

Использование коррелированных ошибок спутниковых данных наблюдений AMV в ансамблевой системе усвоения данных на основе LETKF

Мизяк В.Г.¹, Шляева А. В.², Рогутов В.С.¹, Толстых М. А.^{1,3}

¹Гидрометцентр России, Москва

²Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, Boulder, USA

³ИВМ РАН, Москва

*vmizyak@mecom.ru, shlyaeva@gmail.com, tolstykh@m.inm.ras.ru,
rogutov@mail.ru*

Усвоение данных

Задача: подготовка начальных данных для численного прогноза погоды

Решение: оптимальная оценка состояния атмосферы (т.н. анализ) x^a

Входные данные:

- данные наблюдений y^o вектор размерности $n : \begin{pmatrix} 10^5 & 10^7 \end{pmatrix}$
- первое приближение x^b вектор размерности $m : \begin{pmatrix} 10^6 & 10^8 \end{pmatrix}$

• ошибки наблюдений

$$o = y^o - H(x^t) : N(0, R)$$

• ошибки первого приближения

$$b = x^b - x^t : N(0, P^b)$$

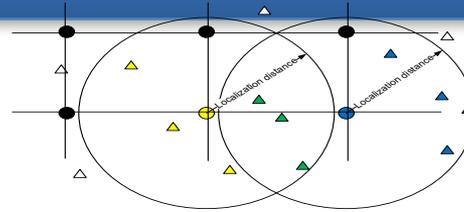
• Фильтр Калмана – вектор анализа

$$x^a = x^b + \mathbf{K} (y^o - H(x^b))$$

• весовая матрица

$$\mathbf{K} = \mathbf{P}^b \mathbf{H}^T (\mathbf{R} + \mathbf{H} \mathbf{P}^b \mathbf{H}^T)^{-1}$$

Local Ensemble Transform Kalman Filter¹

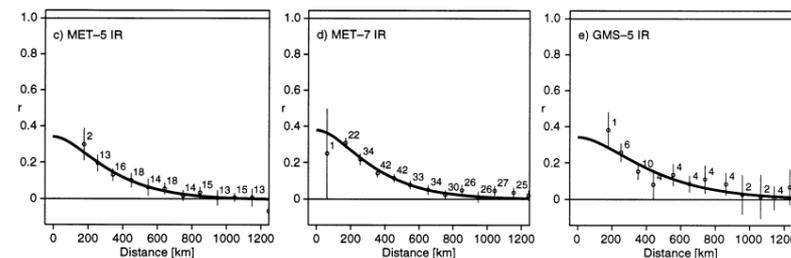


- локализация наблюдений:
 - усвоение только наблюдений из радиуса локализации с весом, зависящим от расстояния до точки сетки
 - независимое вычисление анализа в разных точках сетки – высокая степень параллелизма по данным
- использование ансамбля прогнозов для аппроксимации $\mathbf{P}^b = \frac{1}{k-1} \mathbf{X}^b \mathbf{X}^{bT}$
- переход в пространство ансамбля → решение задачи → обратный переход
- ансамбль анализов – можно использовать для ансамблевого прогноза

¹B. R. Hunt, E. J. Kostelich, and I. Szunyogh. Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 230(1-2):112–126, June 2007.

Спутниковые наблюдения ветра АМВ

- получают путём сопоставления спутниковых изображений и отслеживания движения одинаковых структур на двух или нескольких последовательных снимках
- измеряют скорость и направление ветра в атмосфере
- имеют глобальное покрытие и являются источником информации о ветре над акваторией океанов, в тропиках и в полярных регионах
- ошибки наблюдений имеют пространственную и временную корреляцию между собой (радиусы корреляций – 600-800 км)⁴
- отсутствие учёта корреляций ошибок наблюдений приводит к ухудшению качества получаемых анализов⁵
- возможный выход – использование коррелированных ошибок (недиагональная матрица R)



²N. Bormann, S. Saarinen, G. Kelly, J.-N. Thepaut. – The spatial structure of observation errors in Atmospheric Motion Vectors from geostationary satellite data. – 2003, QJRM, 131, pp. 706-718

³G. Desroziers. – Observation error specification. – 2012, Presentation at International Summer School on Data Assimilation, Les Houches, France

Наличие корреляций в ошибках наблюдений AMV

- авторегрессионная функция второго порядка (англ. Second Order Autoregressive function, SOAR)⁴:

$$R_{ij} = R(r_{ij}) = R_0 \left(1 + \frac{r_{ij}}{L} e^{-\frac{r_{ij}}{L}} \right), i = \overline{1, nloc}, j = \overline{1, nloc}$$

- предполагается отсутствие между корреляциями в ошибках наблюдений, полученных с различных спутников и каналов
- R_0 и L задаются разными для различных спутников, каналов и регионов – настроечные параметры

⁴Stewart L. M., Dance S. L., Nichols N. K. Correlated observation errors in data assimilation //International journal for numerical methods in fluids. – 2008. – Т. 56. – №. 8. – С. 1521-152

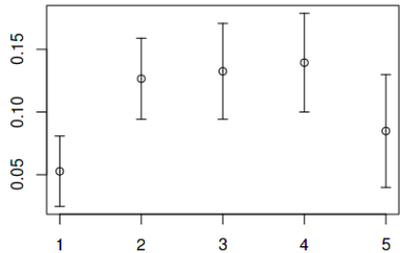
Наличие корреляций в ошибках наблюдений АМВ

		NH	Tropics	SH
GOES – 13/15	Above 400 hPa	$R_o = 0.35, L = 200 \text{ km}$	$R_o = 0.27, L = 340 \text{ km}$	$R_o = 0.37, L = 170 \text{ km}$
	400 – 700 hPa	$R_o = 0.42, L = 210 \text{ km}$	$R_o = 0.29, L = 280 \text{ km}$	$R_o = 0.43, L = 190 \text{ km}$
	Below 700 hPa	$R_o = 0.40, L = 210 \text{ km}$	$R_o = 0.30, L = 310 \text{ km}$	$R_o = 0.41, L = 200 \text{ km}$
METEOSAT-7	Above 400 hPa	$R_o = 0.29, L = 170 \text{ km}$	$R_o = 0.29, L = 180 \text{ km}$	$R_o = 0.31, L = 190 \text{ km}$
	400 – 700 hPa	$R_o = 0.44, L = 130 \text{ km}$	$R_o = 0.30, L = 190 \text{ km}$	$R_o = 0.35, L = 160 \text{ km}$
	Below 700 hPa	$R_o = 0.50, L = 210 \text{ km}$	$R_o = 0.33, L = 180 \text{ km}$	$R_o = 0.41, L = 230 \text{ km}$
METEOSAT-9	Above 500 hPa	$R_o = 0.25, L = 140 \text{ km}$	$R_o = 0.29, L = 170 \text{ km}$	$R_o = 0.28, L = 150 \text{ km}$
	500 – 700 hPa	$R_o = 0.35, L = 140 \text{ km}$	$R_o = 0.31, L = 200 \text{ km}$	$R_o = 0.38, L = 170 \text{ km}$
	Below 700 hPa	$R_o = 0.37, L = 180 \text{ km}$	$R_o = 0.35, L = 190 \text{ km}$	$R_o = 0.37, L = 180 \text{ km}$
HIMAWARI-7	Above 450 hPa	$R_o = 0.29, L = 320 \text{ km}$	$R_o = 0.27, L = 340 \text{ km}$	$R_o = 0.29, L = 320 \text{ km}$
	450 – 700 hPa	$R_o = 0.30, L = 350 \text{ km}$	$R_o = 0.35, L = 310 \text{ km}$	$R_o = 0.30, L = 350 \text{ km}$
	Below 700 hPa	$R_o = 0.35, L = 290 \text{ km}$	$R_o = 0.35, L = 300 \text{ km}$	$R_o = 0.35, L = 290 \text{ km}$
LeoGeo	Above 300 hPa	$R_o = 0.46, L = 150 \text{ km}$	-	$R_o = 0.40, L = 150 \text{ km}$
	300 – 700 hPa	$R_o = 0.32, L = 130 \text{ km}$	-	$R_o = 0.35, L = 180 \text{ km}$
	Below 700 hPa	$R_o = 0.35, L = 130 \text{ km}$	-	$R_o = 0.38, L = 200 \text{ km}$

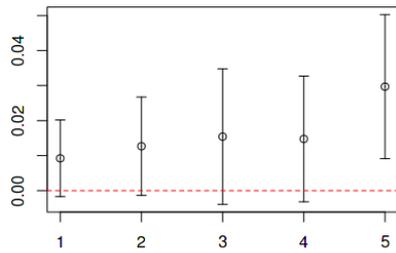
Результаты усвоения

- верификация прогнозов согласно стандартам CBS/WMO по полям оперативного анализа и наблюдениям с радиозондов
- использование парного t-критерия Стьюдента для проверки значимости различия изменений
- старт модели с начальных условий, не учитывающих и учитывающих корреляции в ошибках наблюдений
- прогнозы за июнь 2015 года

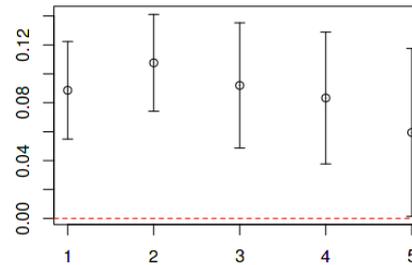
rmse of W250 for n.hem



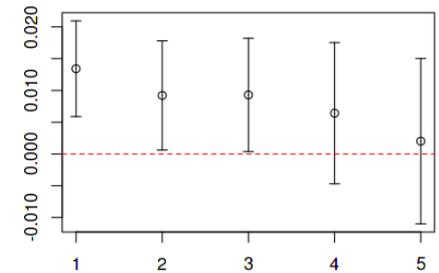
rmse of T250 for n.hem



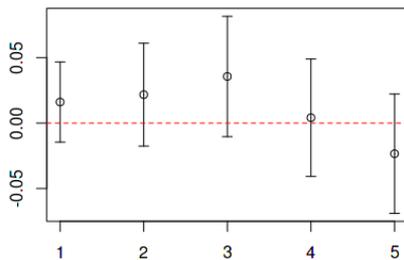
rmse of W250 for tropics



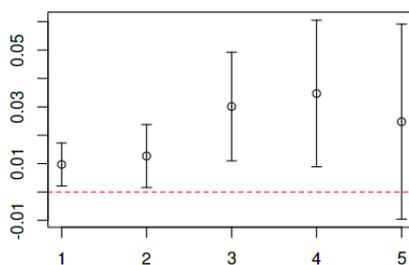
rmse of T250 for tropics



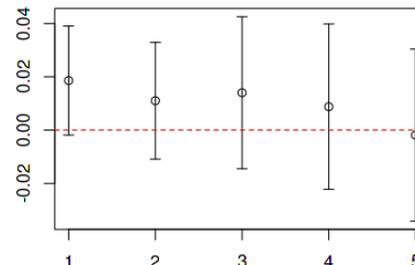
rmse of W500 for n.hem



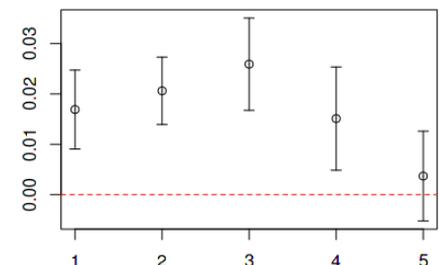
rmse of T500 for n.hem



rmse of W500 for tropics



rmse of T500 for tropics



Выводы

- точность численных прогнозов может быть улучшена за счёт более аккуратного описания корреляционных связей в ошибках наблюдений
- уточнение ветра положительно влияет на точность других модельных переменных
- параметры функции, моделирующих корреляцию зависят от спутников, высоты и географии наблюдений

Планы на будущее

- использование данных с других спутников и диапазонов
- использование полученных результатов для запуска системы вероятностного ансамблевого среднесрочного прогноза погоды на базе модели ПЛАВ

Federal Service for Hydrometeorology
and Environmental Monitoring

**HYDROMETEOROLOGICAL
CENTRE OF RUSSIA**

About weather—at first hand

THANKS FOR YOUR ATTENTION!