

Развитие ансамблевой системы среднесрочного прогноза погоды в Гидрометцентре России. Используемые наблюдения и особенности их усвоения

Development of the Medium-Range Ensemble prediction system in the
Hydrometcenter of Russia. Used observations and its assimilation aspects

Mizyak V.¹, Rogutov V.¹, Tolstykh M.^{2,1}

Мизяк В.Г.¹, Розутов В.С.¹, Толстых М. А.^{2,1}

¹Гидрометцентр России, Москва

²ИВМ РАН, Москва

vmizyak@mecom.ru, rogutovv@mail.ru, tolstykh@m.inm.ras.ru

CITES – 2019, г. Москва, Россия

Ансамблевый прогноз погоды

- Позволяет учесть вероятностную природу прогноза
- Позволяет получить априорную оценку точности прогноза
- Требуется наличие больших в сравнении с детерминированным прогнозом вычислительных ресурсов
- Необходимо иметь несколько различающихся прогнозов (различные модели, различные параметры запуска одной и той же модели, различные начальные данные и т.д.)

Модель атмосферы ПЛАВ¹:

- Оперативная глобальная модель
- Горизонтальное разрешение: $0.9^\circ \times 0.72^\circ$, 28 или 96 вертикальных уровней
- Вертикальная сигма- или гибридная координата
- Полулагранжева адвекция
- Набор параметризаций процессов подсеточного масштаба в основном из ALADIN/LACE
- Ансамблевая система усвоения данных на основе LETKF

¹Толстых М.А., Желен Ж.-Ф., Володин Е.М., Богословский Н.Н., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Красюк Т.В., Кострыкин С.В., Мизяк В.Г., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Шляева А.В., Эзау И.Н., Юрова А.Ю. Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ. — Метеорология и гидрология, 2015. №6 стр. 25-35

Усвоение данных. Постановка задачи

Задача: подготовка начальных данных для численного прогноза погоды

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

Входные данные:

- данные наблюдений x^b – вектор размерности $n \in (10^5 - 10^9)$
- первое приближение y^o – вектор размерности $m \in (10^6 - 10^9)$
- ошибки наблюдений

$$\varepsilon^o = y^o - H(x^t) \in N(0, R)$$

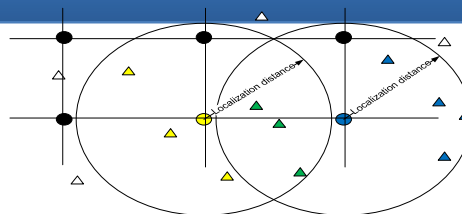
- ошибки первого приближения

$$\varepsilon^b = x^b - x^t \in N(0, P^b)$$

- минимизируем функционал

$$J(x) = (x - x^b)^T (P^b)^{-1} (x - x^b) + (y^o - H(x))^T R^{-1} (y^o - H(x))$$

Local Ensemble Transform Kalman Filter²



- 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

²B. 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.

LETKF. Описание алгоритма.

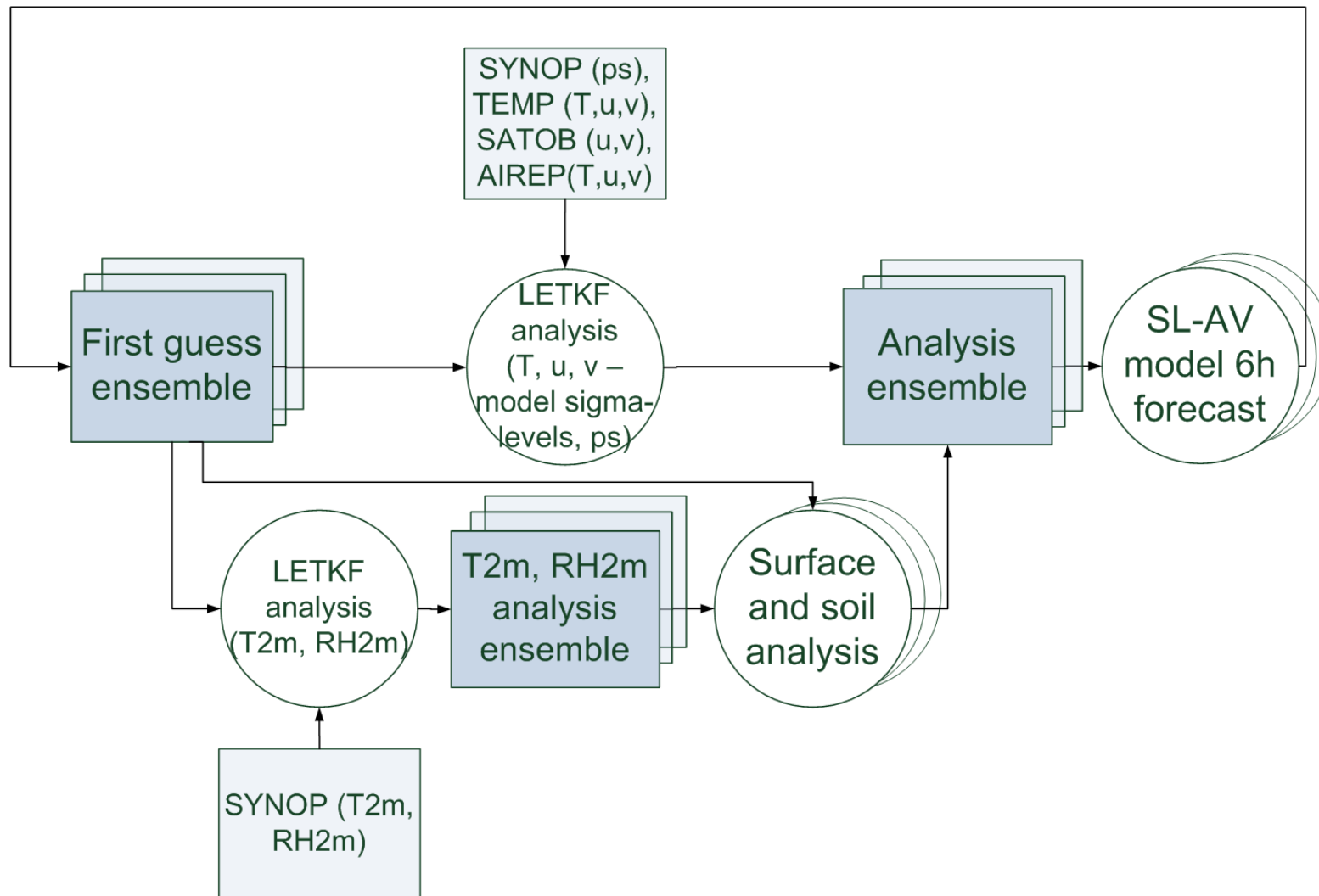
1. Вычислить ансамбль (глобальных) первых приближений в точках наблюдений $y_g^b = H(x_g^b)$, среднее по ансамблю $\bar{y}_g^b$ и матрицу отклонений от среднего Y_g^b
2. Вычислить среднее по ансамблю первых приближений $\bar{x}_g^b$ и матрицу отклонений от среднего X_g^b .
3. Выбрать из y^o локальные наблюдения y_g^o , находящиеся на расстоянии не больше заданного от узла сетки.
4. Вычислить матрицу $C = (Y^b)^T R^{-1}$
5. Вычислить матрицу $\tilde{P}^a = ((k-1)I/\rho + CY^b)^{-1}$,
 ρ – множитель инфляции ансамбля.
6. Вычислить матрицу $W^a = [(k-1)\tilde{P}^a]^{1/2}$
7. Вычислить вектор среднего анализа в пространстве ансамбля $\bar{w}^a = \tilde{P}^a C(y^o - \bar{y}^b)$ и добавить к каждому столбцу матрицы W^a (получим матрицу w^a)
8. Вычислить векторы анализов: $x^a = \bar{x}^b + X^b w^a$
9. Применение аддитивной инфляции

LETKF. Текущая реализация³

- ✓ модель – ПЛАВ, $0,9^\circ \times 0,72^\circ$, 28 или 96 вертикальных уровней – получение ансамбля первых приближений (6-ти часовой прогноз)
- ✓ размер ансамбля – 40 участников
- ✓ мультипликативная и аддитивная инфляция
- ✓ наблюдения:
 - наземные станции и корабельные наблюдения (SYNOP, SHIP, Ps, T2m, RH2m, около 10000 наблюдений)
 - радиозонды (TEMP, T, RH, U, W, около 2000 наблюдений)
 - наблюдения с борта самолёта (AIREP, T, U, W, около 10000 наблюдений)
 - спутниковые наблюдения за движением ветра (AMV, U, V, 500000 наблюдений)
 - спутниковые наблюдения ASCAT скорости ветра над поверхностью моря (400000–700000 наблюдений в сутки)
- ✓ верификация:
 - по оперативным анализам ГМЦ с использованием стандартов CBS/WMO
 - по наблюдениям данных метеозондов из списка WMO данными метеозондов из списка WMO

³ A.V. Shlyayeva, M.A.Tolstykh, V.G.Mizyak, V.S.Rogutov. Local ensemble transform Kalman filter data assimilation system for the global semi-Lagrangian atmospheric model. Russ. J. Num. An. & Math. Mod. 2013 V 28 N 4 P 419-441

LETKF. Cxema



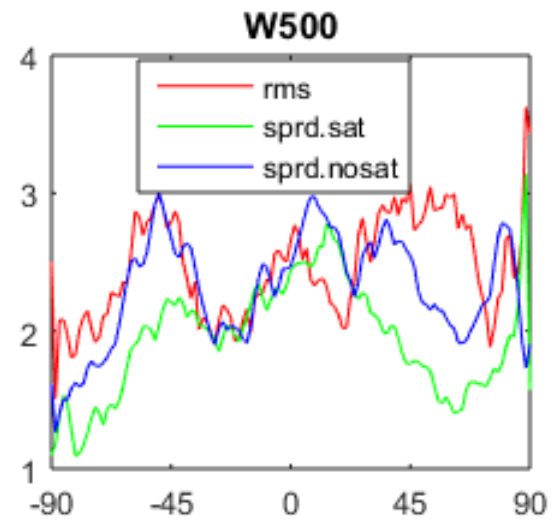
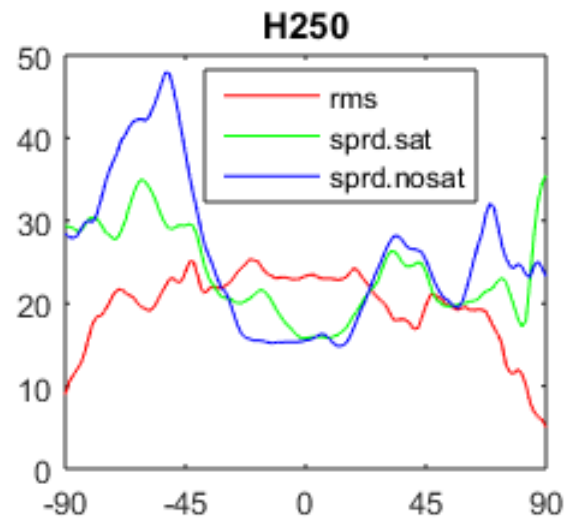
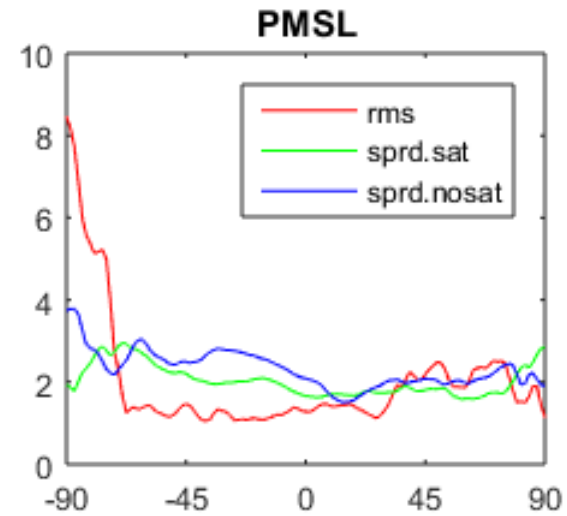
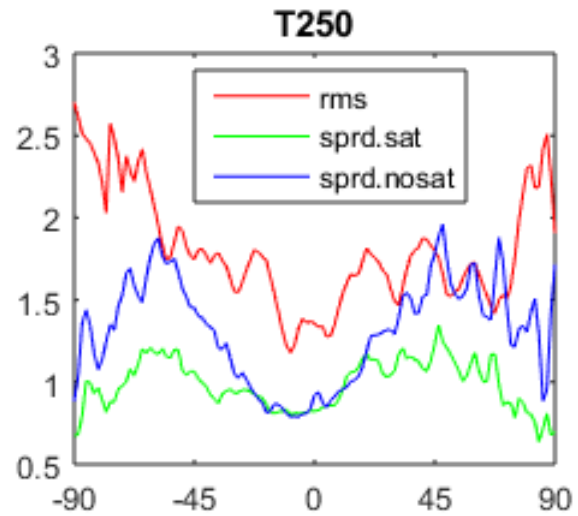
Генерация ансамбля начальных данных для ансамблевой системы

- Вычисляется ансамбль отклонений от ансамблевого среднего анализа
- Отклонения накладываются на оперативный анализ ГМЦ
- Полученный ансамбль применяется для получения ансамбля прогнозов
- Средний прогноз совпадает с детерминированным оперативным, а разброс генерируется в системе ансамблевого усвоения
- Контроль разброса за счёт параметров аддитивной инфляции в алгоритме системы усвоения

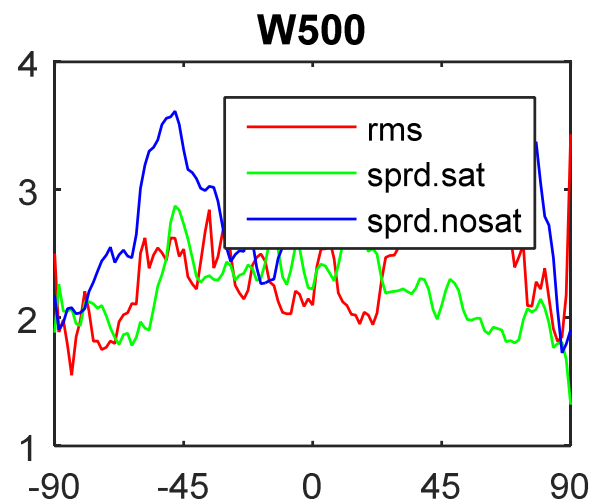
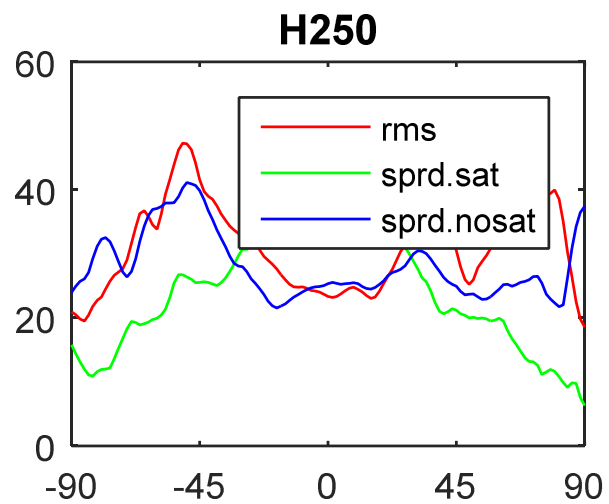
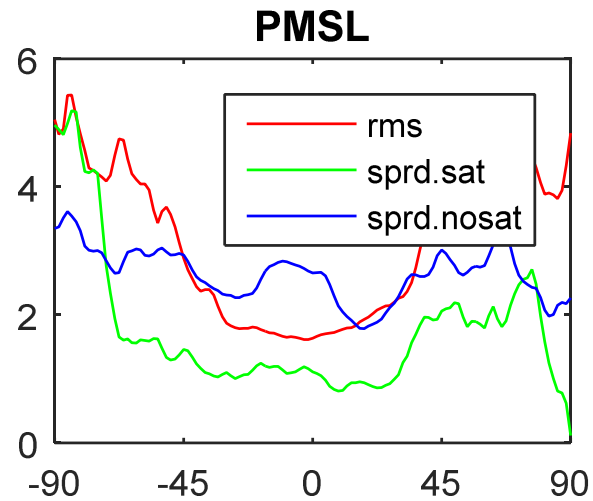
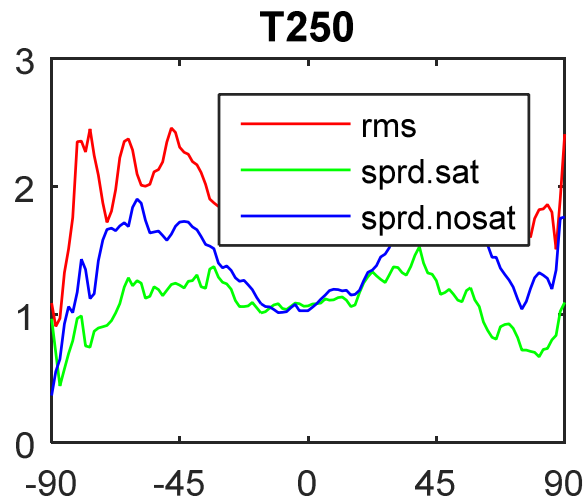
Первые эксперименты

- Исследовалось влияние количества наблюдений и параметры их усвоения на разброс ансамбля
- Усвоение набора данных с использованием спутниковых наблюдений (AMV, SATOB, TEMP, SYNOP, SHIP, AIREP) и без использования спутниковых наблюдений (TEMP, SYNOP, SHIP, AIREP)
- Период: январь 2019 года
- Сравнение разброса ансамбля со среднквадратической ошибкой контрольного (среднего по ансамблю) прогноза – должны примерно совпадать

Результаты экспериментов. T + 024 h

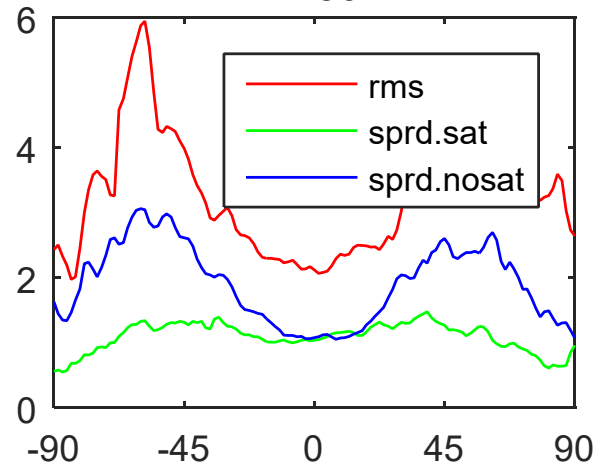


Результаты экспериментов. T + 048 h

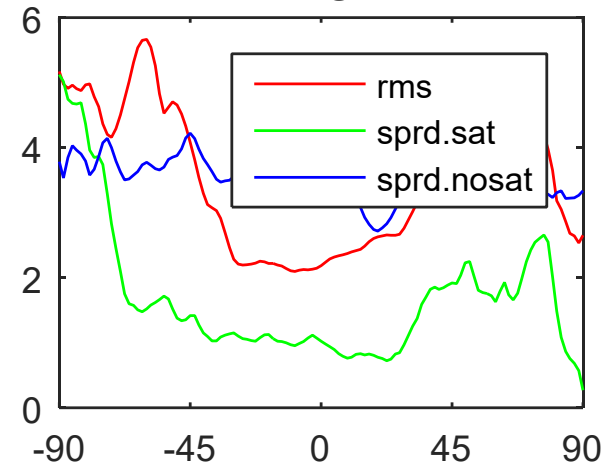


Результаты экспериментов. T + 072 h

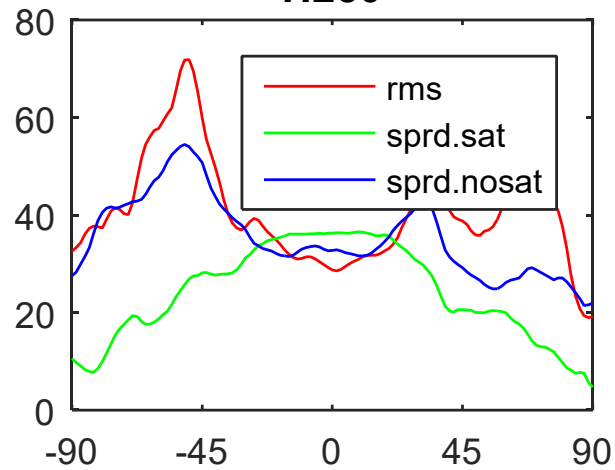
T250



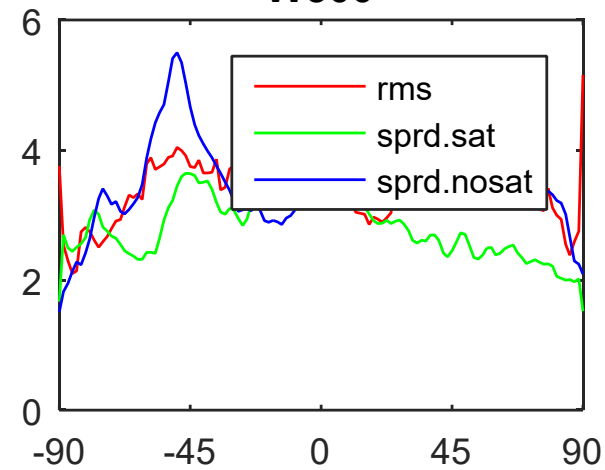
PMSL



H250



W500



Выводы

- Разброс ансамбля существенно зависит от используемых видов наблюдений – включение большего количества наблюдений уменьшает разброс при прочих равных условиях
- При увеличении заблаговременности прогноза разброс перестаёт расти
- Для преодоления проблемы малого разброса необходимо использовать дополнительные методы (различные наборы параметризаций, увеличение аддитивной инфляции, что-то другое)

Планы на будущее

- Применение различные наборов параметризаций
- Внедрение системы в квазиоперативном режиме

Federal Service for Hydrometeorology
and Environmental Monitoring

HYDROMETEOROLOGICAL CENTRE OF RUSSIA

About weather—at first hand



THANKS FOR YOUR ATTENTION!