



Развитие системы ансамблевого среднесрочного прогноза на основе модели ПЛАВ

**Алипова К.А., Мизяк В.Г., Толстых М.А.,
Гойман Г.С.**

Гидрометцентр России, ИВМ РАН

21.11.2024

Актуальность

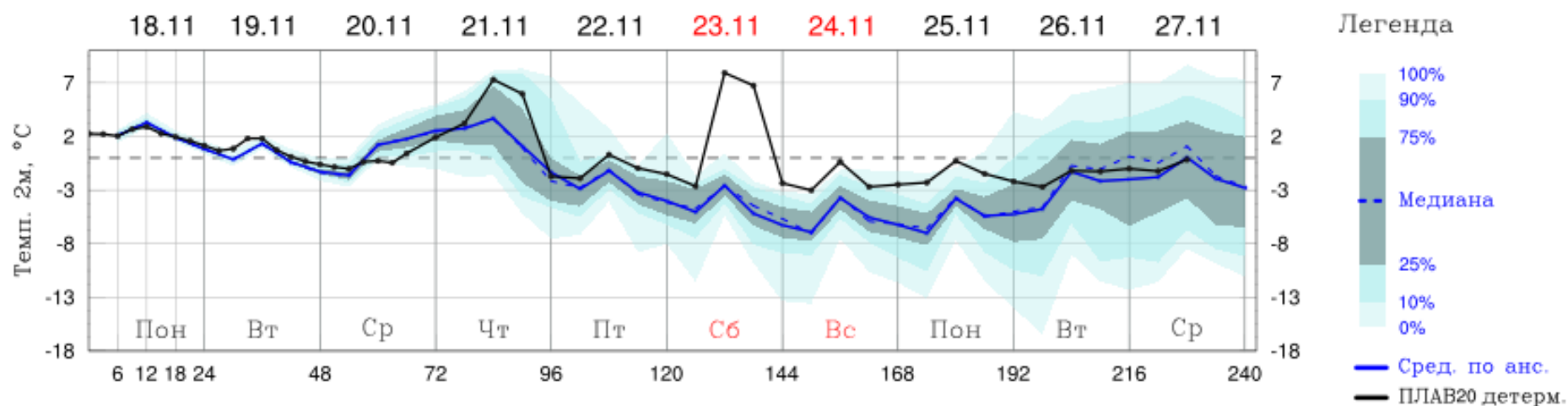
- предел детерминистической предсказуемости атмосферы ~ 5 суток
- среднесрочный ансамблевый прогноз на 7-14 суток

Метеостанция МОСКВА, ВДНХ (27612)

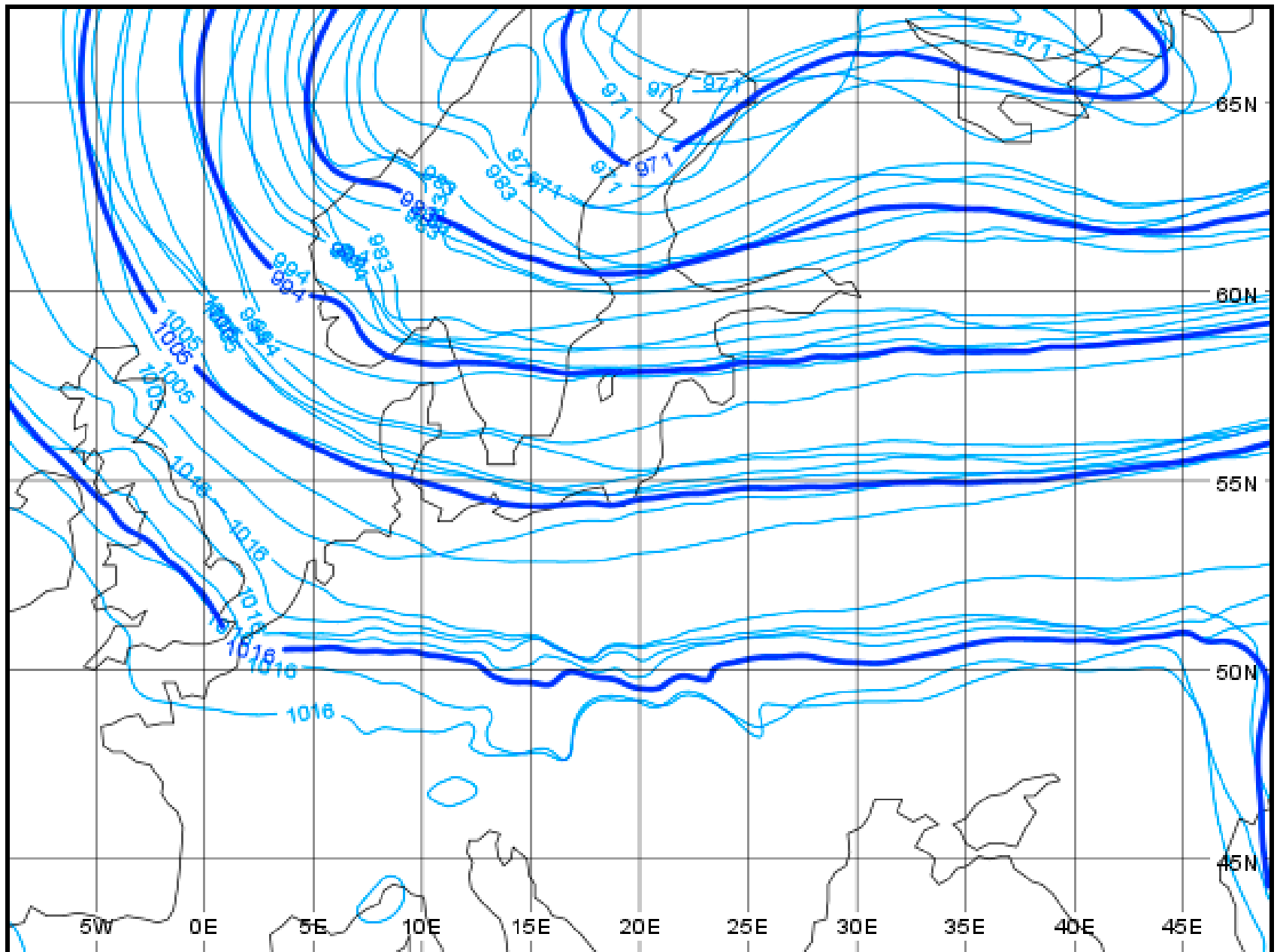
Прогноз от 0 ВСВ 18.11.2024 на 240 час.

Высота 147 м.
55.83° с.ш., 37.62° в.д.
Москва

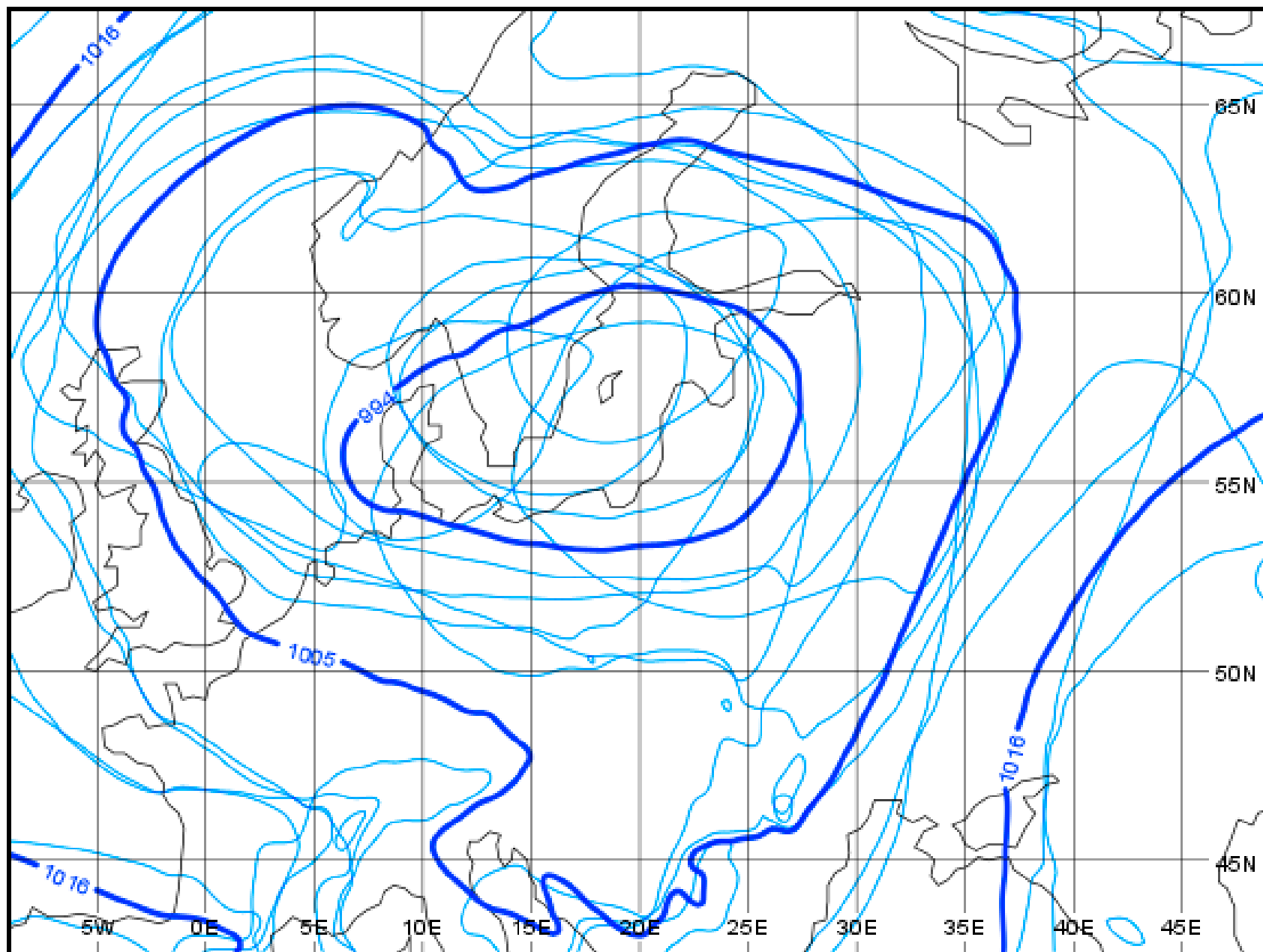
модель
ПЛАВ072L96
Размер ансамбля 40



Пример – прогноз MSLP на 24 часа

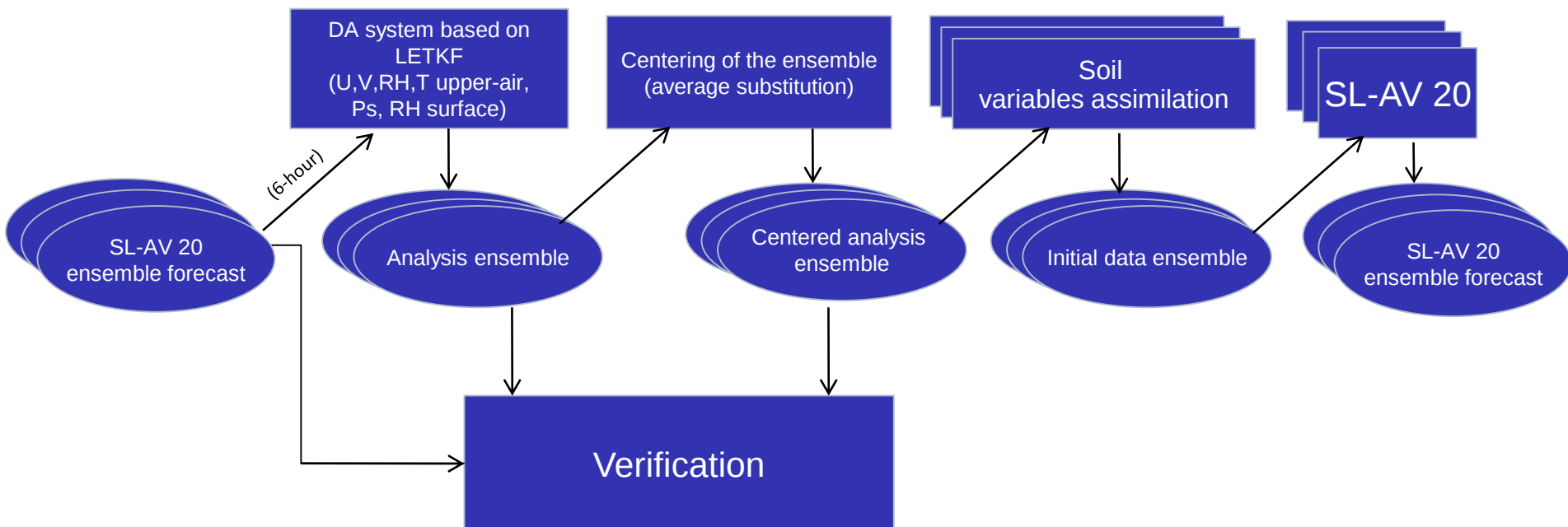


Пример – прогноз MSLP на 120 часов



Ансамблевая система на основе модели ПЛАВ20

- Система усвоения данных на основе локального ансамблевого фильтра Калмана с преобразованием ансамбля (LETKF)
- Центрирование ансамбля анализов относительно оперативного анализа Гидрометцентра России
- Глобальная полулагранжева модель атмосферы ПЛАВ20, горизонтальное разрешение: 0.225° по долготе, переменное разрешение по широте от 0.24° (20-27 км) во внетропической части Южного полушария до 0.16° (16-20 км) в средних широтах Северного полушария, 51 вертикальный уровень, размер ансамбля — 36



Ансамблевые прогнозы ПЛАВ20

- 36 прогнозов в ансамбле (35+1)

- Запуски:

00, 06, 12, 18 часов ВСВ – прогнозы на 6 часов

00 часов ВСВ – прогнозы на **240** часов

(00, 12 часов ВСВ – прогнозы на 336 часов)

- Настройка числа уровней в выдаче – от 5 до 51

Учет неопределенностей в системе ансамблевого прогноза на основе модели ПЛАВ20

- **неопределенности в начальных данных:**

- LETKF (А. Шляева, М. Толстых, В. Мизяк, В. Рогутов [1])

- **неопределенности в модели атмосферы:**

- стохастическое возмущение тенденций и параметров параметризаций (К. Алипова, Г. Гойман, М. Толстых, В. Мизяк, В. Рогутов [2])

2 тенденции (температура и завихренность) и 27 параметров (параметризации конвекции, облачности, длинно- и коротковолновой радиации, конденсации и выпадения осадков, микрофизики, взаимодействия рельефа с крупномасштабным потоком, турбулентности)

- стохастическое возмущение полулагранжевых траекторий (К. Алипова, В. Мизяк, М. Толстых, Г. Гойман [3])

[1] A. Shlyayeva, M. Tolstykh, V. Mizyak, V. Rogutov, Local ensemble transform Kalman filter data assimilation system for the global semi-Lagrangian atmospheric model // Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling. 2013. V. 28. No. 4. P. 419-441.

[2] K.A. Alipova, G.S. Goyman, M.A. Tolstykh, V.G. Mizyak, V.S. Rogutov, Stochastic perturbation of tendencies and parameters of parameterizations in the global ensemble prediction system based on the SL-AV model // Russ. J. Numer. Anal. Math. Model. 2022. V. 37(6). P. 331-347.

[3] Alipova K., Mizyak V., Tolstykh M., Goyman G. Stochastic perturbations in the semi-Lagrangian advection algorithm of the SL-AV global atmosphere model // Russ. J. Numer. Anal. Math. Model. 2024. V. 39(1). P. 1-11.

Генератор случайных возмущений

2D случайные поля: $\xi_j = e^{\psi_j} \tilde{\xi}_j$, $\psi_j \sim \mathcal{N}\left(-\frac{1}{2}\sigma_j^2, \sigma_j^2\right)$,

ξ_j - возмущенное значение параметра,

$\tilde{\xi}_j$ - невозмущенное значение параметра,

ψ_j - случайное двумерное поле.

- Бигармоническая фильтрация для корреляции по пространству:

$$\psi_{j(f)} = \psi_j - \nu \Delta^2 \psi_{j(f)},$$

ν – масштаб автокорреляции по пространству.

- AR(1)-процесс для корреляции по времени:

$$\psi_j^{n+1} = \frac{1}{2}\sigma_j^2 \frac{\Delta t}{\tau_j} + \left(1 - \frac{\Delta t}{\tau_j}\right) \psi_j^{n+1} + \left[\frac{\Delta t}{\tau_j} \left(2 - \frac{\Delta t}{\tau_j}\right)\right]^{\frac{1}{2}} \varepsilon_j^n$$

Δt – шаг по времени модели,

τ_j - время декорреляции,

ε_j^n - 2D отфильтрованное случайное поле с распределением

$$\mathcal{N}\left(-\frac{1}{2}\sigma_j^2, \sigma_j^2\right)$$

Стохастическое возмущение тенденций параметризаций

Метод SPPT (R. Buizza, 1999):

$$X_p = (1 + r\mu)X_c,$$

X_c - невозмущенная тенденция,

X_p - возмущенная тенденция,

r - случайная величина с распределением, близким к Гауссову,

$\mu \in [0,1]$ - коэффициент для настройки амплитуды возмущений.

Стохастическое возмущение параметров параметризаций

Метод SPP (P. Ollinaho, 2017):

$$\xi_j = e^{\psi_j} \tilde{\xi}_j, \quad \psi_j \sim \mathcal{N}(\mu_j, \sigma_j^2),$$

ξ_j - возмущенное значение параметра, $\tilde{\xi}_j$ - невозмущенное значение параметра,

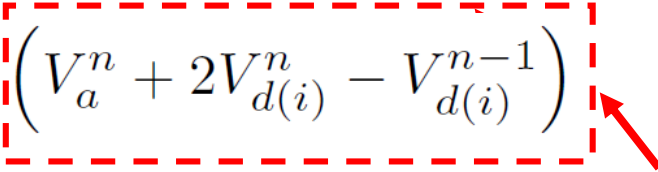
ψ_j - случайная величина с Гауссовым распределением со средним μ_j ($\mu_j = -\frac{1}{2}\sigma_j^2$ или $\mu_j = 0$) и стандартным отклонением σ_j .

Метод случайных возмущений полулагранжевых траекторий

Итерационный метод для решения уравнения траекторий:

$$r_{d(i+1)}^n = r_a^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \left(V_a^n + 2V_{d(i)}^n - V_{d(i)}^{n-1} \right)$$
$$\eta_{d(i+1)}^n = \eta_a^{n+1} - \frac{\Delta t}{2} \left(\dot{\eta}_a^n + 2\dot{\eta}_{d(i)}^n - \dot{\eta}_{d(i)}^{n-1} \right)$$

$\mathfrak{V} = (\mathfrak{V}_u, \mathfrak{V}_v)$



$$\mathfrak{V}_u^* = \mathfrak{V}_u (1 + \xi_u W(\eta)) \quad \mathfrak{V}_v^* = \mathfrak{V}_v (1 + \xi_v W(\eta))$$

$$\xi_u, \xi_v \sim \mathcal{N}(0, \sigma_i^2)$$

(i) – номер итерации, n – номер шага по времени, Δt – шаг по времени, d и a – индексы, соответствующие исходной и конечной точкам траектории соответственно,

r – радиус-вектор на сфере, $r=(\theta, \lambda)$,

θ – широта, λ – долгота, η – вертикальная координата,

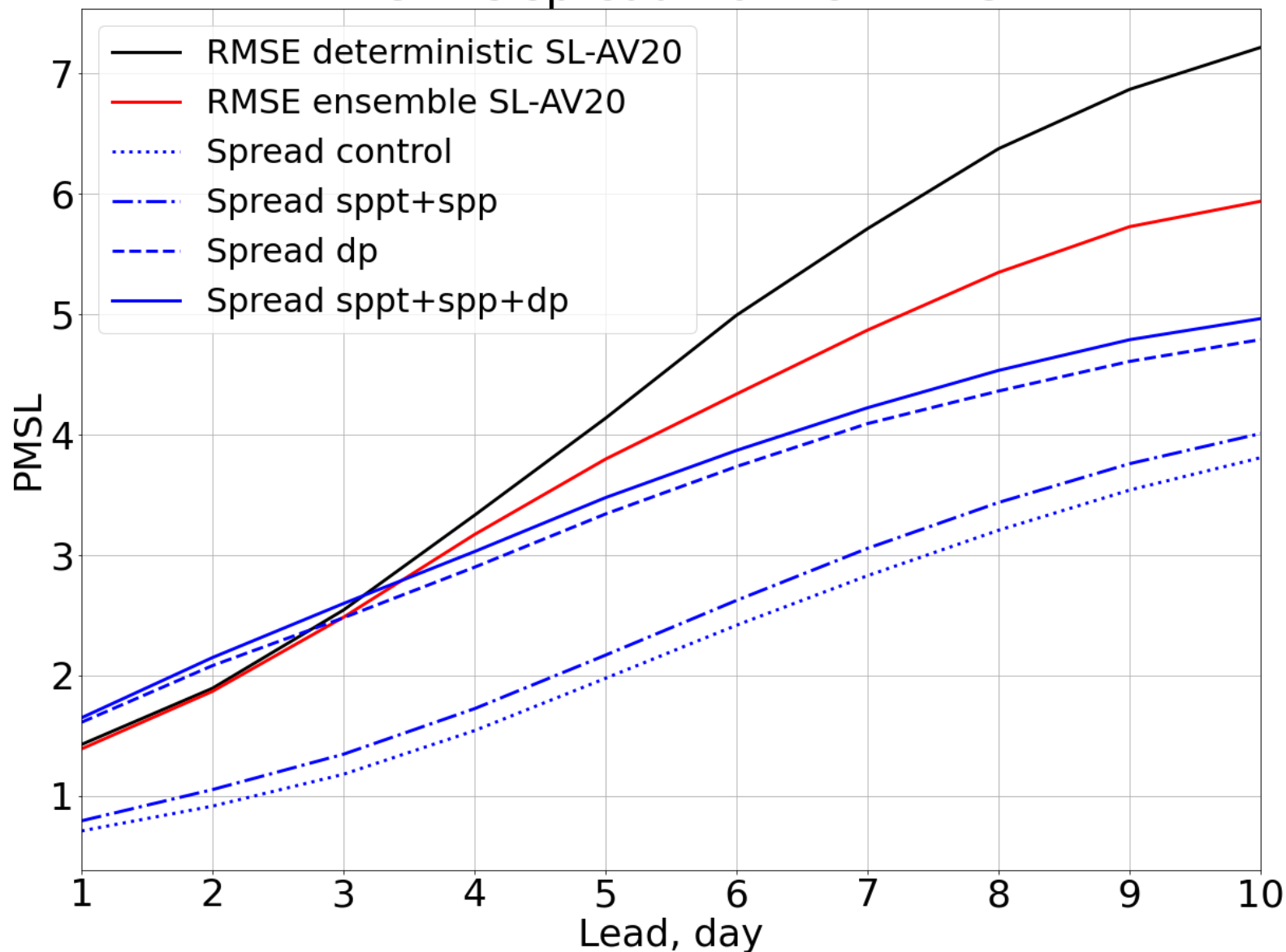
$V=(u, v)$ – горизонтальный вектор скорости ветра,

$\dot{}$ – производная по времени,

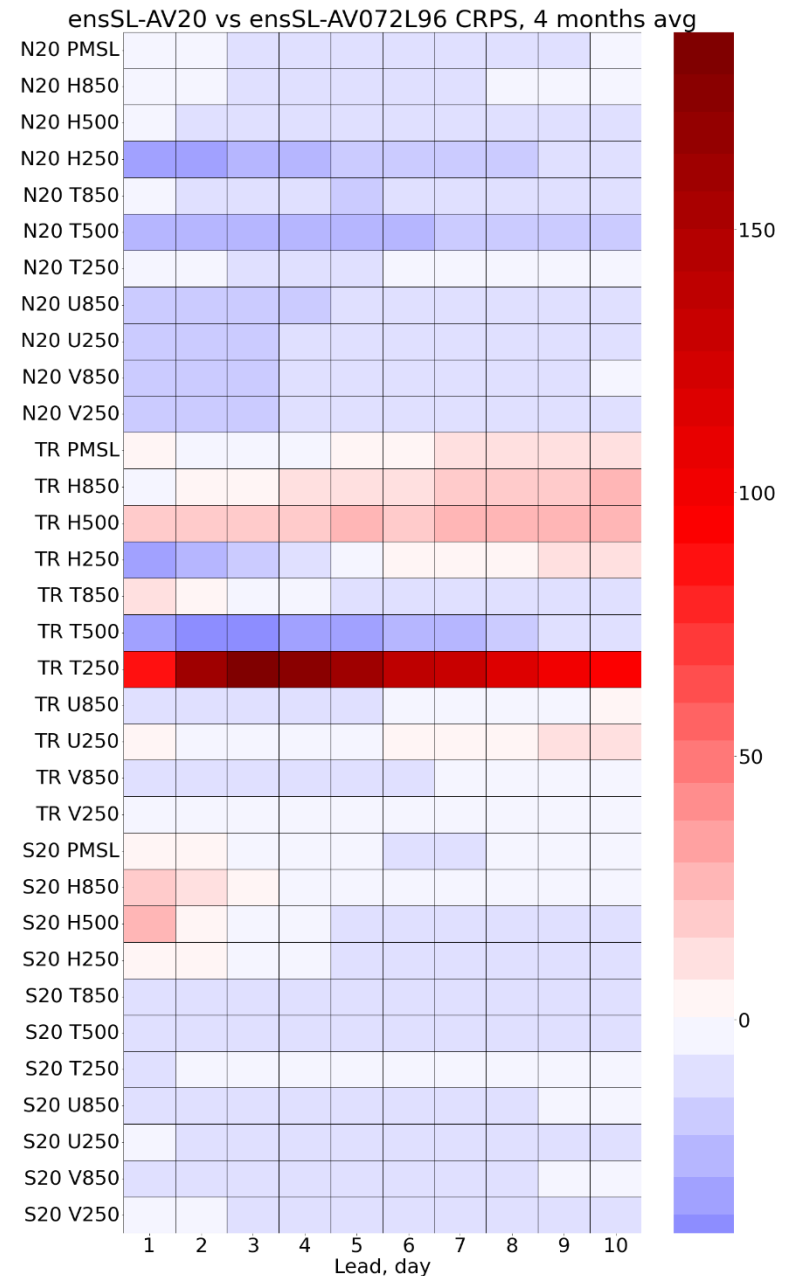
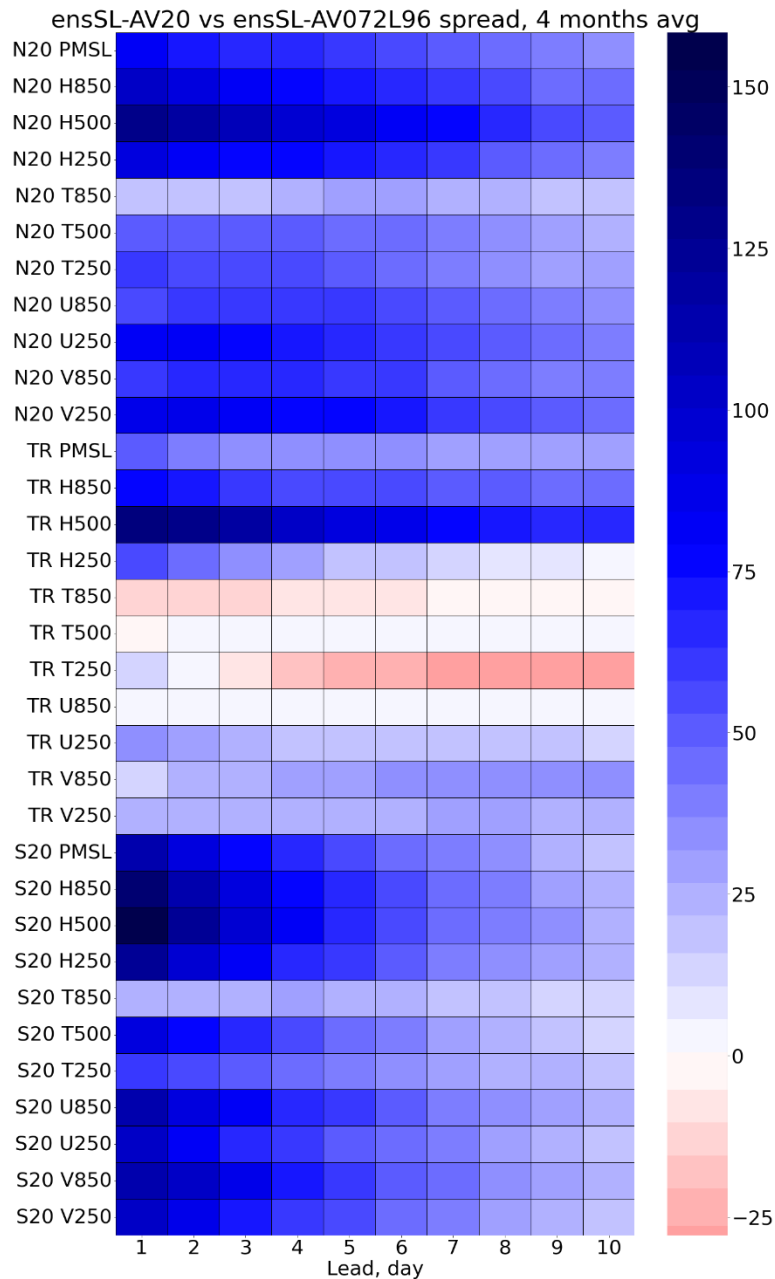
ξ_u, ξ_v – случайные возмущения, $W(\eta)$ – весовая функция.

СКО и разброс ансамбля, 15.05.-14.06.2023

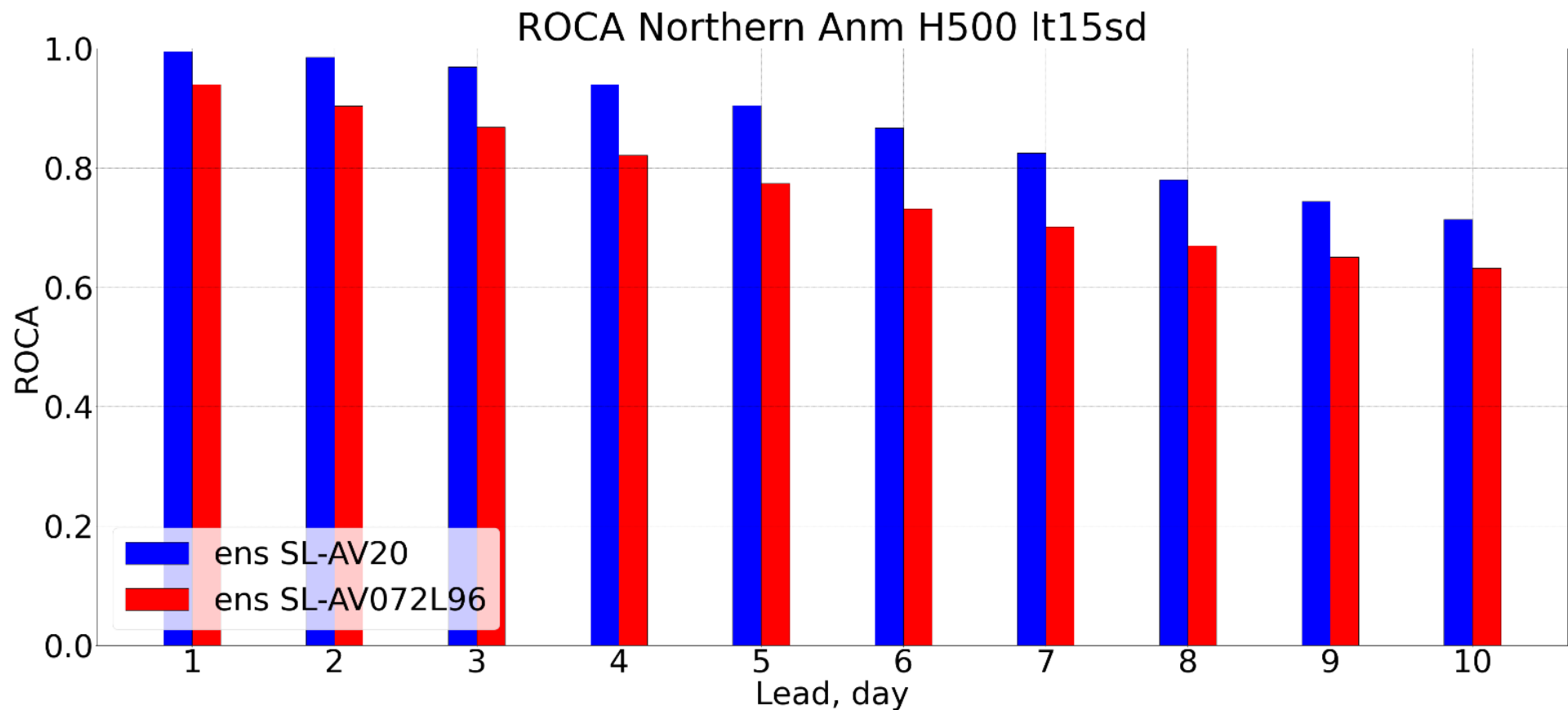
RMSE vs spread Northern PMSL



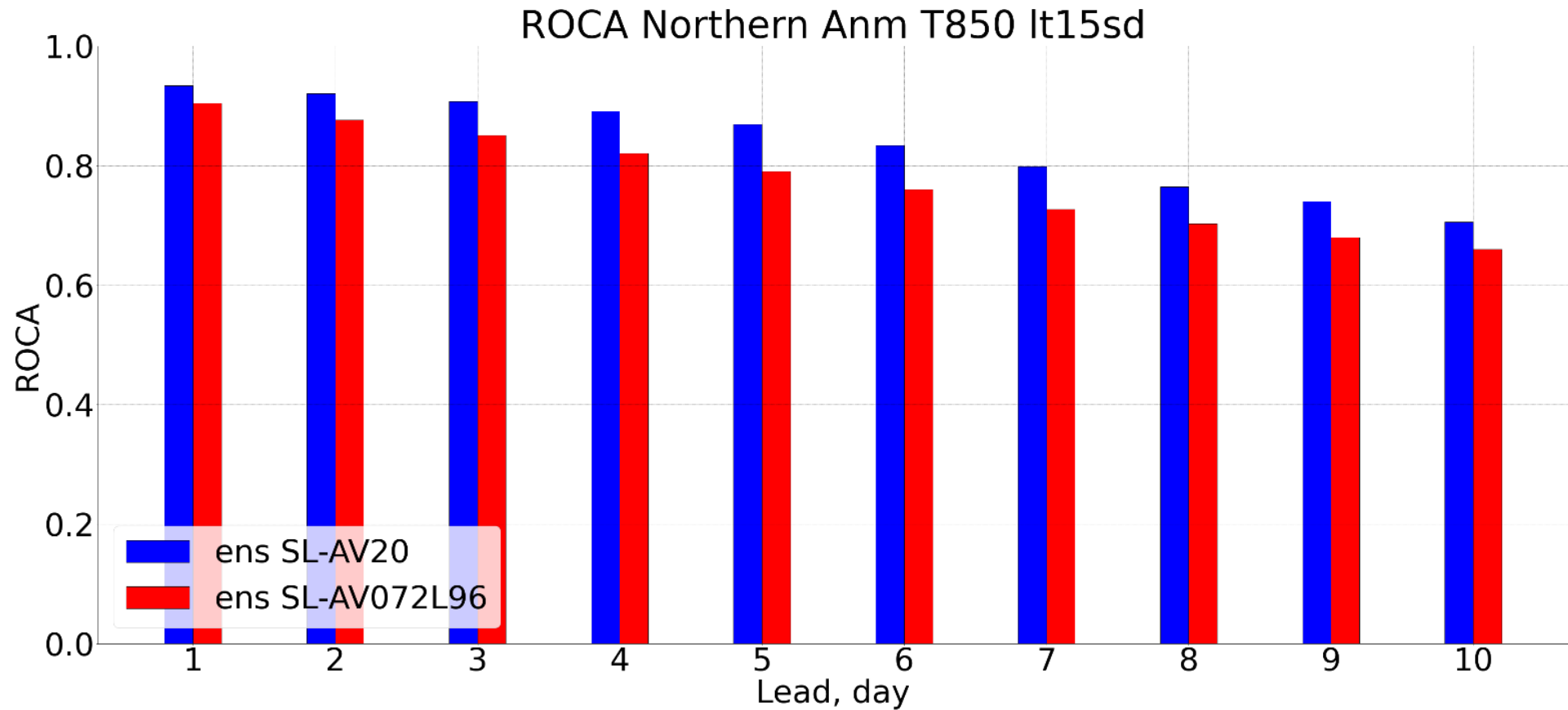
Ансамбль ПЛАВ20 vs ПЛАВ072L96 за 4 мес – разброс и CRPS



ROCA ансамбль ПЛАВ20 vs ПЛАВ072L96 за 4 месеца

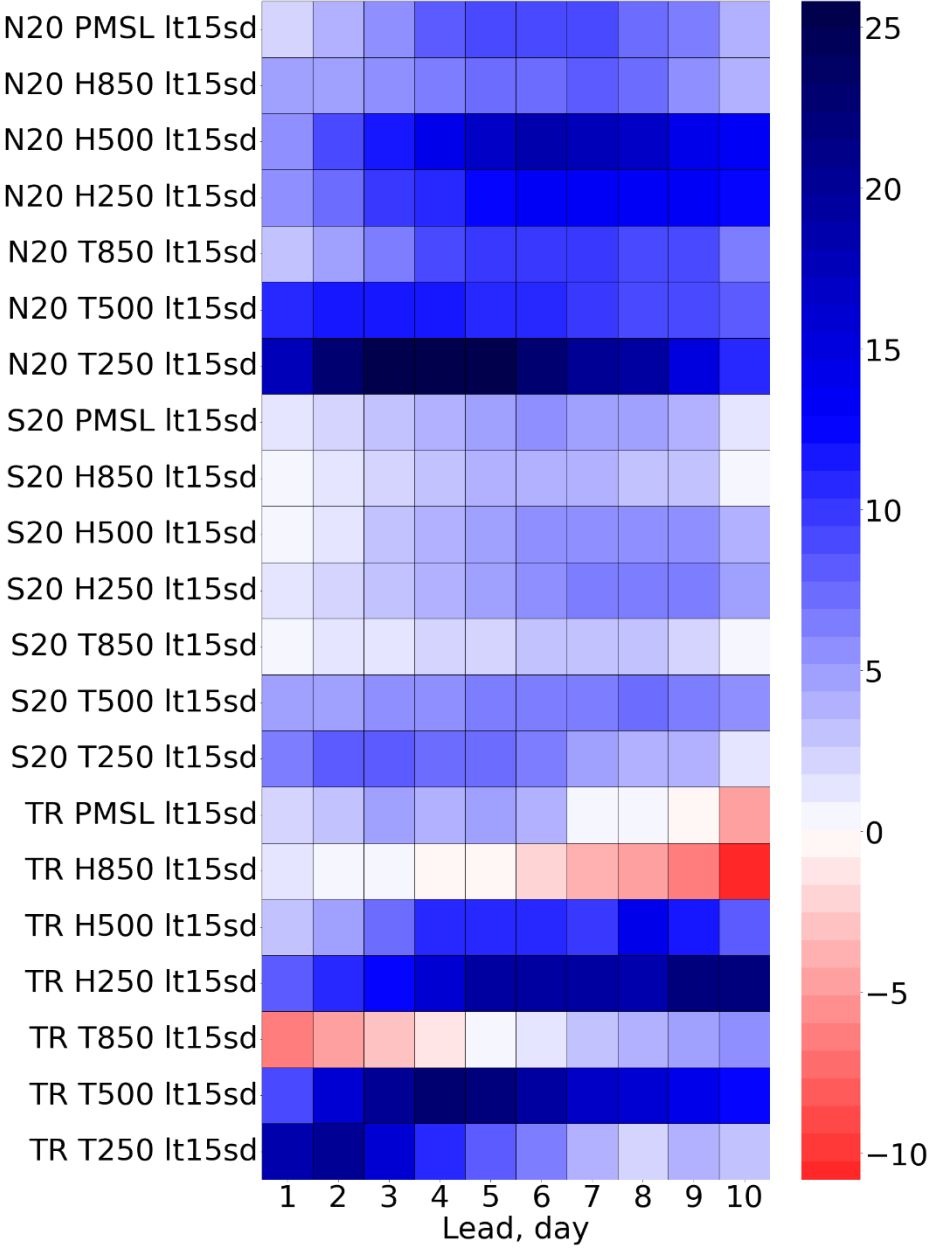


ROCA ансамбль ПЛАВ20 vs ПЛАВ072L96 за 4 месеца

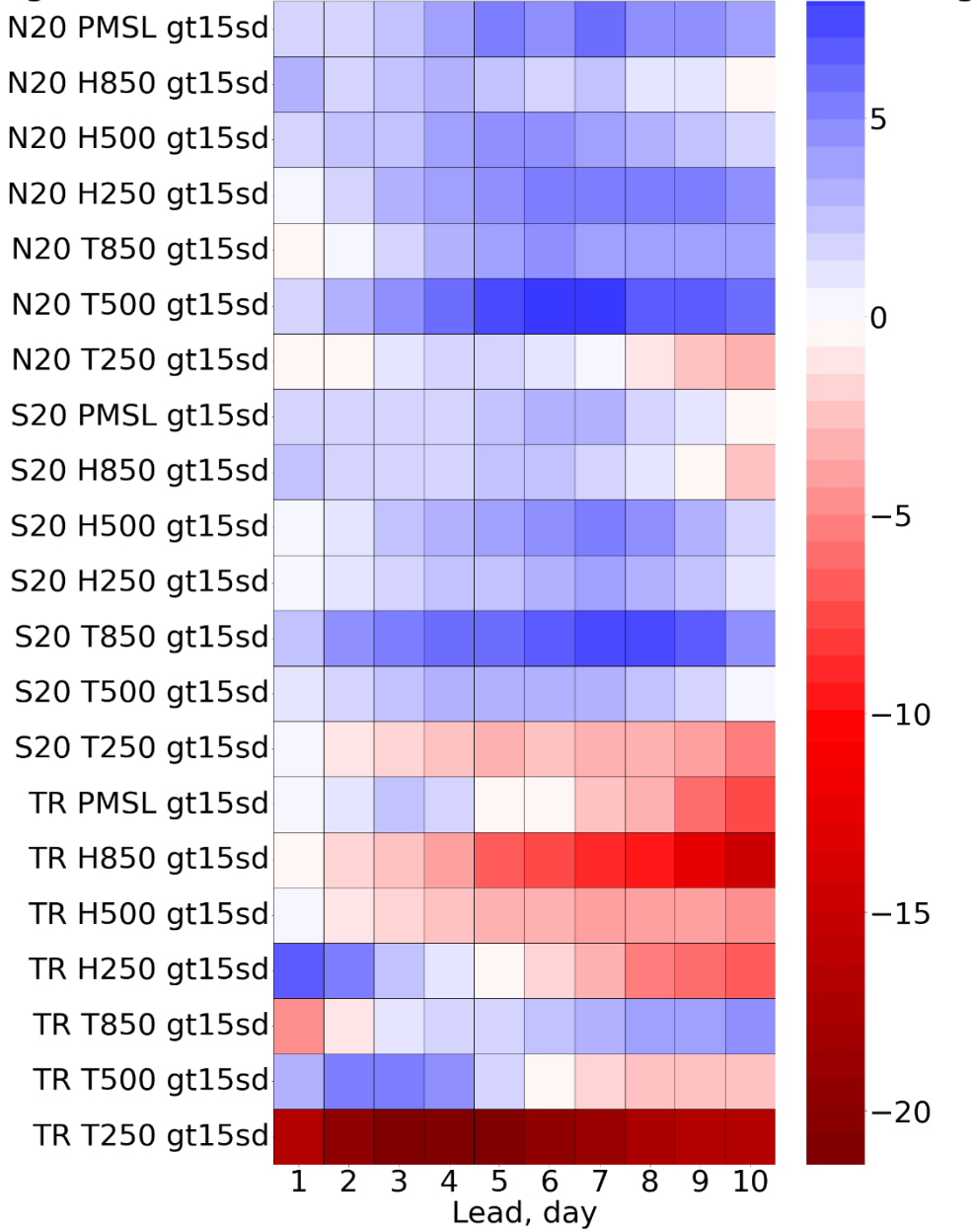


Ансамбль ПЛАВ20 vs ПЛАВ072L96 за 4 месяца – РОСА

ens SL-AV20 vs SL-AV072L96 ROCA, 4 months avg



ens SL-AV20 vs SL-AV072L96 ROCA, 4 months avg



Спасибо за внимание!

Исследование выполнено в ИВМ РАН при поддержке
Российского научного фонда (проект 21-71-30023)