICON»

$$\frac{\partial T}{\partial t} = f \left(u, \frac{\partial T}{\partial x}, v, \frac{\partial T}{\partial y}, \omega, \gamma, \epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 \right)$$

горизонтальные скорости

горизонтальный градиент температуры

вертикальная скорость

вертикальный градиент температуры

турбулентный теплообмен

приток скрытого тепла

коротковолновый баланс

радиационный приток тепла

длинноволновый баланс (NLR)

$$NLR = DLR - ULR$$

DLR – нисходящая длинноволновая радиация

ULR – восходящая длинноволновая радиация

Условия формирования положительного длинноволнового баланса

Случаи с положительным длинноволновым балансом в Арктике описаны в работе [Tjernström et al., 2015]



Зона приземной адвективной инверсии и инверсии, связанной с таянием снега

$$NLR = DLR - ULR$$

DLR – нисходящая длинноволновая радиация
ULR – восходящая длинноволновая радиация
NLR – длинноволновый баланс

Численные эксперименты

Подробнее: в докладах Петров Н.А. и др.

- радиационная схема **esRAD**, вычислитель McICA
- экспоненциально-случайная схема облачного перекрытия
- оптические свойства облачных капель – схема SOCRATES
- оптические свойства ледяных кристаллов – схема Fu;
- учет рассеяния облачными частицами в длинноволновом диапазоне
- концентрация ядер конденсации: 250 см^{-3}

Выдача результата: каждые 30 минут

Верификация (результаты 1,1 км)



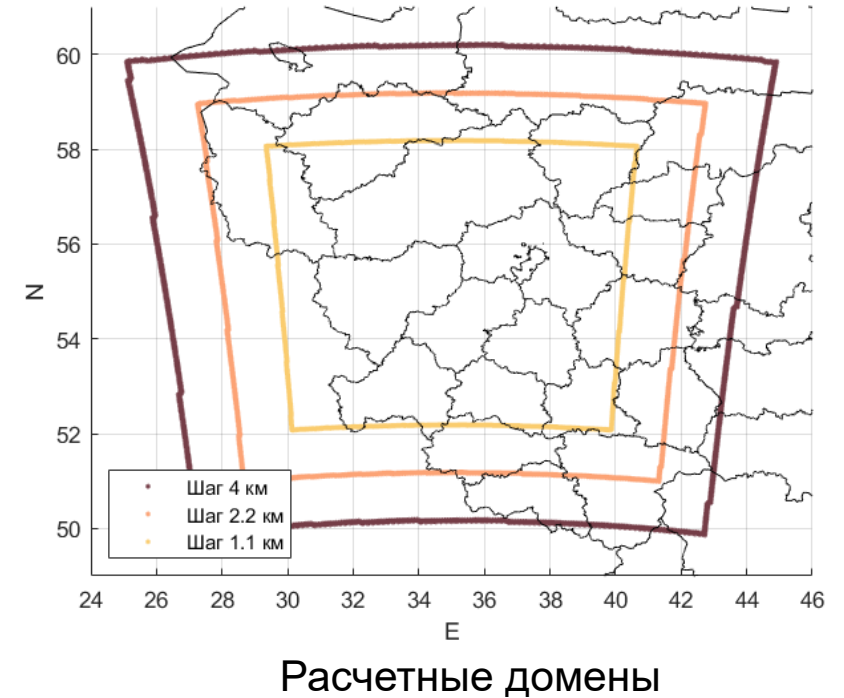
МО МГУ

измерения на станции: температура 2 м,
балл облачности,
МТП5: профиль температуры,
комплекс RAD-MSU(BSRN): восходящая и
нисходящая длинноволновая радиация



Вся область расчетного домена

(измерения на 90-92 станциях):
температура 2 м,
с помощью Model Evaluation Tools



Измерения длинноволновой радиации в Метеорологической Обсерватории МГУ Комплекс RAD-MSU стандарта BSRN

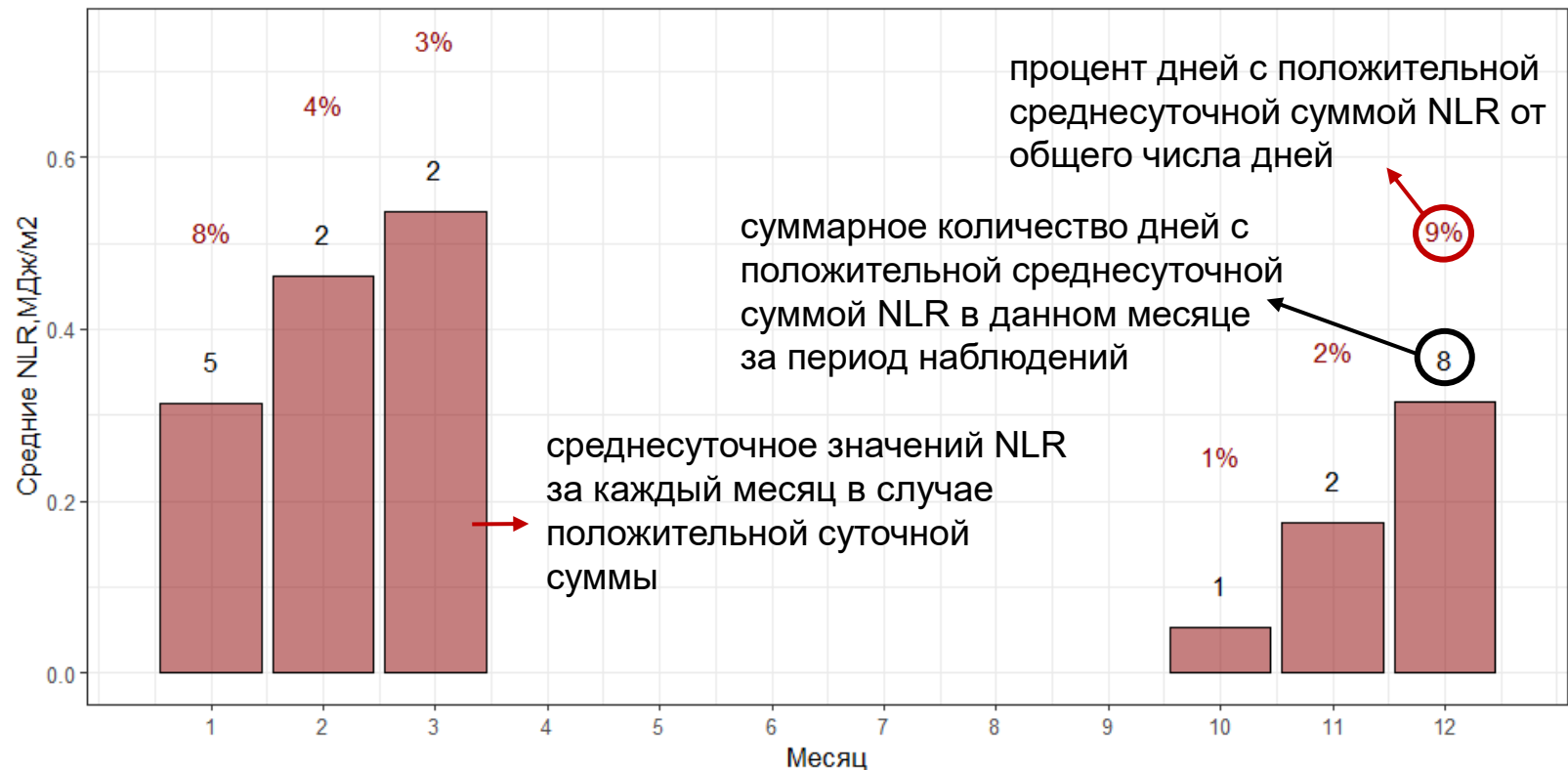


Работает с августа 2021

Данные с минутным разрешением

Автоматическая обработка данных и контроль качества
[Чубарова и др., 2022]

Случаи с положительным длинноволновым балансом
по данным комплекса: август 2021–декабрь 2023



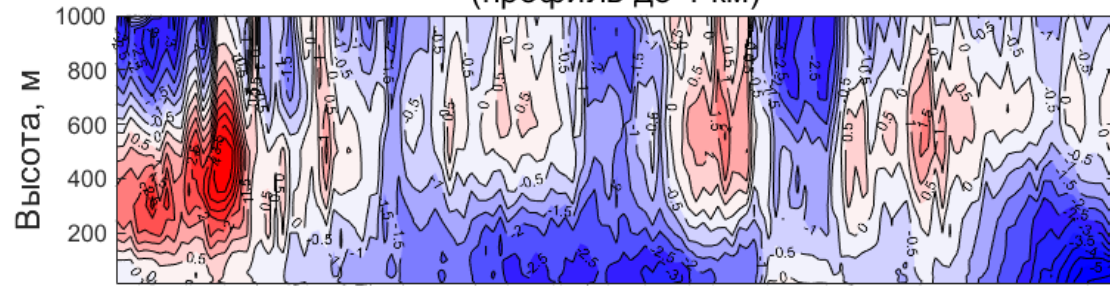
19-21 декабря 2023

29-31 декабря 2023

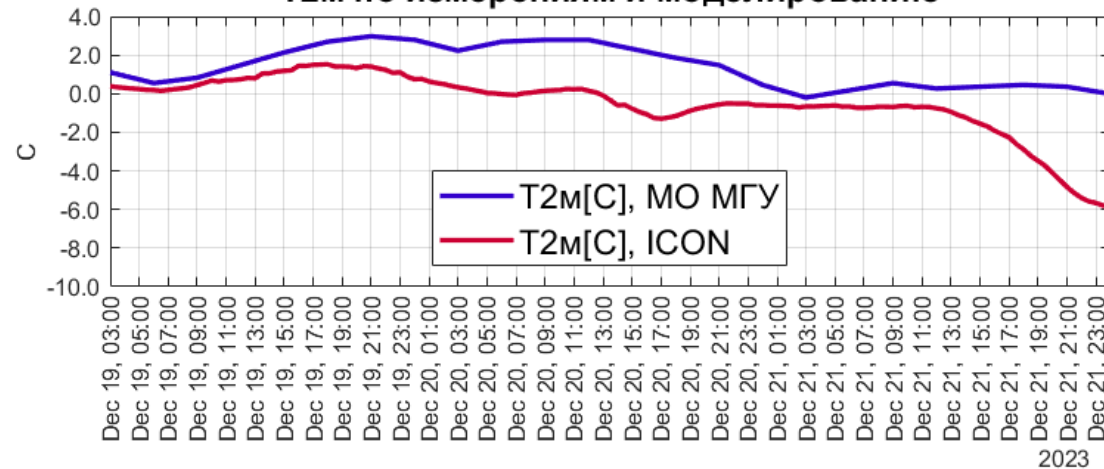
Сравнение температуры воздуха с измерениями в МО МГУ

19-21 декабря 2023

Разность измеренной (МТП5) и смоделированной температуры, С
(профиль до 1 км)

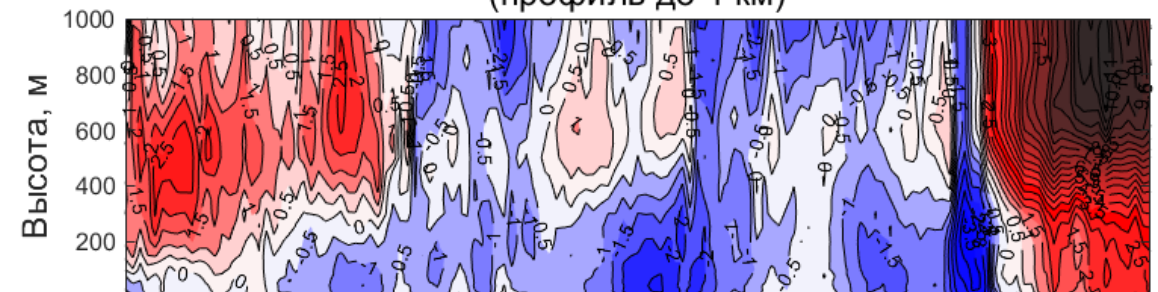


T2м по измерениям и моделированию

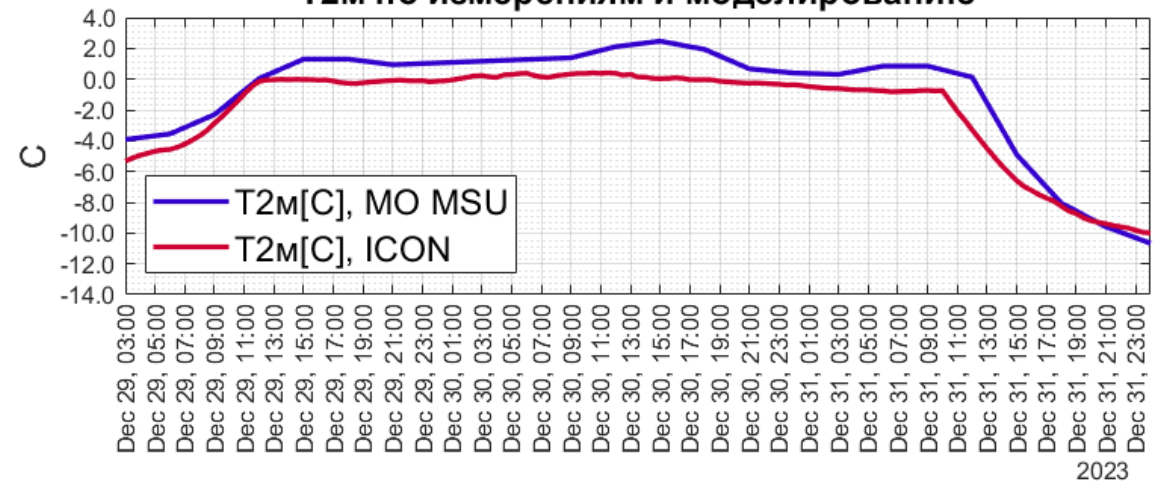


29-31 декабря 2023

Разность измеренной (МТП5) и смоделированной температуры, С
(профиль до 1 км)



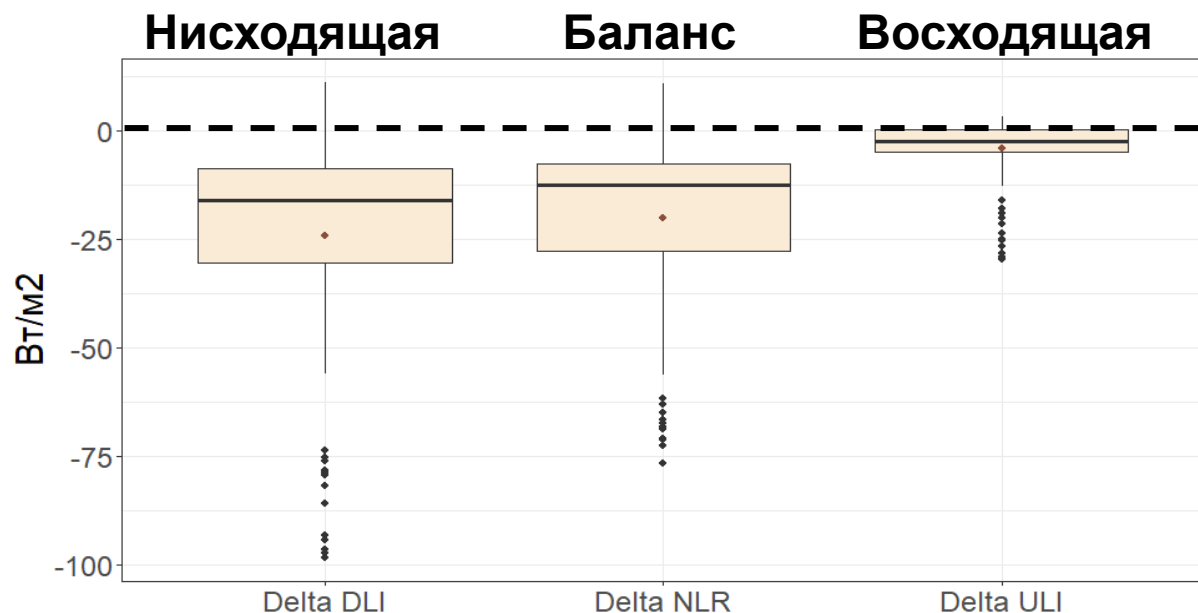
T2м по измерениям и моделированию



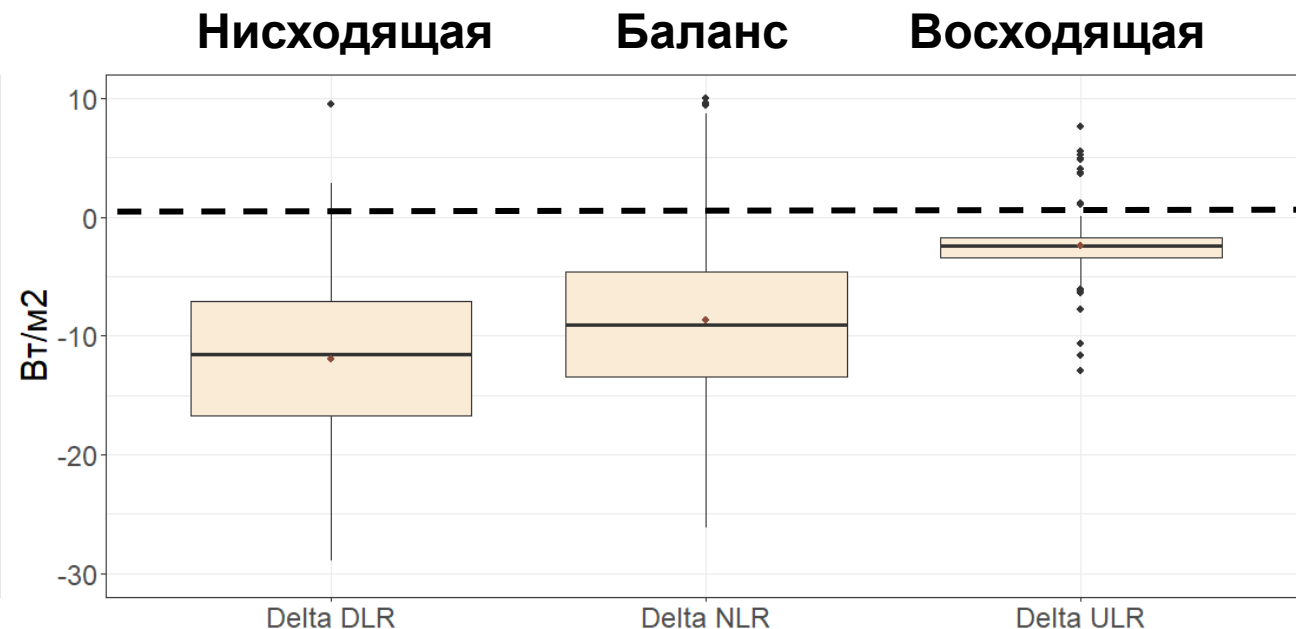
Для обоих случаев в модели было характерно занижение приземной температуры и температуры в нижних частях профиля

Сравнение длинноволнового баланса и его составляющих с измерениями в МО МГУ

19-21 декабря 2023



29-31 декабря 2023



Диаграммы размаха разности между наблюдаемыми и измеренными значениями (модель – расчет) за весь расчетный период

Коричневый ромб – среднее значение, линия – медианное значение, ящик – интерквартильный размах (с 1 по 3 квантиль), усы – минимумы и максимумы без выбросов, черные ромбы – выбросы

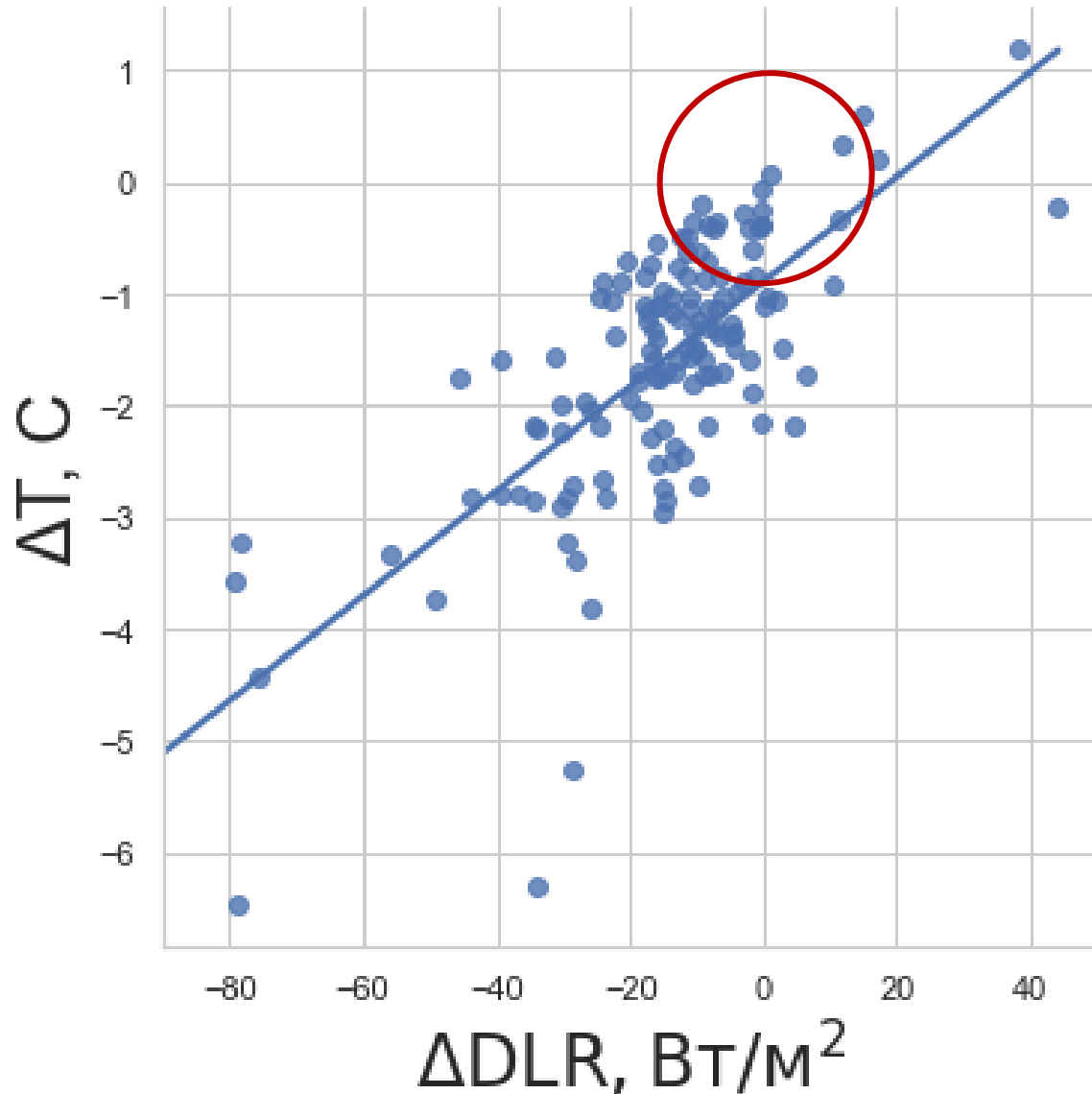
$$NLR = DLR - ULR$$

DLR – нисходящая длинноволновая радиация

ULR – восходящая длинноволновая радиация

NLR – длинноволновый баланс

Зависимость ошибки температуры воздуха от ошибки нисходящей длинноволновой радиации



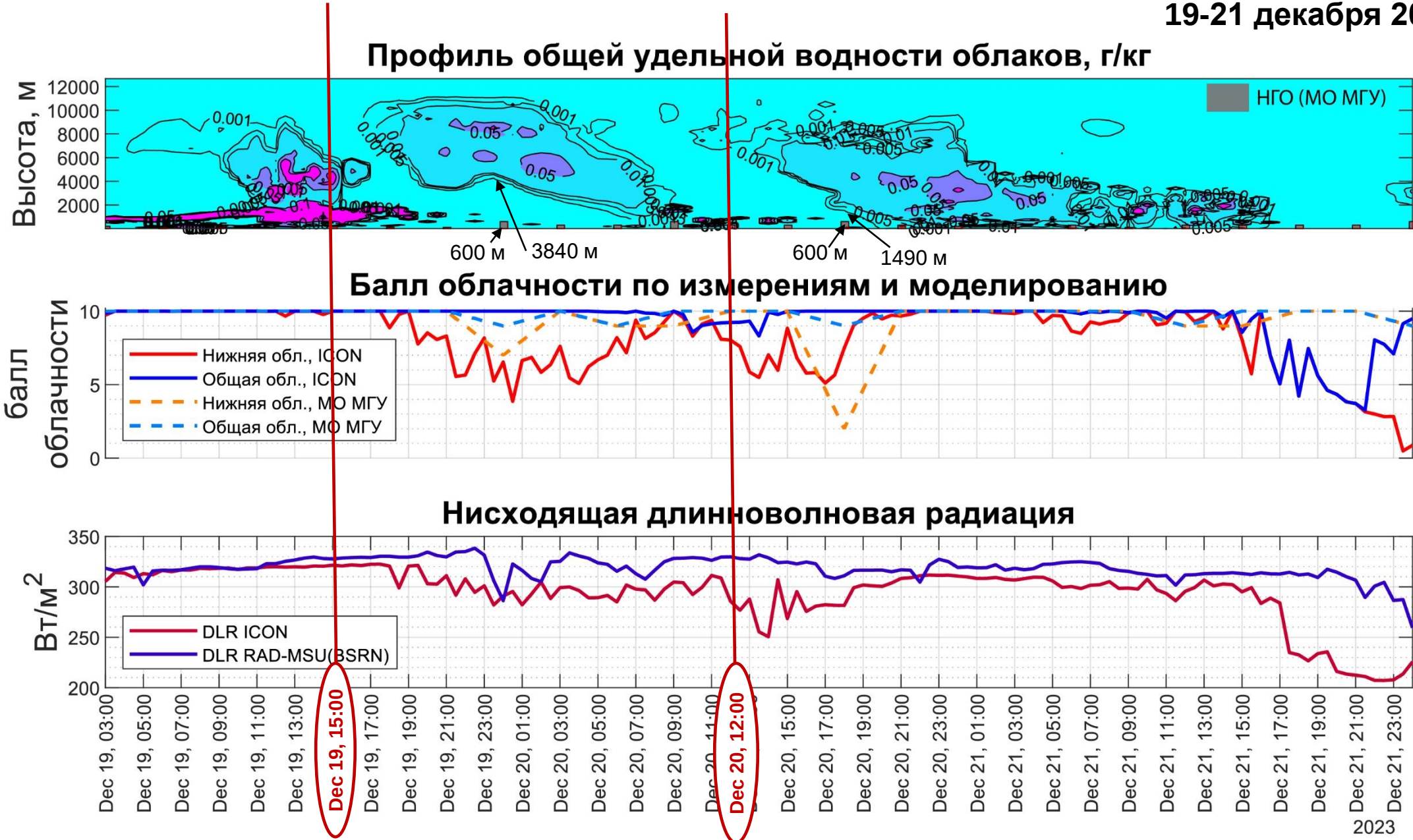
$$\Delta T = T_{ICON} - T_{RAD-MSU(BSRN)}$$

$$\Delta DLR = DLR_{ICON} - DLR_{RAD-MSU(BSRN)}$$

Коэффициент корреляции между
ошибкой воспроизведения
приземной температуры (ΔT) и
ошибкой нисходящей
длинноволновой радиации
(ΔDLR): **0,78**

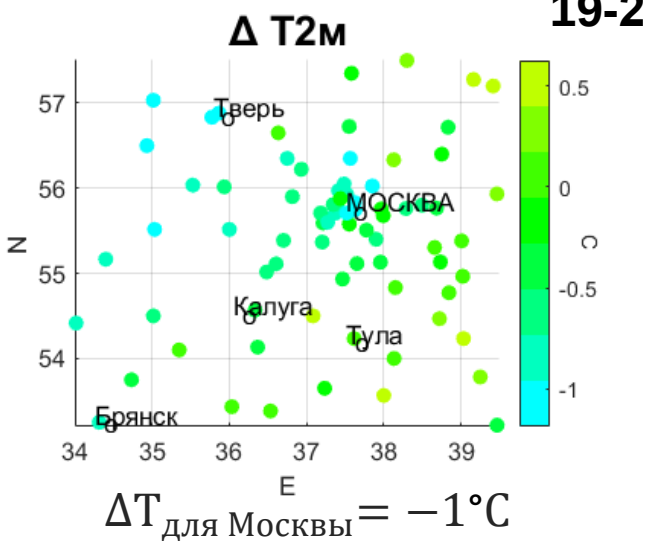
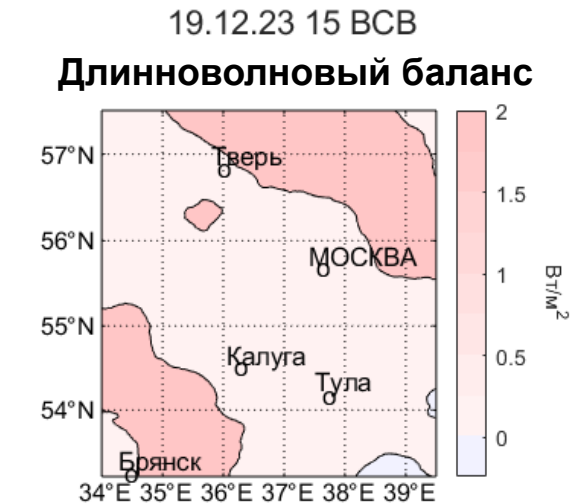
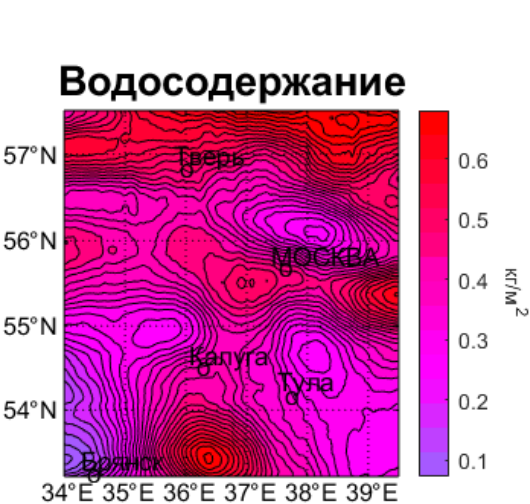
Возможные причины расхождений в DLR: облачные характеристики

19-21 декабря 2023



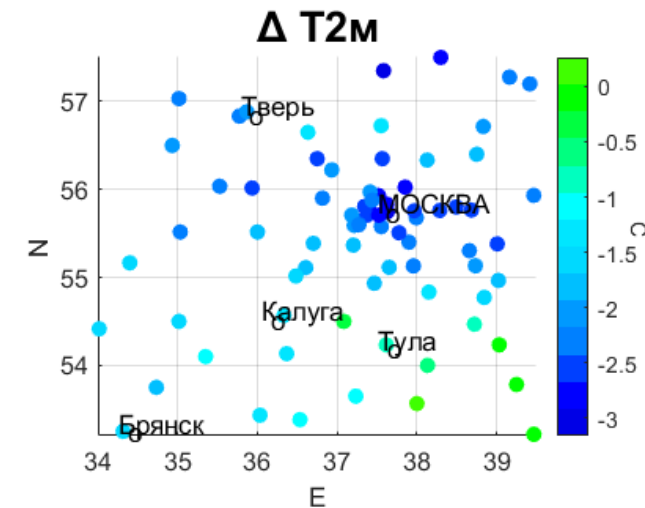
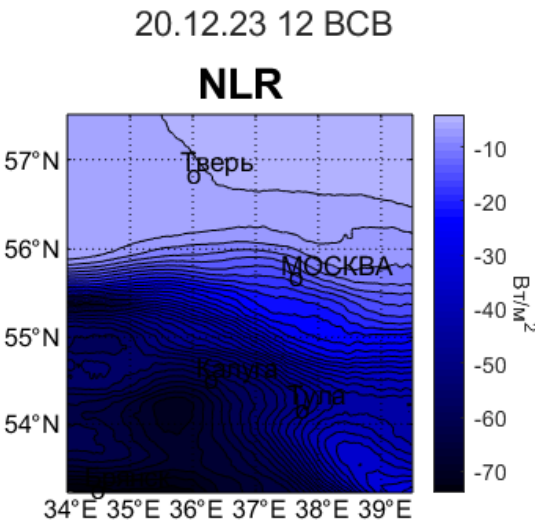
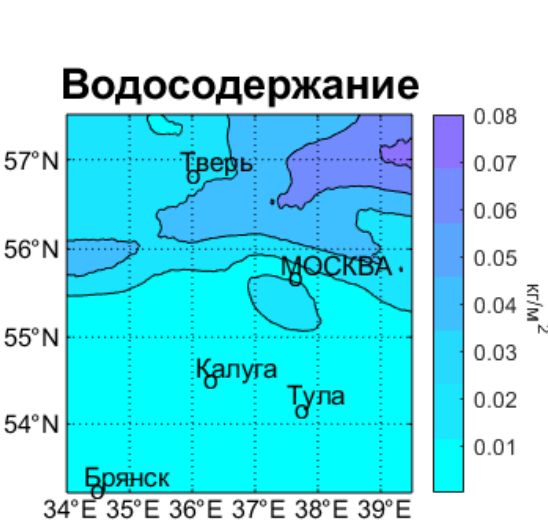
Пространственное распределение модельного водосодержания, длинноволнового баланса и разности между модельными и измеренными температурами воздуха

19-21 декабря 2023



$\Delta NLR_{\text{для Москвы}} = -8 \text{ Вт/м}^2$

$\Delta T_{\text{для Москвы}} = -1^\circ\text{C}$

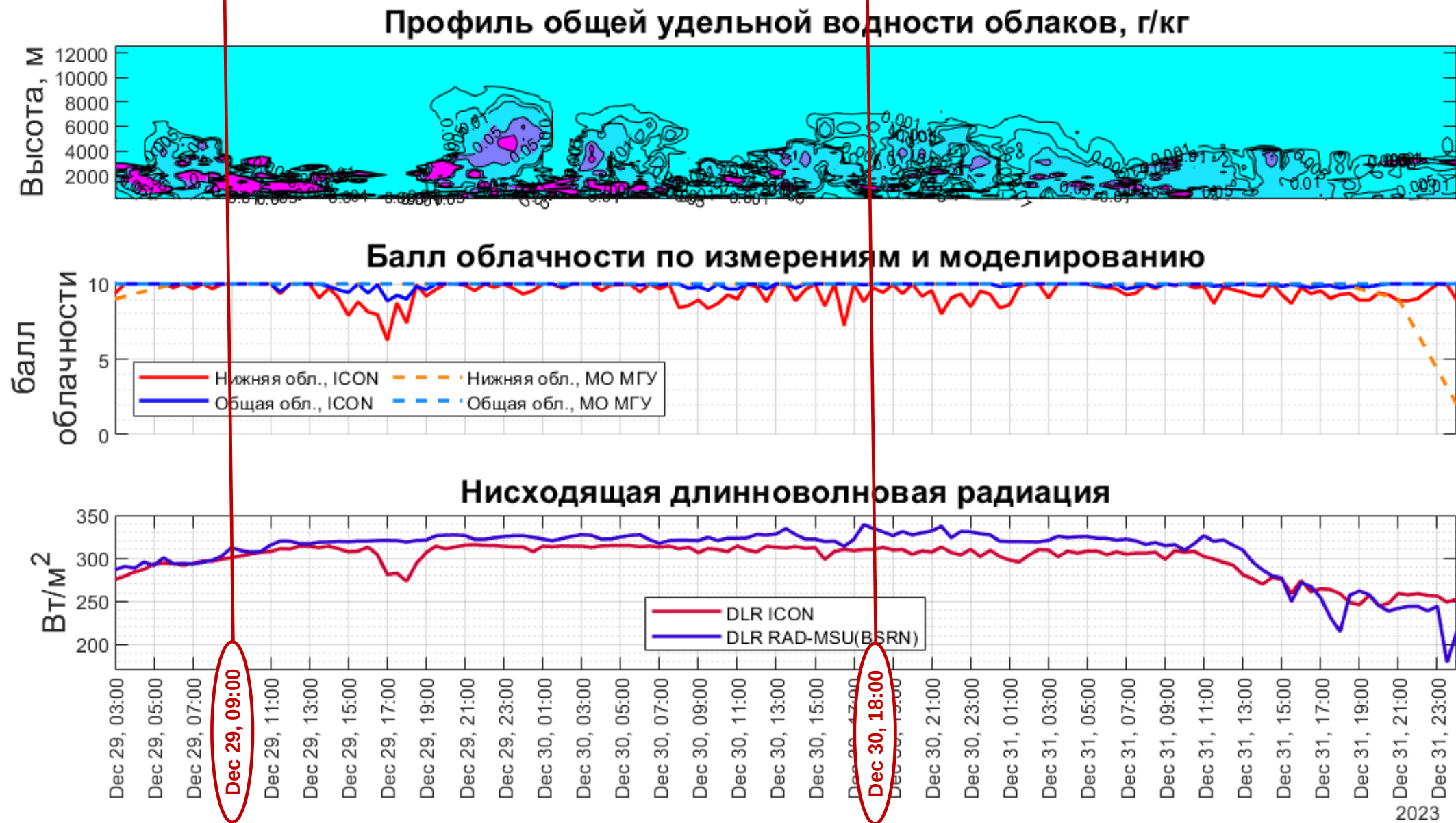


$\Delta NLR_{\text{для Москвы}} = -43 \text{ Вт/м}^2$

$\Delta T_{\text{для Москвы}} = -2,8^\circ\text{C}$

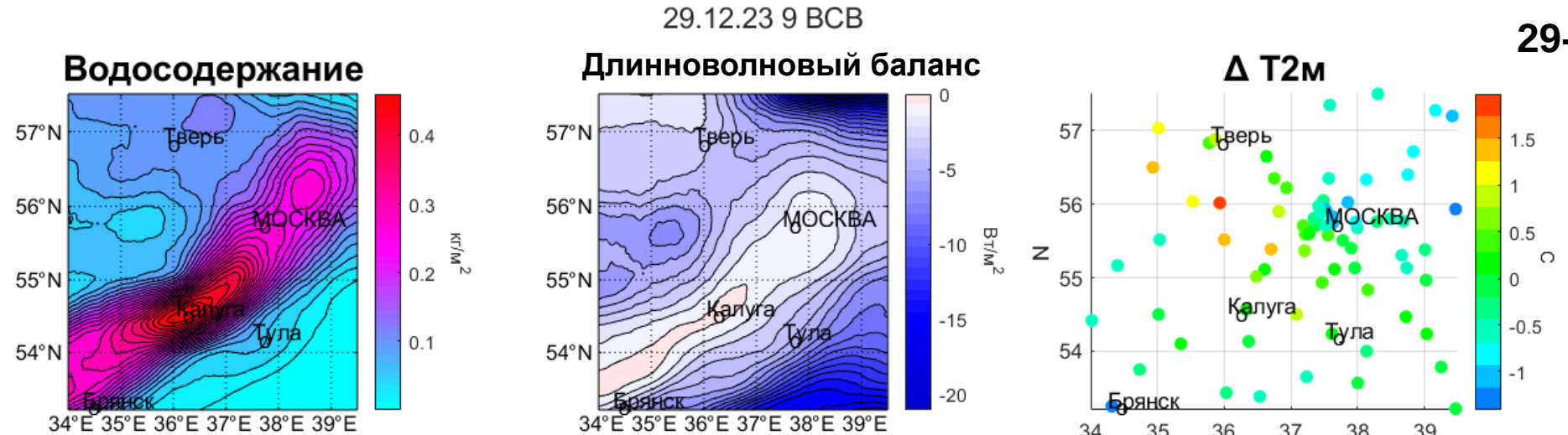
Возможные причины расхождений в DLR: облачные характеристики

29-31 декабря 2023



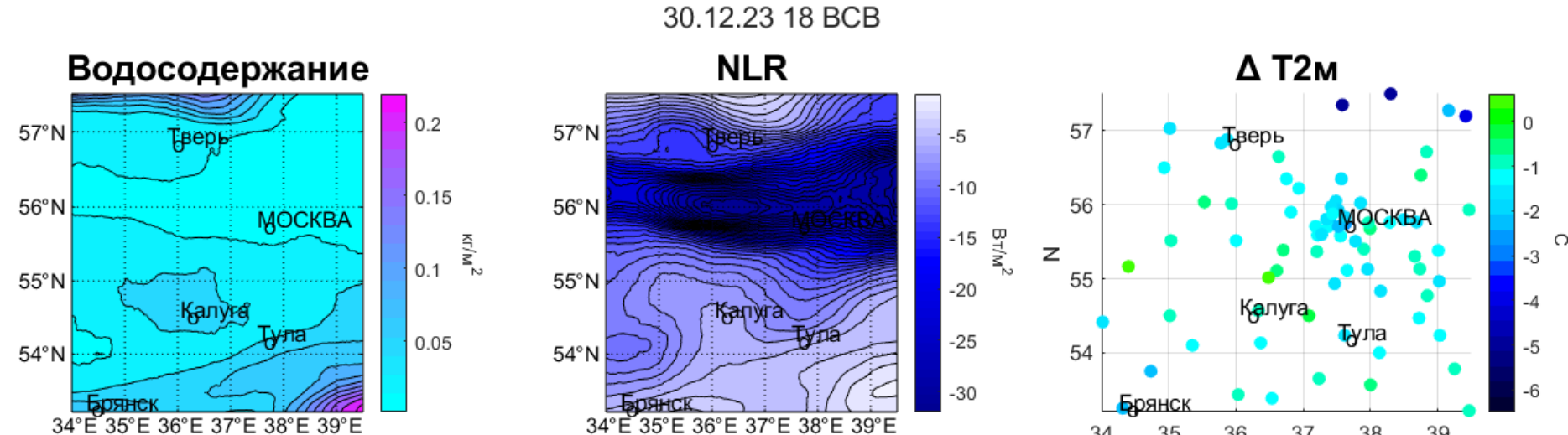
Пространственное распределение модельного водосодержания и длинноволнового баланса и разности между модельными и измеренными температурами воздуха

29-31 декабря 2023



$\Delta NLR_{\text{для Москвы}} = -8 \text{ Вт/м}^2$

$\Delta T_{\text{для Москвы}} = -0,6^\circ\text{C}$



$\Delta NLR_{\text{для Москвы}} = -19 \text{ Вт/м}^2$

$\Delta T_{\text{для Москвы}} = -1,9^\circ\text{C}$

Выводы

1. В обоих случаях адвекции теплого воздуха на снежную поверхность выявлено существенное занижение прогностической температуры воздуха на 2 м в модели ЧПП ICON не только для МО МГУ, но и для других станций в ЦФО.
2. Занижение рассчитанной температуры распространялось на нижние слои тропосферы (нижние 200 м) по данным МТП5 МО МГУ.
3. Уменьшение погрешности в воспроизведении длинноволновой радиации значительно уменьшает ошибку прогноза приземной температуры воздуха.
4. Основным фактором погрешностей расчета длинноволновой радиации, которые определяют ошибки температуры воздуха, стала погрешность воспроизведения характеристик облачности.