

Development of ensemble forecast system of Russian Hydrometcenter. Start data ensemble preparations.

Rogutov V.S., Tolstykh M.A., Mizyak V.G.

Ensemble Forecast.

- Запускаем несколько прогнозов с ансамбля начальных состояний, разброс которых совпадает с погрешностью начального состояния.
- Ансамблевый прогноз позволяет:
 - 1) Оценить погрешность прогноза.
 - 2) Оценить вероятность событий (вероятность выпадения осадков, вероятность опасных явлений и т.п.).

Ensemble forecast system of Russian Hydrometcenter.

Включает в себя:

- Глобальную полулагранжеву модель атмосферы ПЛАВ.
- Система усвоения данных на основе локального фильтра Калмана с преобразованием ансамбля (LETKF).
- Усвоение почвенных переменных.
- Центрирование ансамбля (ансамбль корректируется чтобы среднее по ансамблю совпало с оперативным анализом ГМЦ).
- Горизонтальное разрешение 0.9×0.72 градуса, 28 или 96 вертикальных уровней (гибридная вертикальная координата).

Ensemble forecast system of Russian Hydrometcenter. 2 years progress

- 1) Переход на гибридную вертикальную координату.
- 2) Возможность использовать 28 или 96 вертикальных уровней
- 3) Переход на CRAY.

Ensemble forecast — SLAV.

Используется версия модели ПЛАВ с горизонтальным разрешением 0.72×0.9 градуса по широте и долготе, 28 или 96 уровней по вертикали.

Особенности модели:

- использование конечных разностей четвертного порядка на несмещенной сетке для аппроксимации неадвективных слагаемых

- использование вертикальной компоненты абсолютного вихря и горизонтальной дивергенции в качестве прогностических переменных.

- набор параметризаций процессов подсеточного масштаба (коротко- и длинноволновое длинноволнового излучения, глубокой и мелкой конвекция, планетарный пограничный слой, трение гравитационных волн, параметризация обмена тепла и влаги с поверхностью) ADADIN/LACE.

LETKF. (Hunt, 2007).

В LETKF матрицы ковариаций аппроксимируются с помощью ансамблей. Средний анализ и ансамбль анализов ищем в виде линейной комбинации первых приближений. Вычисления — в пространстве ансамбля первых приближений.

$X^b = [x_1^b - \bar{x}^b, \dots, x_K^b - \bar{x}^b]$ - Матрица ансамбля первого приближения

$X^a = [x_1^a - \bar{x}^a, \dots, x_K^a - \bar{x}^a]$ - Матрица ансамбля анализа

$$P^a = X^a (X^a)^T / (K - 1)$$

$$P^b = X^b (X^b)^T / (K - 1), \quad - \text{матрицы ковариации ошибок}$$

Здесь x^b – первое приближение:

y , R – вектор наблюдений и матрица ковариации ошибок наблюдений.

K — размер ансамбля.

Цель:

- Оптимальная оценка $\bar{x}^a$
- Матрица ансамбля должна описывать погрешность анализа

LETKF. (Hunt, 2007)

В LETKF матрицы ковариаций аппроксимируются с помощью ансамблей. Средний анализ и ансамбль анализов ищем в виде линейной комбинации первых приближений. Вычисления — в пространстве ансамбля первых приближений.

$X^b = [x_1^b - \bar{x}^b, \dots, x_K^b - \bar{x}^b]$ - Матрица ансамбля первого приближения

$X^a = [x_1^a - \bar{x}^a, \dots, x_K^a - \bar{x}^a]$ - Матрица ансамбль анализа

$$P^a = X^a (X^a)^T / (K - 1)$$

$P^b = X^b (X^b)^T / (K - 1)$, - матрицы ковариации ошибок

Здесь x^b – первое приближение:

y, R – вектор наблюдений и матрица ковариации ошибок наблюдений.

K — размер ансамбля.

$$\tilde{P}^a = [(k - 1)I + (HX^b)^T R^{-1} (HX^b)]^{-1}$$

$$\bar{x}^a = \bar{x}^b + X^b \tilde{P}^a (HX^b)^T R^{-1} (y - H \bar{x}^b)$$

$$X^a = X^b [(k - 1) \tilde{P}^a]^{1/2}$$

LETKF. (Hunt, 2007).

Проблемы:

- 1) Вместо P^b мы используем оценку по конечной выборке
=> ложные корреляции.
- 2) Мы не учитываем ошибки модели.

Решение:

- 1) Локализация** (независимое решение для каждого узла, использование локальных наблюдений)
- 2) Инфляция** (увеличение разброса ансамбля).

LETKF. Localisation.

- Независимые вычисления для каждого узла сетки.
- Для выбранного узла используются локальные наблюдения, т. е. наблюдения, попадающие в цилиндр заданного радиуса и заданной высоты.
- Элементы матрицы R^{-1} поэлементно умножаются на убывающую функцию $f(r/c)$, где r - расстояние между узлом анализа и наблюдением, c - радиус корреляции. В качестве функции используется корреляционная функция Гаспари – Кона.
- Локализация по вертикали реализована аналогично, в качестве r используется $\log(p)$.
- Радиусы локализации (по горизонтали и вертикали) настраиваются независимо для наблюдений разных типов.
- Радиусы локализации могут зависеть от широты и давления.

LETKF. Inflation.

Мультипликативная инфляция: $\tilde{P}^a = [(k-1)\rho^{-1}I + (HX^b)^T R^{-1}(HX^b)]^{-1}$
 $\rho > 1$ приводит к увеличению разброса ансамбля (на среднее не влияет).
Как и радиусы локализации, множитель настраиваются в зависимости от широты и давления.

Аддитивная инфляция: Добавление сгенерированного шума к полученным участникам ансамбля.
На каждом уровне для каждой переменной генерируется 2-мерный шум.
Шум — сумма сферических функции, с заданной дисперсией и радиусом корреляции. Есть возможность задать вертикальную корреляцию шума.
Для разных переменных шум независим.

LETKF. Observations

Усваиваются наблюдения:

- 1) SYNOP, SYNSHIP - наблюдения на метеостанциях и кораблях (около 10000 наблюдений U, V, T, Ps, RH в 00, 06, 12 и 18).
- 2) TEMP - радиозондовые наблюдения (U, V, T, RH на 16 p-уровнях, около 600-700 наблюдений в 00 и 12 UTS., 70-90 в 06 и 18 UTS).
- 3) AIREP самолетные наблюдения (U, V, около 4000-11000 наблюдений).
- 4) SATOB (более 20000) – спутниковые наблюдения скорости ветра.
- 5) AMV – спутниковые наблюдения скорости ветра ($2 \cdot 10^5 - 2.5 \cdot 10^5$). При усвоении прореживаются.
- 6) ASCAT – спутниковые наблюдения скорости приводного ветра. (около $4 \cdot 10^5 - 7 \cdot 10^5$ наблюдений, при усвоении сгруппированы в $\sim 10^4$ супернаблюдений).

Ensemble forecast system. Cycle assimilation.

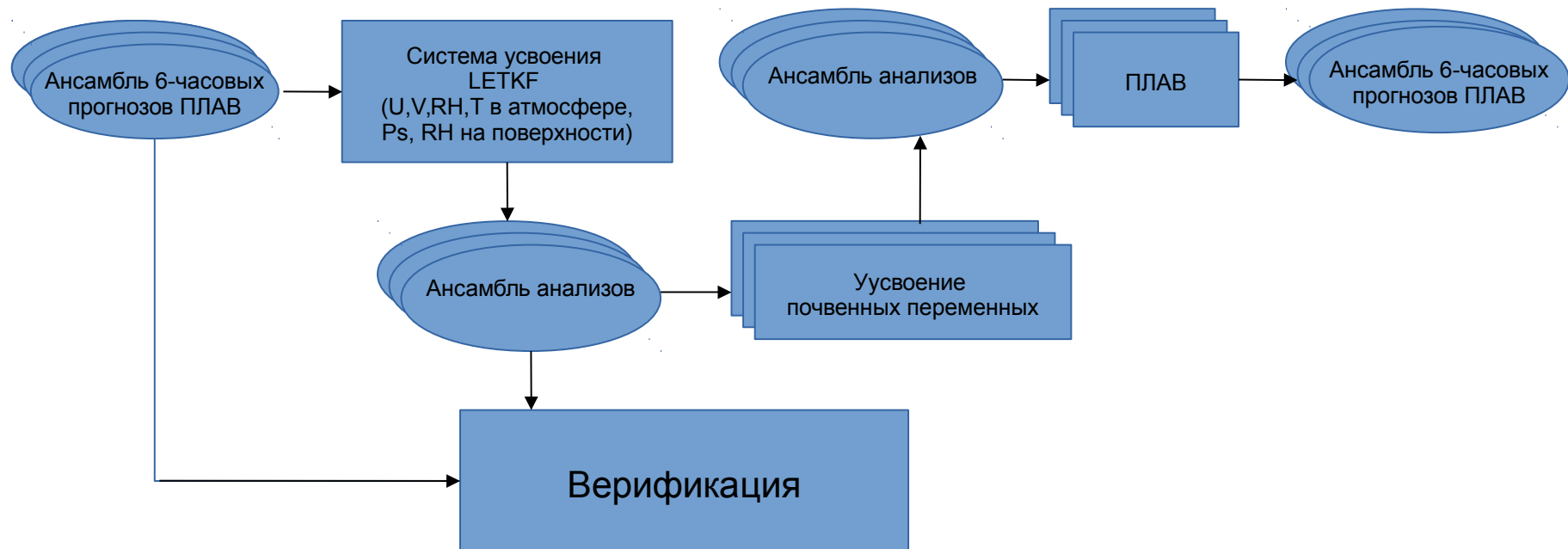
Система ансамблевого прогноза может работать в цикле автономно (используя лишь данные наблюдений). Включает:

LETKF (усвоение U, V, RH, T в атмосфере, усвоение Ps и RH на поверхности (можно добавить U, V на поверхности)).

Soil assim (усвоение почвенных переменных, копирование льда, альbedo и пр. из климатических фалов)

Model

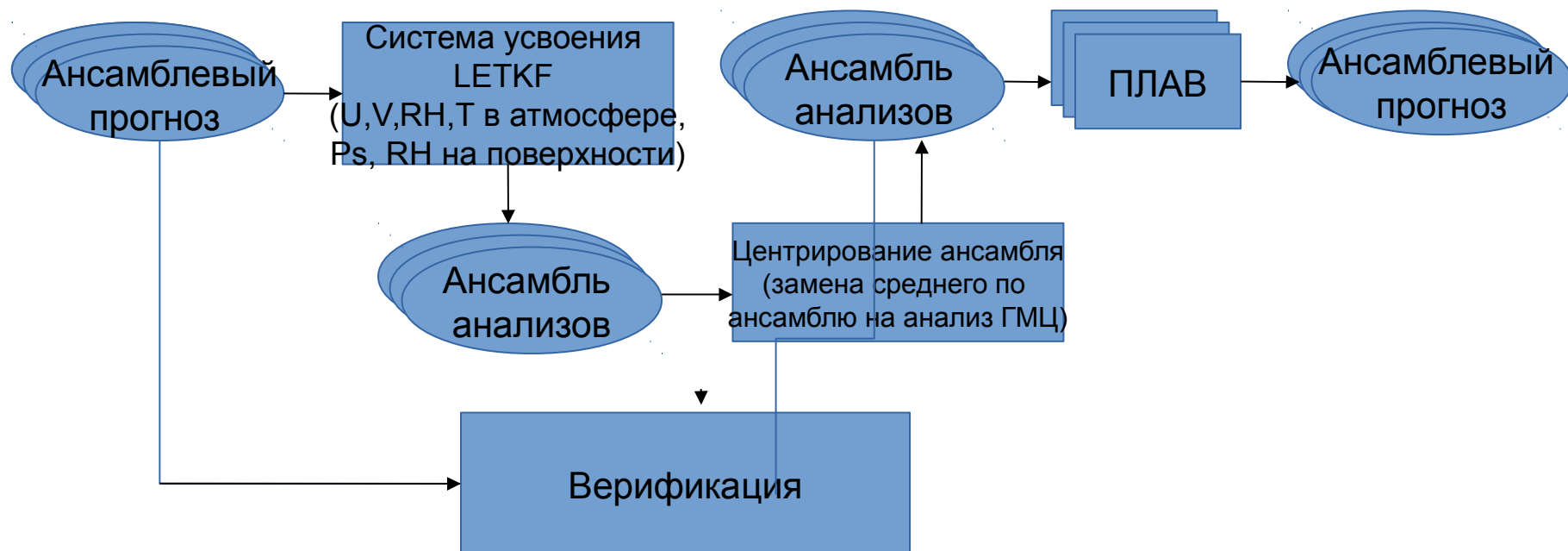
Verif



Ensemble forecast system. 28 levels.

Большая часть спутниковых наблюдений не усваиваются.

- Для повышения точности используем оперативные анализы ГМЦ.
- Мы заменяем средний анализ, полученный LETKF на оперативный анализ ГМЦ. Это позволяет уменьшить СКО среднего по ансамблю прогноза, при этом увеличивается разница между разбросом ансамбля и СКО.



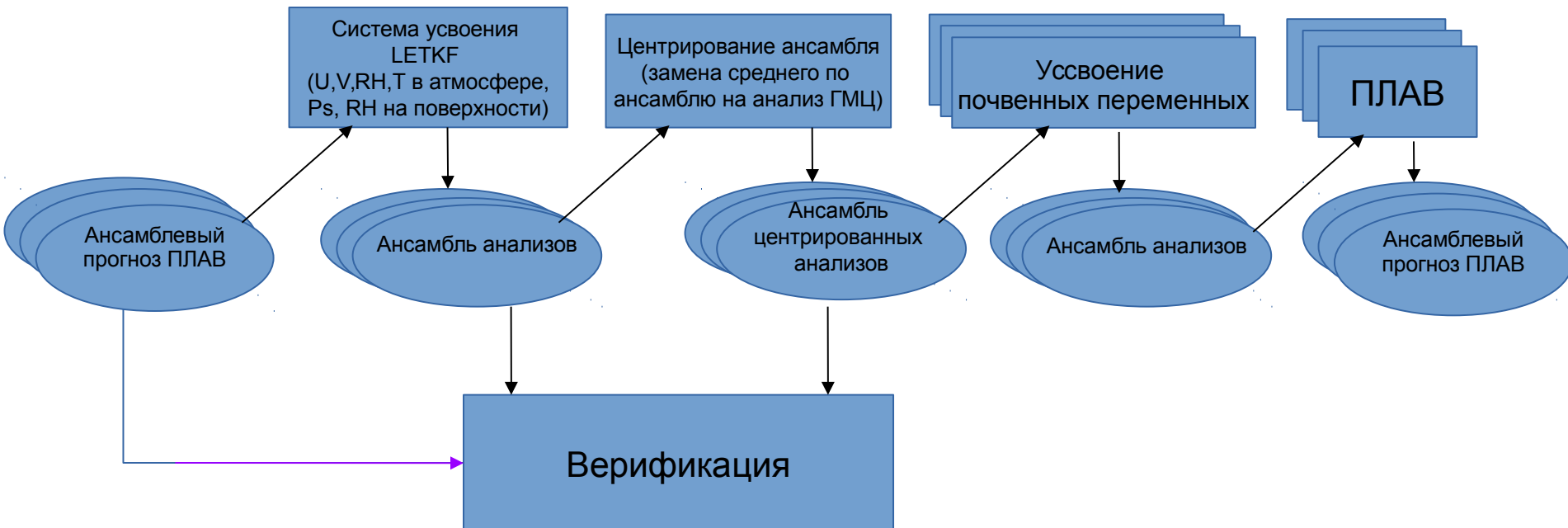
Ensemble forecast system. . 28 / 96 hybrid levels.

Заметно выше верхняя граница модельной атмосферы.

Нет оперативного анализа с достаточным количеством вертикальных уровней.

Используем оперативные анализы на Р-уровнях.

Необходимо использовать усвоение почвенных переменных.



Numerical experiments.

Cycle assimilation 01 – 16 May 2018, all observations are included. Results in Northern Hemisphere (20 – 90 degrees).

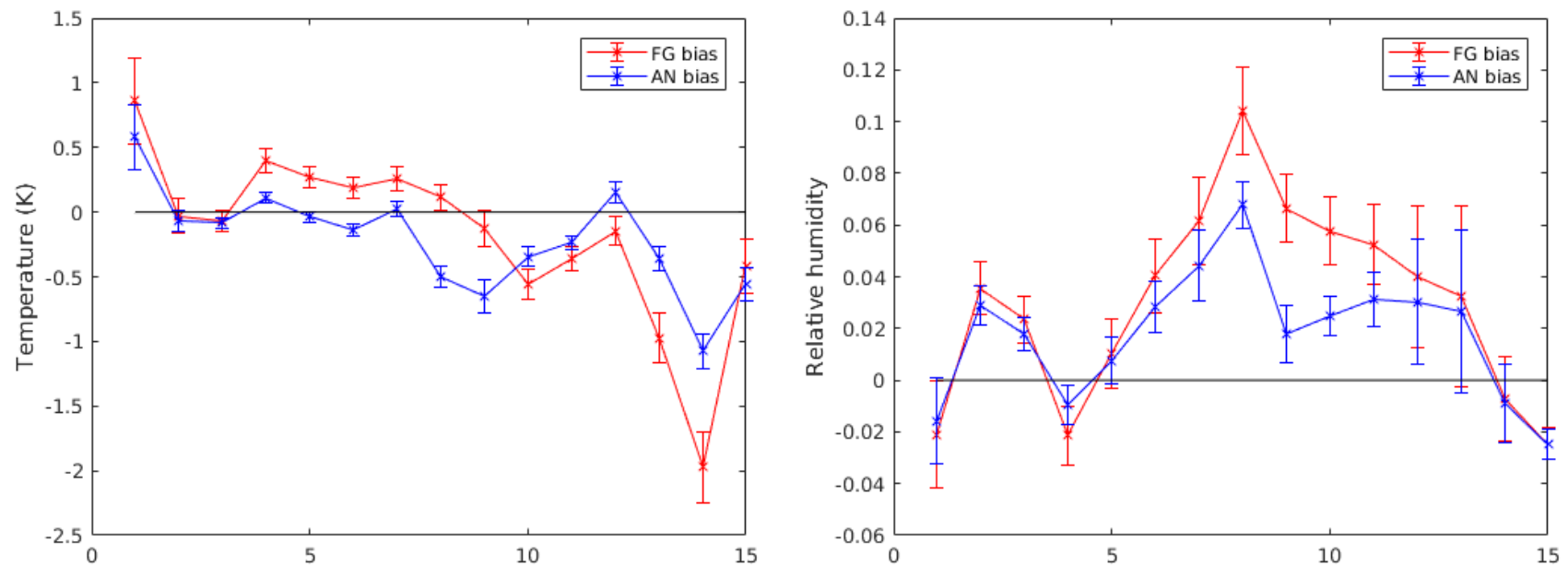


Fig.1. Analysis bias (blue) and first guess bias (red) at p-levels of temperature (left) and relative humidity (right).

Numerical experiments.

Cycle assimilation 01 – 16 May 2018, all observations are included. Results in Northern Hemisphere (20 – 90 degrees).

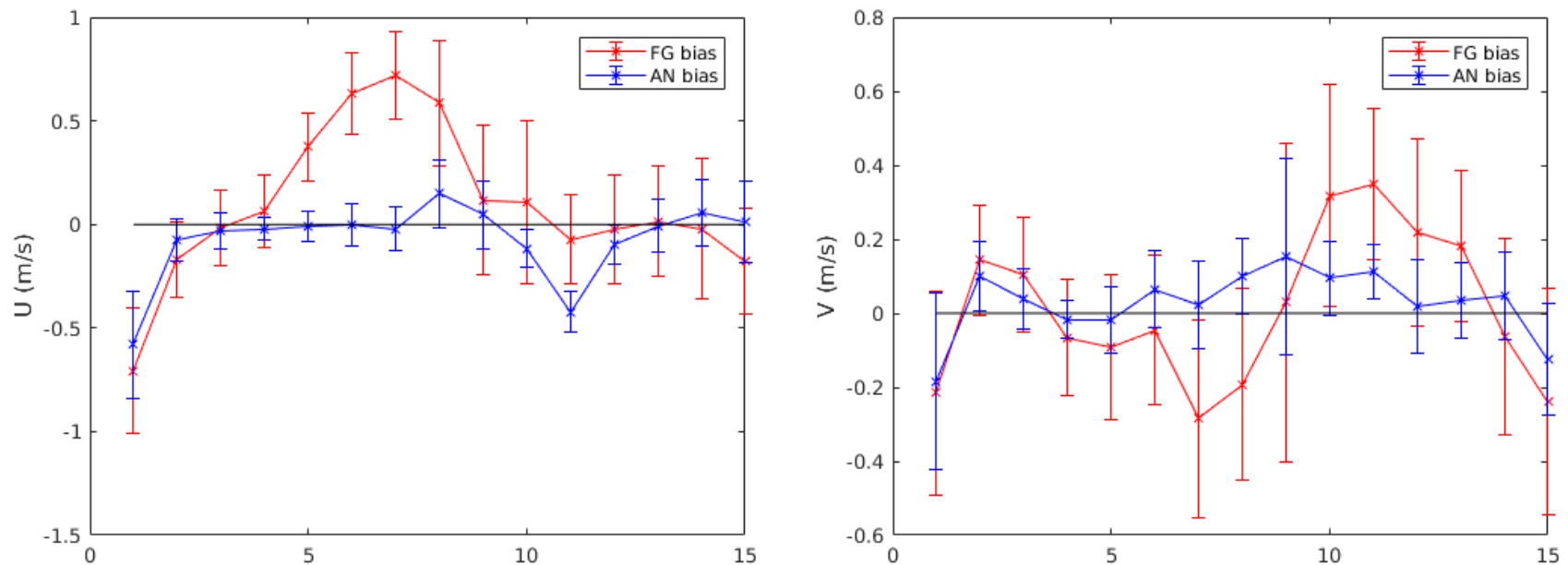


Fig.2. Analysis bias (blue) and first guess bias (red) at p-levels of U (left) and V wind component (right).

Numerical experiments.

Cycle assimilation 01 – 16 May 2018, all observations are included. Results in Northern Hemisphere (20 – 90 degrees).

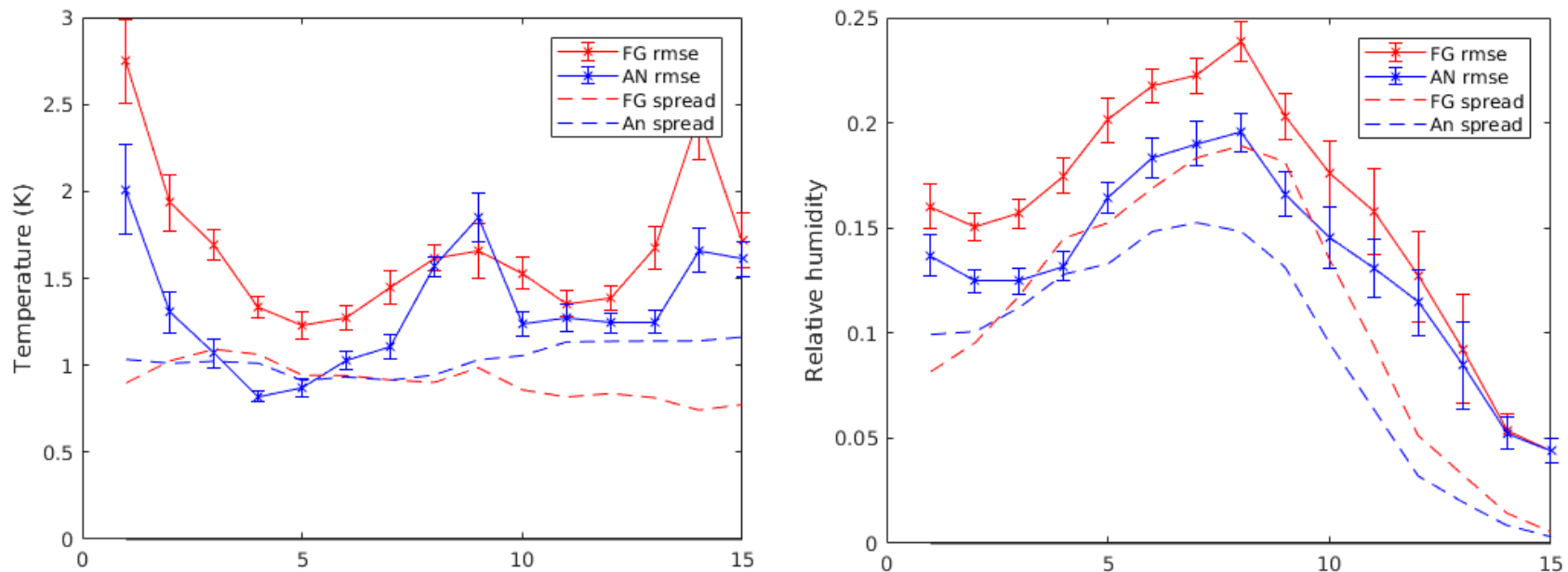


Fig.3. RMSE (solid) and spread (dotted) of analysis (blue) and first guess (red) at p-levels of temperature (left) and relative humidity (right).

Numerical experiments.

Cycle assimilation 01 – 16 May 2018, all observations are included. Results in Northern Hemisphere (20 – 90 degrees).

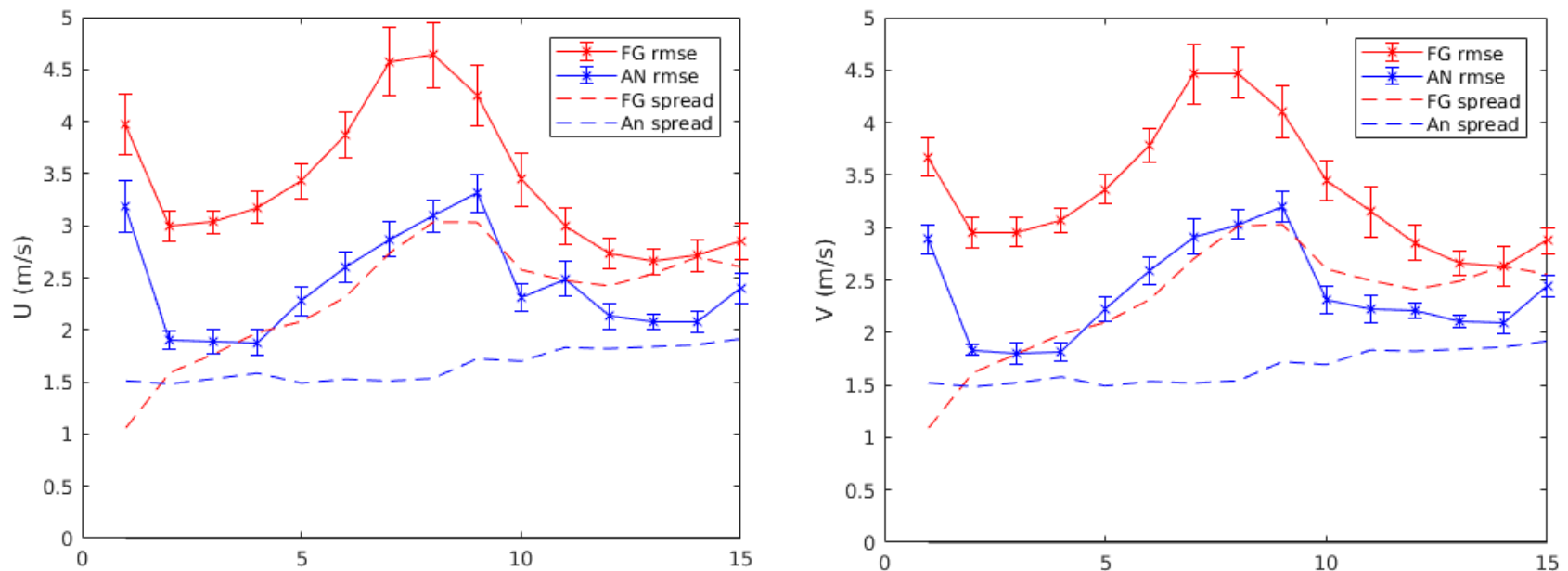


Fig.4. RMSE (solid) and spread (dotted) of analysis (blue) and first guess (red) at p-levels of U wind component (left) and V wind component (right).

Conclusion:

- LETKF can work in cycle with PLAV at 28 and 96 vertical levels.
- Farther tuning is necessary (especially at 96 levels).

Спасибо за внимание.

LETKF. Теория. (Hunt, 2007). Проблемы:

$X^b = [x_1^b - \bar{x}^b, \dots, x_K^b - \bar{x}^b]$ - Матрица ансамбля первого приближения

$X^a = [x_1^a - \bar{x}^a, \dots, x_K^a - \bar{x}^a]$ - Матрица ансамбля анализа

$$P^a = X^a (X^a)^T / (K - 1)$$

$P^b = X^b (X^b)^T / (K - 1),$ - матрицы ковариации ошибок

Здесь x^b – первое приближение:

y, R – вектор наблюдений и матрица ковариации ошибок наблюдений.

K — размер ансамбля.

Проблемы:

1) Вместо P^b мы используем оценку по конечной выборке => ложные корреляции.

2) Мы не учитываем ошибки модели.

В фильтре Калмана было: $P_j^b = M_{j-1,j} P_{j-1}^a M_{j-1,j}^T + Q_{j-1,j}$

Решение:

1) Локализация (независимое решение для каждого узла, использование локальных наблюдений)

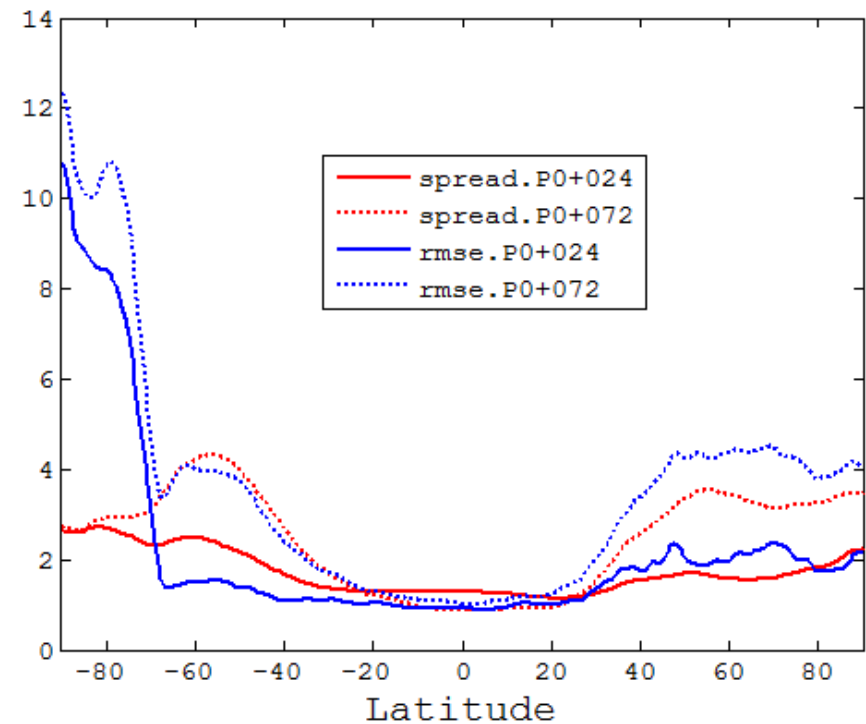
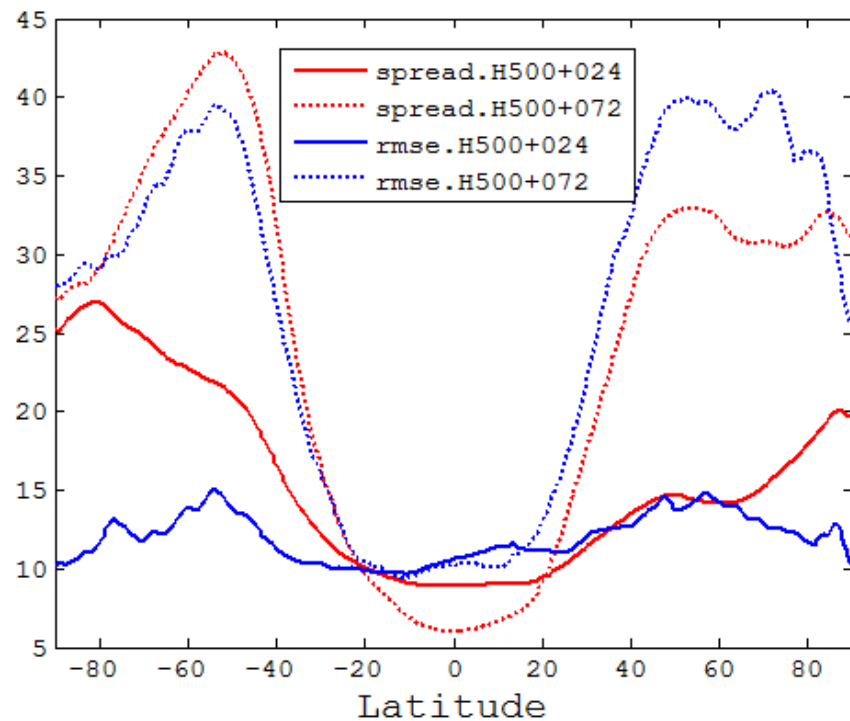
2) Инфляция (увеличение разброса ансамбля).

Программная реализация. Распараллеливание

- 1) Чтение первых приближений. 41 файл делится между процессорами.
- 2) Чтение наблюдений, расчет $H(x^b)$, обработка наблюдений (различные коррекции, fg check — не распараллелено.
- 3) Расчет анализа:
MPI для расчета широтных полос.
OpenMP — по долготе.
- 4) Запись результата - 41 файл анализов делится между процессорами.

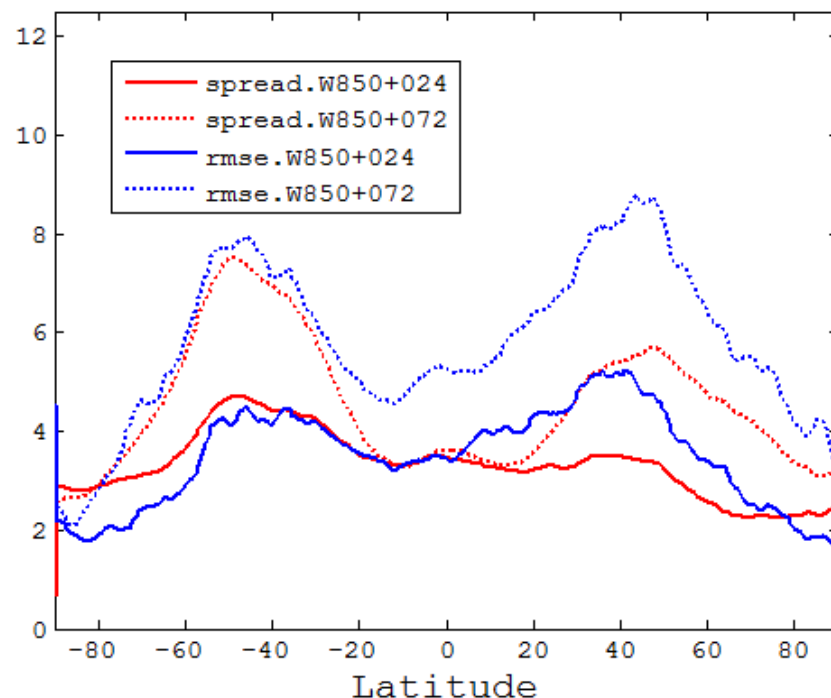
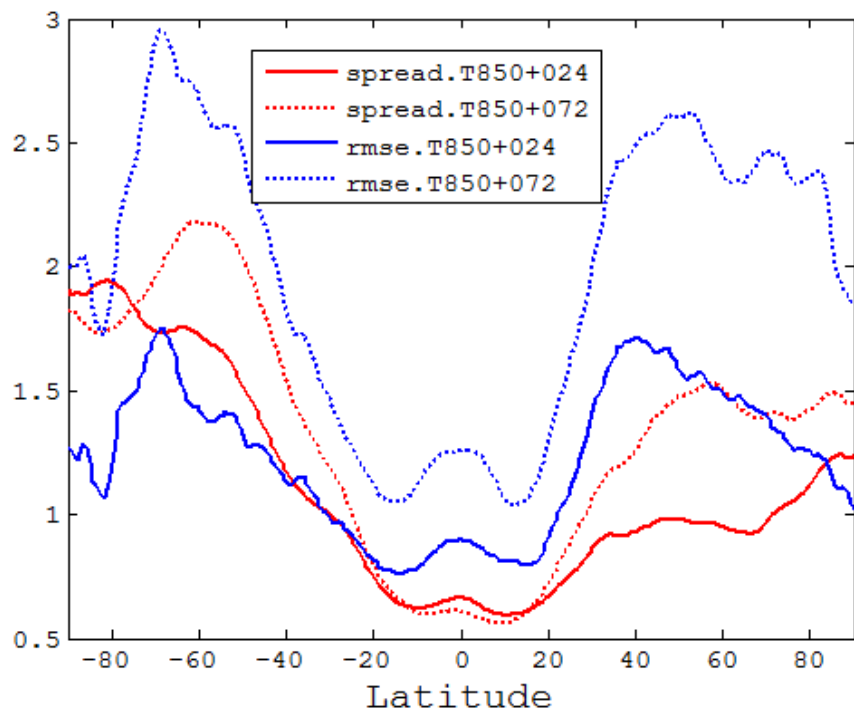
Результаты численных экспериментов.

Показаны: разбросы ансамблей (красным) и RMSE (синим) H500 (слева), Ps (справа) для заблаговременности 24 часа (сплошные линии) и 72 часа (пунктирные линии) в зависимости от широты. Усреднение по прогнозам стартовавшим 01-31.12.2016 в 0 часов.



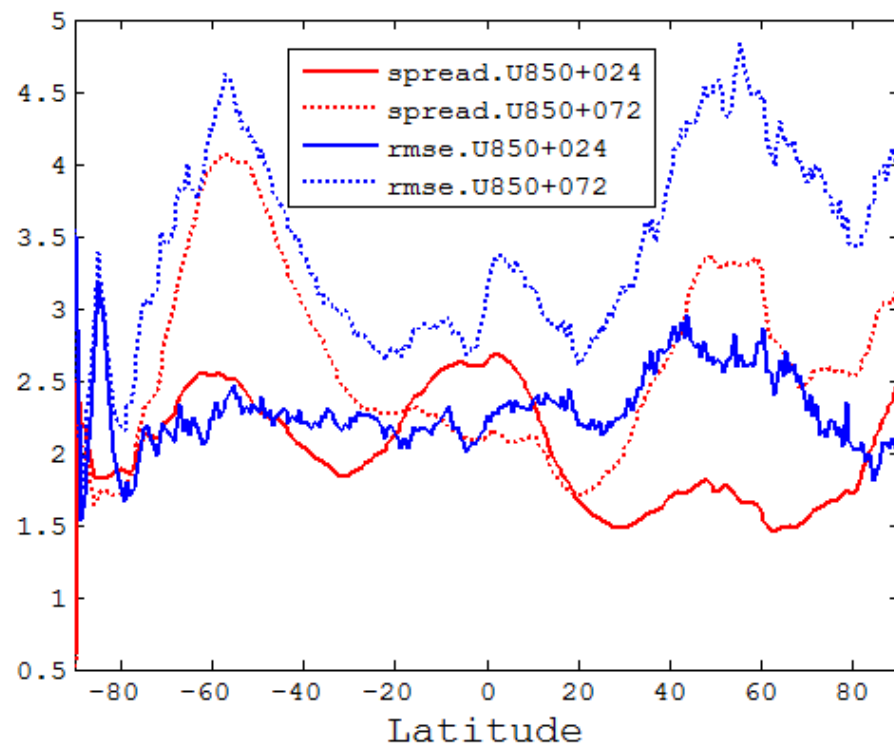
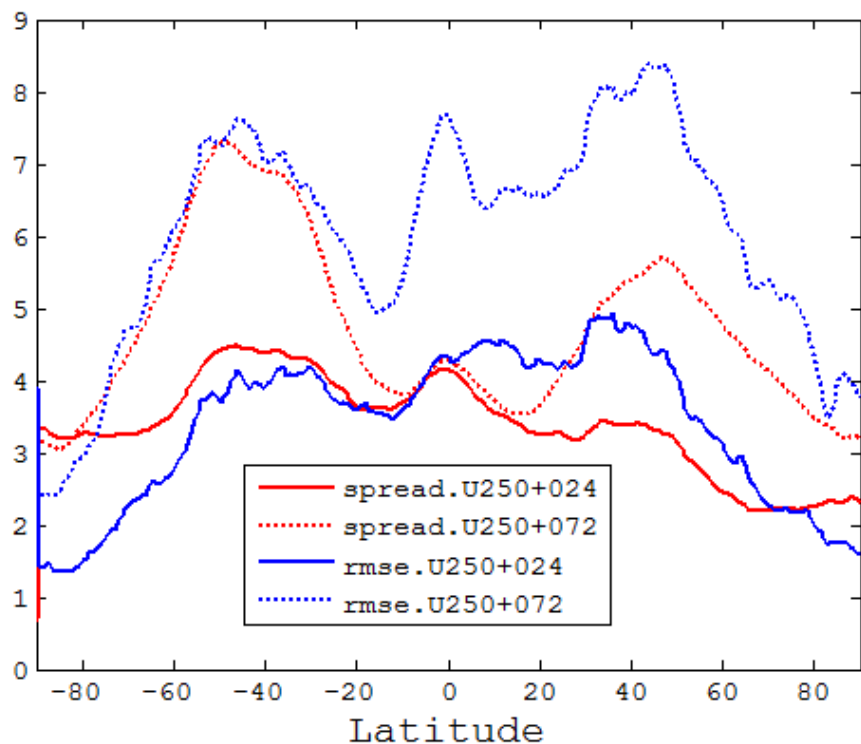
Результаты численных экспериментов(2).

Показаны: разбросы ансамблей (красным) и RMSE (синим) T850 (слева), W850 (справа) для заблаговременности 24 часа (сплошные линии) и 72 часа (пунктирные линии) в зависимости от широты. Усреднение по прогнозам стартовавшим 01-31.12.2016 в 0 часов.



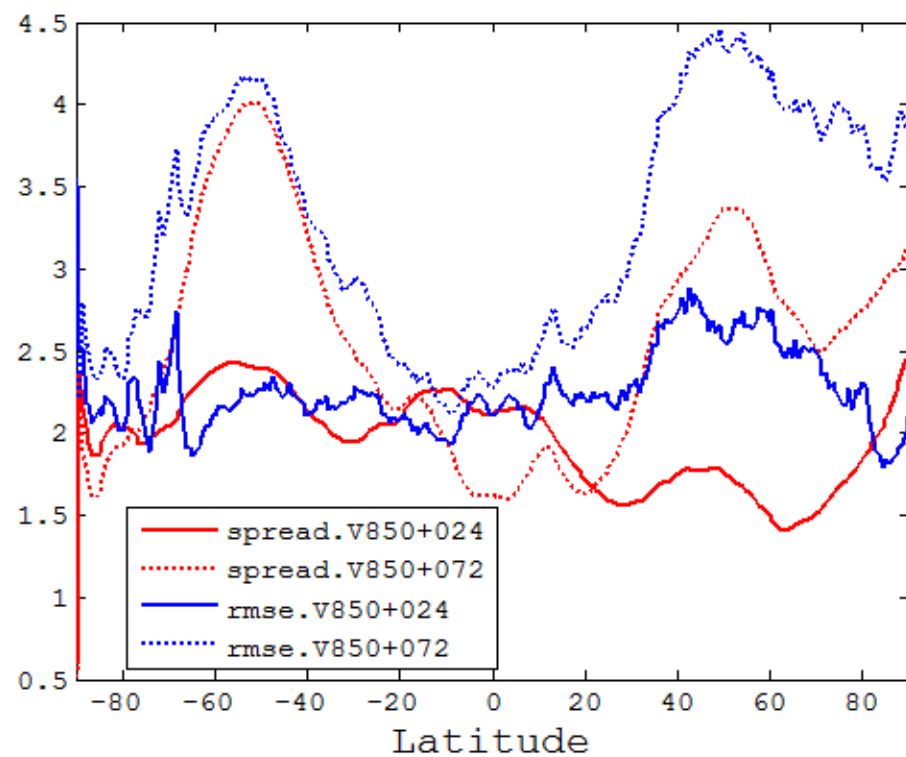
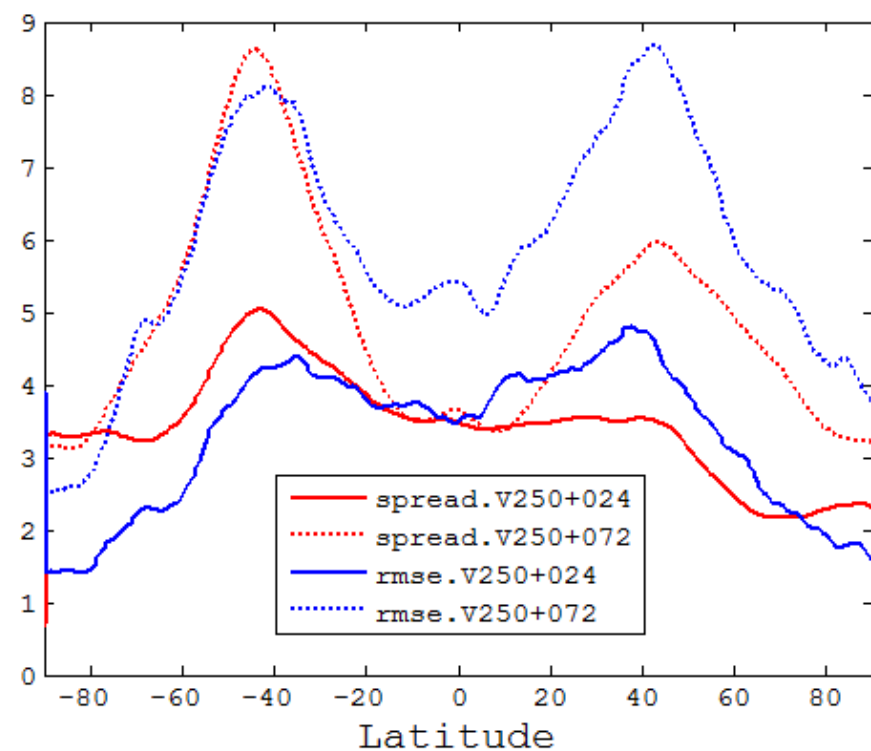
Результаты численных экспериментов(3).

Показаны: разбросы ансамблей (красным) и RMSE (синим) U250 (слева), U850 (справа) для заблаговременности 24 часа (сплошные линии) и 72 часа (пунктирные линии) в зависимости от широты. Усреднение по прогнозам стартовавшим 01-31.12.2016 в 0 часов.



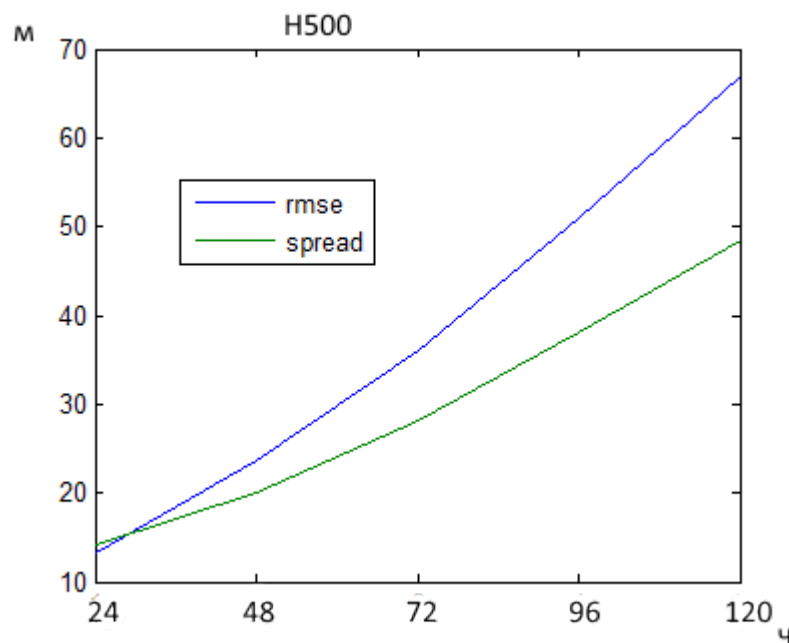
Результаты численных экспериментов(4).

Показаны: разбросы ансамблей (красным) и RMSE (синим) V250 (слева), V850 (справа) для заблаговременности 24 часа (сплошные линии) и 72 часа (пунктирные линии) в зависимости от широты. Усреднение по прогнозам стартовавшим 01-31.12.2016 в 0 часов.



Результаты численных экспериментов(5).

Зависимость среднего разброса ансамбля и RMSE в северном полушарии (20° – 90° с.ш.) поля H500 в зависимости от заблаговременности прогноза.



Разбросы ансамбля прогнозов и RMSE среднего по ансамблю прогноза.

Оценки показателя Брайера: $BS = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m (f_{ij} - E_{ij})^2$

Где f_{ij} - вероятность события в ансамблевом прогнозе, E_{ij} - факт (0 если не произошло, или 1 если произошло), m – количество исходов (произведение числа модельных узлов с выбранной величиной на количество прогнозов).

BS случайного прогноза ($f_{ij} = 0.5$) всегда равно 0.25, BS идеального прогноза равен 0.

В таблице 1 приведены BS прогнозов поля H500 в северном полушарии ($20^\circ - 90^\circ$ с.ш.) с заблаговременностью от 1 до 5 суток для интервала $x = x_c + \sigma$

	Заблаговременность прогноза, дней				
	1	2	3	4	5
LETKF+ПЛАВ	0.029	0.046	0.066	0.087	0.114
ECMWF		0.02	0.03	0.04	0.06
JMA		0.03	0.04	0.06	0.08
RUMC		0.06	0.08	0.11	0.14