

М.Д. Цырульников, П.И. Свиренко, Д.Р. Гайфулин, А.Н. Багров

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ВАРИАЦИОННОГО АНАЛИЗА С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ 0,25 ГРАД. И ВЕРТИКАЛЬНЫМИ УРОВНЯМИ ДО 1 ГПА

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации

Введение

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов на 2020 год в ФГБУ «Гидрометцентр России» в период с апреля по сентябрь 2020 г. проводились оперативные испытания системы глобального вариационного анализа основных метеорологических полей в конфигурации с первым приближением NCEP разрешением 0,25 град. и вертикальными уровнями до 1 гПа.

3

Краткое описание технологии

Схема глобального вариационного анализа основных метеорологических полей в конфигурации с первым приближением NCEP (National Centers for Environmental Predictions, Национальные центры прогнозов окружающей среды, США) разрешением 0,25 град. и вертикальными уровнями до 1 гПа полностью разработана в Гидрометцентре России. Она принадлежит классу схем 3D-Vар и основана на оригинальной и не имеющей прямых аналогов в мировой практике модели пространственных ковариаций на базе трехмерных фильтров авторегрессии и скользящего среднего (ее краткое описание см. в [1, 4]). Ковариации моделируются с помощью трехмерных фильтров в физическом пространстве, что позволяет задавать изменчивую в пространстве и времени структуру поля ошибок первого приближения в глобальной схеме и использовать эту модель ковариаций в схеме гибридного вариационно-ансамблевого усвоения данных.

Прошедшая испытания технология является конфигурацией унифицированной технологии усвоения данных, которая оперативно работает в настоящее время как в статическом режиме с внешним первым приближением NCEP, так и в циклическом режиме

с первым приближением, формируемым по ходу усвоения прогностической моделью ПЛАВ [3]. Кроме того, ядро схемы анализа используется в настоящее время для усвоения данных наблюдений о состоянии Мирового океана в Гидрометцентре России (работает оперативно с 2006 года), см. [2].

Анализируемые переменные:

а) в свободной атмосфере: геопотенциал, температура, компоненты ветра, относительная влажность;

б) приземные: приземное давление, давление на уровне моря, T2m, RH2m, UV10m, температура на уровне моря.

Поля инкрементов анализа вычисляются на регулярной широтно-долготной сетке с разрешением 1,5 град. или 0,5 град. по горизонтали и 40 изобарических уровнях по вертикали от 1075 до 0,5 гПа.

Схема глобального трехмерного вариационного анализа 3D-Var усваивает следующие виды метеорологических наблюдений:

- традиционные контактные наблюдения: приземные, радиозондовые, самолетные;
- спутниковые наблюдения: микроволновые измерения радиометров AMSU-A, MHS, МТВЗА-ГЯ, радиозатменные наблюдения COSMIC и GRAS; скаттерометрические наблюдения ASCAT; ветровые наблюдения по движению облаков и полям влажности AMV-Geo, AMV-Polar и AMV-LeoGeo.

Цикл анализов – 6 часов.

Используется т. н. технология FGAT (первое приближение интерполируется на усваиваемые наблюдения не только в пространстве, но и во времени).

Время счета комплекса программ обработки и усвоения данных наблюдений составляет 40-45 минут. Анализы выпускаются 4 раза в сутки в сроки 0, 06, 12, 18 ч ВСВ с расчетным временем готовности относительно сроков наблюдений не позже 2 ч 50 мин.

Новые элементы схемы анализа следующие:

1) горизонтальное разрешение полей анализа 0,25 град. (по сравнению с 0,5 град. в старой схеме);

2) по вертикали – 40 уровней до 0,5 гПа (по сравнению с 38 уровнями и экстраполяцией выше 10 гПа в старой схеме);

3) новая схема контроля качества влажности радиозондовых наблюдений;

4) перенастройка схемы контроля качества всех контактных наблюдений;

5) новая схема контроля качества и коррекции смещений спутниковых радиационных наблюдений;

6) способность усваивать отечественные микроволновые спутниковые наблюдения МТВЗА-ГЯ;

7) способность работать в режиме с повышенным разрешением поля инкрементов анализа 0,5 град.;

По сравнению с планировавшейся на испытания конфигурацией, в схему анализа были внесены следующие изменения:

1) усвоение отечественных спутниковых наблюдений МТВЗА-ГЯ не было реализовано ввиду аварии на спутнике, приведшей к неопределенности в его дальнейшей работе. В конечном итоге МТВЗА-ГЯ продолжил работать, но на момент начала испытаний это было неясно, и поэтому усвоение этих новых данных не было включено в испытания;

2) способность работать в режиме с повышенным разрешением поля инкрементов анализа 0,5 град. [4] не была реализована в испытаниях, так как эта схема значительно более вычислительно затратная и в конфигурации с первым приближением NCEP не дает существенного эффекта (см. ниже рис. 9). В условиях начинавшейся эпидемии коронавируса авторы предпочли провести испытания с облегченной схемой анализа с разрешением поля инкрементов 1,5 град., учитывая, что она уже дает большой выигрыш в прогнозе по сравнению со старой схемой. Схему с разрешением поля инкрементов 0,5 град. планируется включить в следующий пакет модификаций.

Методика испытаний

Оценка качества разработанной схемы циклического усвоения данных производилась по критерию качества численного прогноза погоды, стартовавшего с вычисленных с использованием данной схемы полей анализа.

Прогностическая модель: ПЛАВ.

Заблаговременность: 1–5 суток.

Исходный срок: 00 ч ВСВ.

Оценивались поля: H , T , V (уровни 850, 500, 250, 100 гПа), p_0 , T_2m .

Критерии качества прогноза – среднее и среднеквадратичное отклонение (RMS) от полей оперативных анализов, а также S1.

Оценка проводилась по сетке 1,5 град. по широте и долготе.

Результаты испытаний

Как и планировалось, испытания были проведены в период с апреля по сентябрь 2020 года. Всего было верифицировано 165 прогнозов, стартовавших с полей, вычисленных

испытываемой схемой анализа. Как показали испытания, новая модификация вариационного анализа с первым приближением NCEP высокого разрешения значительно превосходит прежнюю по точности вычисляемых на ее основе прогнозов для всех проанализированных заблаговременностей от 1 до 5 суток на всех уровнях и для всех проанализированных согласно программе испытаний метеозадач.

Так, по Северному полушарию среднеквадратическая ошибка 5-суточного прогноза H500 составляет 4,46 дам (в старой схеме 4,65 дам), H250 – 6,53 дам (в старой схеме 7,13 дам). Аналогичная ошибка приземной температуры – 3,52 К (в старой схеме – 4,65 К), ошибка вектора ветра на уровне 250 гПа – 14,3 м/с (в старой схеме 14,8 м/с). Подробнее см. рис. 1–6. Можно отметить, что наиболее существенное улучшение наблюдается по приземной температуре, однако уровень ошибок по этому метеозадаче по-прежнему достаточно высокий (см. рис. 4). Более подробное изучение результатов испытаний показало, что наиболее высокие ошибки прогноза приземной температуры оказались в Азии, в Европе же ошибки прогноза были значительно ниже. Это означает необходимость продолжить работу по совершенствованию процедуры формирования начальных полей модели вблизи модельной орографии, особенно в условиях сложного рельефа.

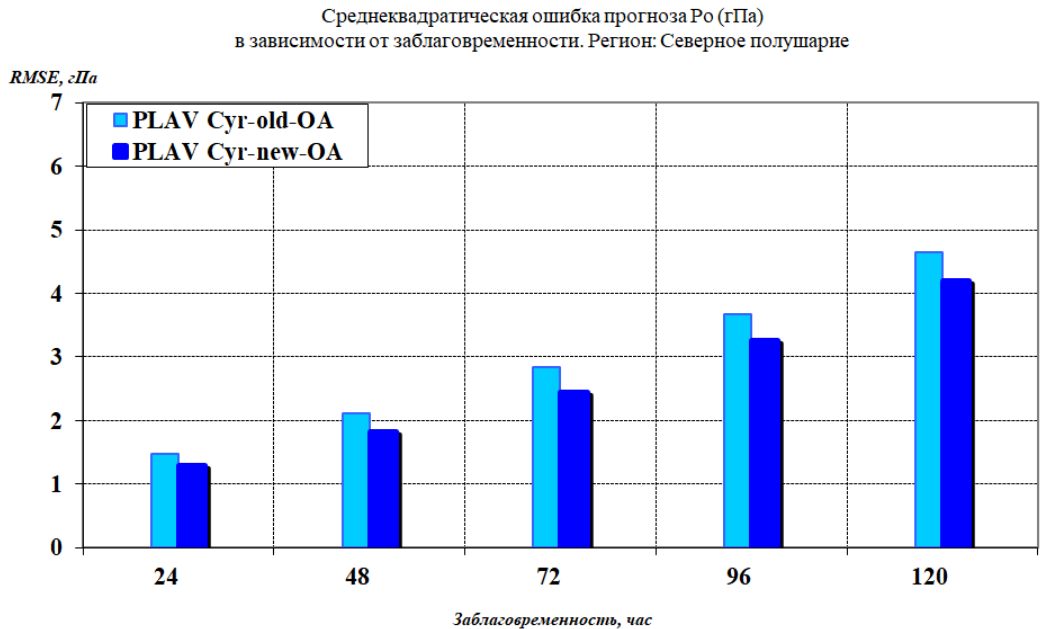


Рис. 1. Среднеквадратические ошибки прогнозов давления на уровне моря (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

Среднеквадратическая ошибка прогноза H-500 (дам)
в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие

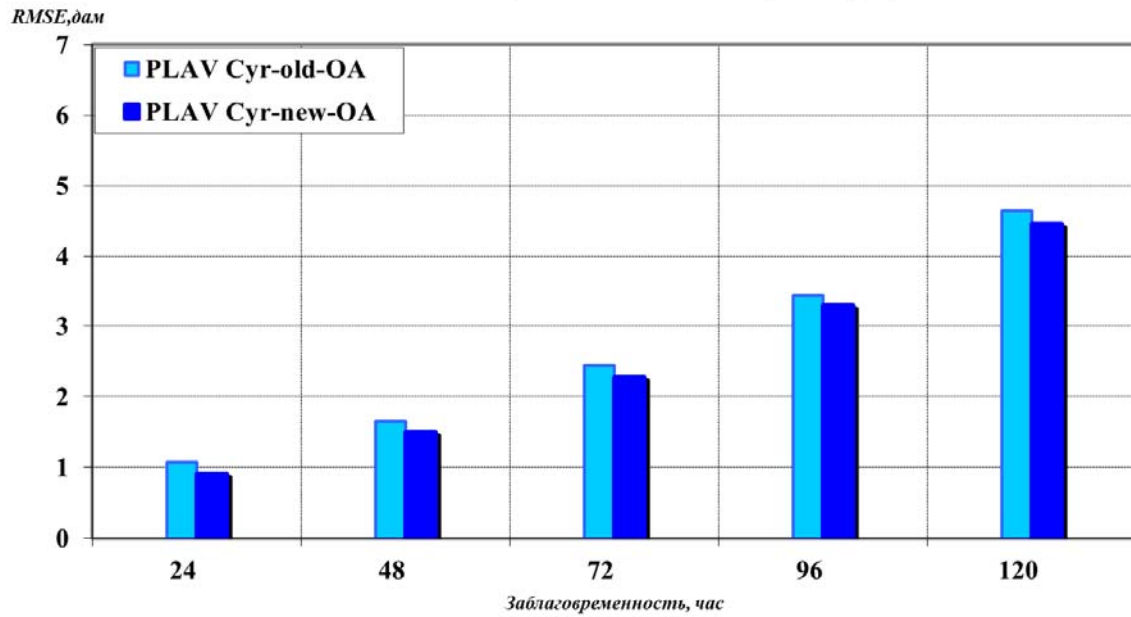


Рис. 2. Среднеквадратичные ошибки прогнозов геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

Градиентная ошибка (S1) прогноза H-500
в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие

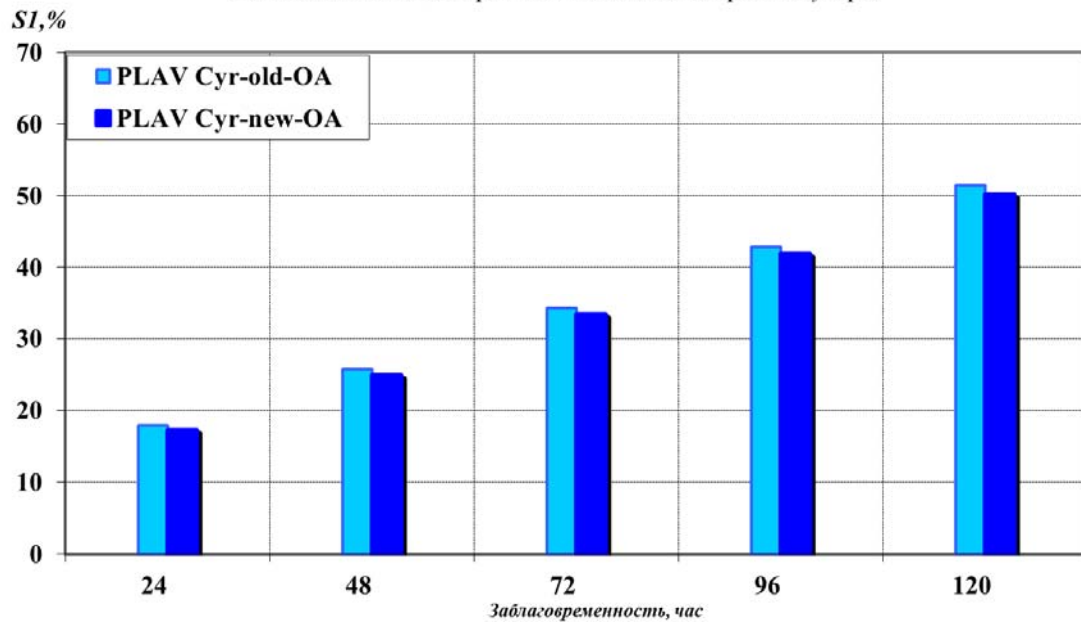


Рис. 3. Градиентная ошибка прогнозов геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

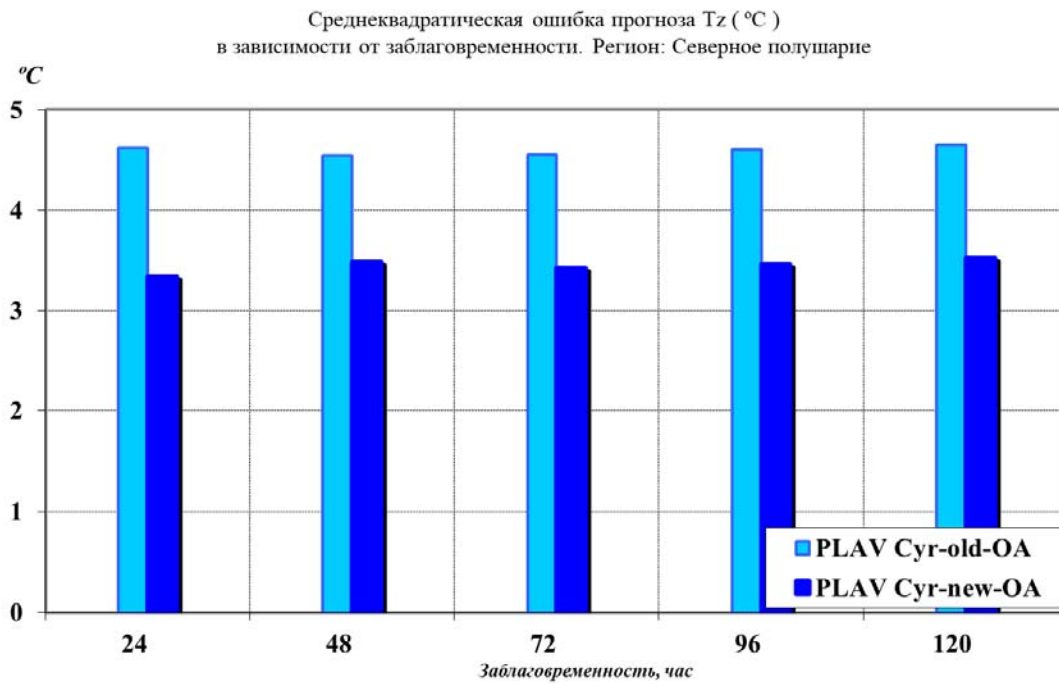


Рис. 4. Среднеквадратичные ошибки прогнозов температуры на уровне 2 м (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

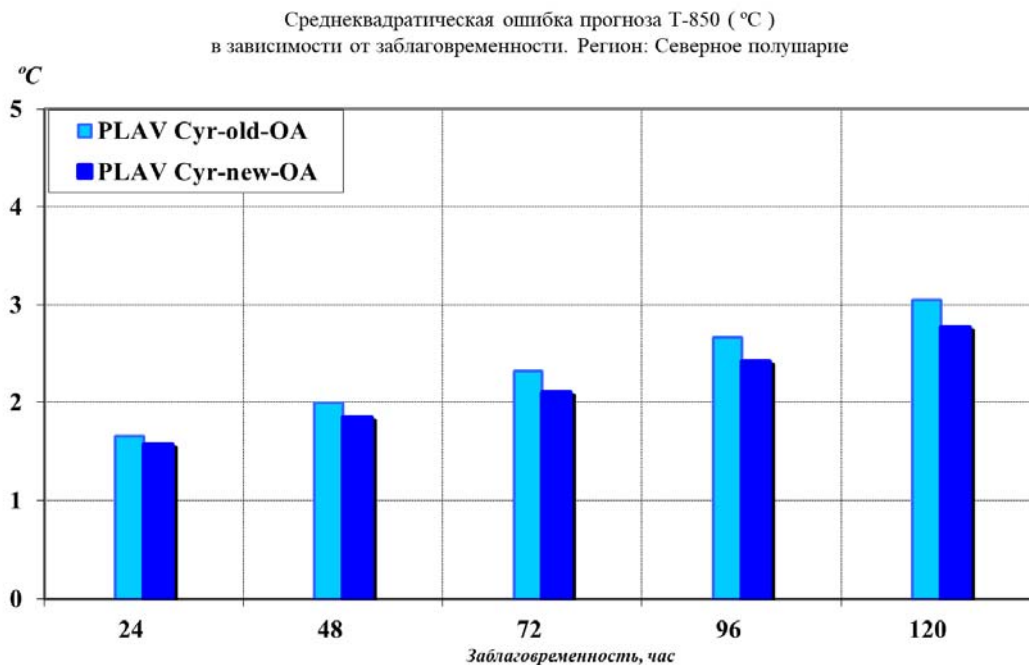


Рис. 5. Среднеквадратичные ошибки прогнозов температуры на уровне 850 гПа (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

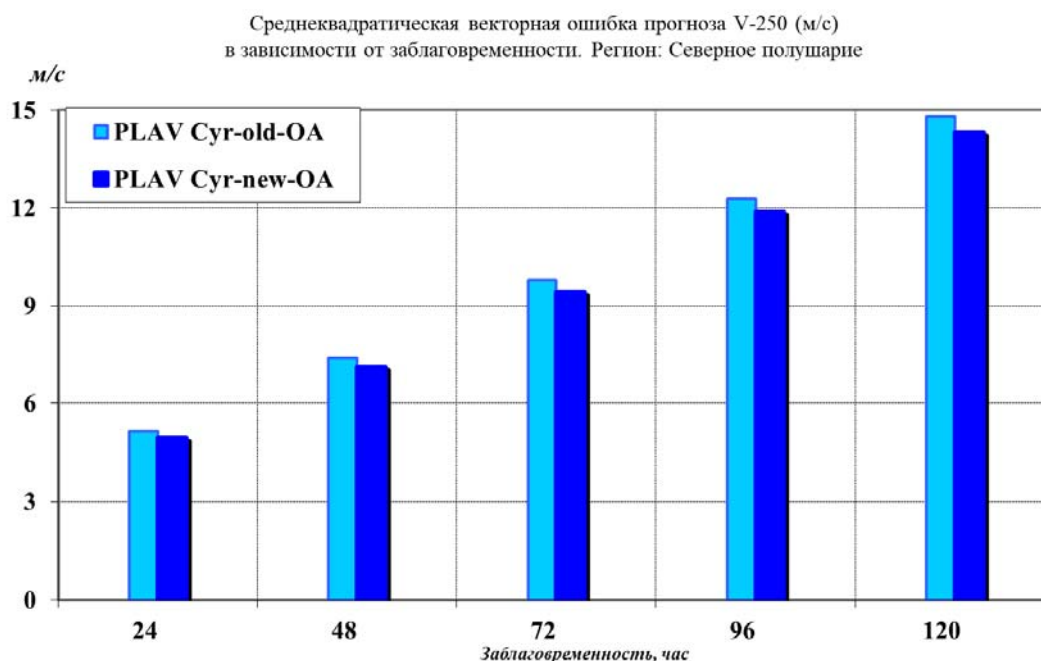


Рис. 6. Среднеквадратичные ошибки прогнозов ветра на уровне 250 гПа (старая схема – светлые столбики, новая схема – темные столбики).

Дополнительно, на рис. 7 показаны средние и среднеквадратичные ошибки 3-суточных прогнозов H500 по 6 месяцам во время испытаний. Видно, что средние ошибки намного меньше средних (систематических) ошибок. Также видно, что новая схема показала существенно лучшие результаты по сравнению со старой схемой за каждый из 6 месяцев испытаний.

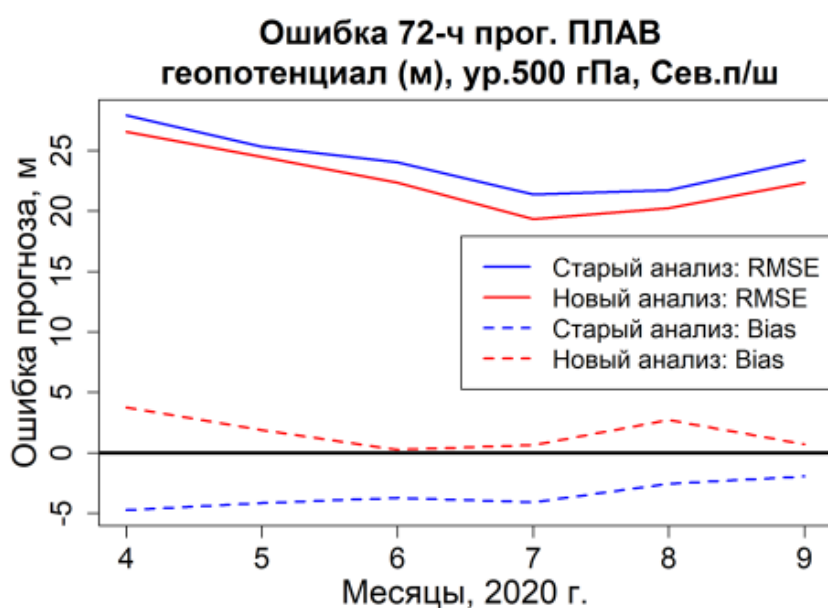


Рис. 7. Средние и среднеквадратичные ошибки 3-суточных прогнозов H500 по месяцам.

Еще более существенное улучшение видно на рис. 8, где приведены среднеквадратичные ошибки 5-суточных прогнозов T100 по месяцам.

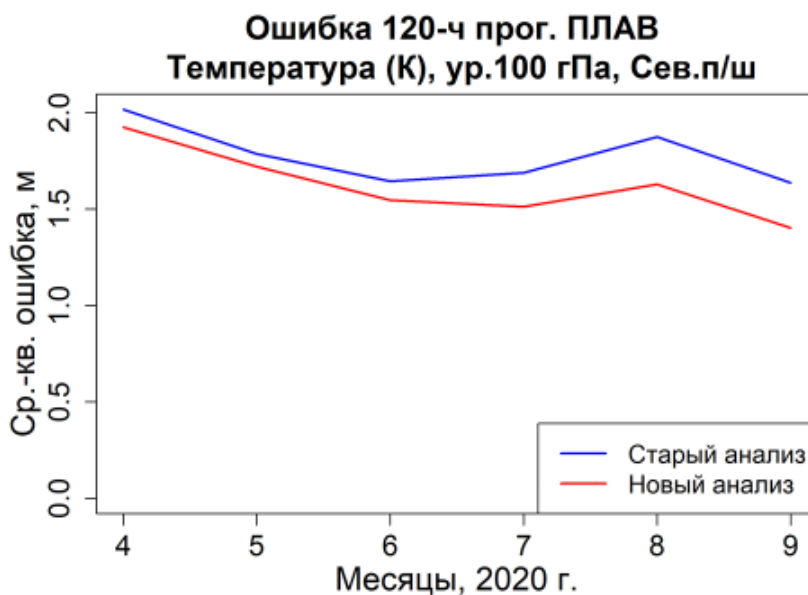


Рис. 8. Среднеквадратичные ошибки 5-суточных прогнозов T100 по месяцам.

На рис. 9 показаны результаты сравнения прогнозов по испытываемому анализу (синий) и по анализу с высоким разрешением поля инкрементов 0,5 град. (красный). Период осреднения результатов: 1–15 августа 2020 г. Видно, что различия много меньше отличий от старого анализа (см. выше) и ощутимы только в слое 50–100 гПа.

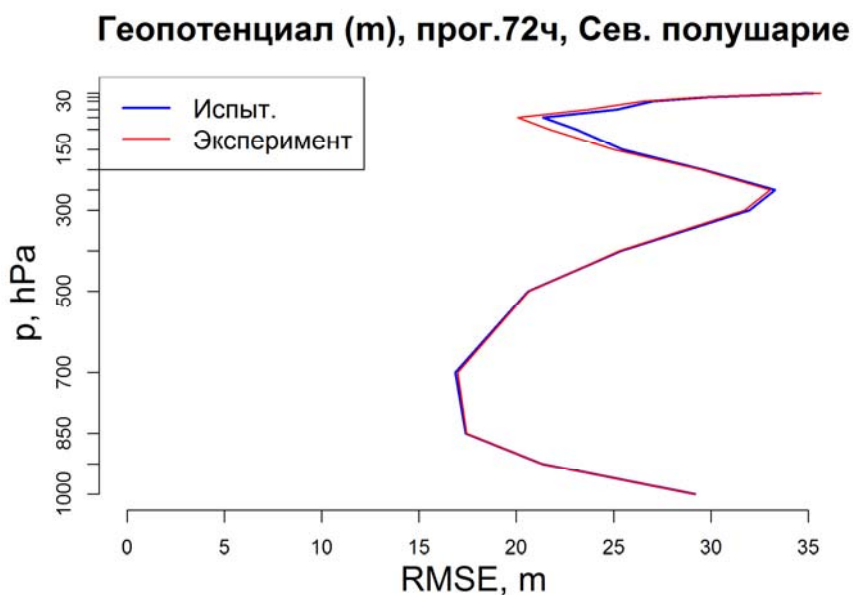


Рис. 9. Результат сравнения прогнозов по испытываемому анализу (синий) и по анализу с высоким разрешением поля инкрементов 0,5 град. (красный).

Результаты оперативных испытаний демонстрируют надежность системы. Так, было выявлено только четыре сбоя – все связанные с доступом к прогнозу NCEP.

Внедрение

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета решением от 16.12.2020 г. рекомендовала внедрить новую технологию глобального вариационного усвоения данных в конфигурации с полями первого приближения NCEP разрешением 0,25 град. в оперативную эксплуатацию в ФГБУ «ГВЦ Росгидромета» и ФГБУ «Гидрометцентр России».

Заключение

Развитие системы глобального вариационно-ансамблевого усвоения данных производится в настоящее время в двух направлениях. Во-первых, в сторону более эффективного использования информации, содержащейся в ансамбле первых приближений. Во-вторых, в сторону более полного извлечения информации, содержащейся в данных спутниковых наблюдений. Разрабатываются методика и численная схема гибридного вариационно-ансамблевого усвоения с использованием подходов, предложенных в [7–9]. Ведутся работы, направленные на повышение результативности усвоения имеющихся и новых спутниковых наблюдений, включая отечественные микроволновые наблюдения МТВЗА-ГЯ и гиперспектральные инфракрасные наблюдения ИКФС-2, с использованием результатов, полученных в [5, 6]. Создаваемые технологии основаны на наших собственных исследованиях и разработках.

11

Список литературы

1. Гайфулин Д.Р., Цырульников М.Д., Успенский А.Б., Крамчанинова Е.К., Успенский С.А., Свиренко П.И., Горбунов М.Е. Использование информации спутникового микроволнового радиометра МТВЗА-ГЯ в системе усвоения данных Гидрометцентра России // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 9. – Р. 36–47.

2. Зеленко А.А., Вильфанд Р.М., Реснянский Ю.Д., Струков Б.С., Цырульников М.Д., Свиренко П.И. Система усвоения океанографических данных и ретроспективный анализ гидрофизических полей мирового океана // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 52, № 4. – С. 501–513.

3. Толстых М.А., Фадеев Р.Ю., Шляева А.В., Мизяк В.Г., Рогутов В.С., Богословский Н.Н., Гойман Г.С., Махнорылова С.В., Юрова А.Ю., Шашкин В.В. Система моделирования атмосферы для бесшовного прогноза. – М.: Триада лтд, 2017. – 166 с.

4. Цырульников М.Д., Свиренко П.И., Гайфулин Д.Р., Горбунов М.Е., Успенский А.Б. Развитие системы оперативного усвоения данных метеорологических наблюдений в Гидрометцентре России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 4 (374). – С. 112–126.

5. Gayfulin D., Tsyurulnikov M., Uspensky A. Assessment and Adaptive Correction of Observations in Atmospheric Sounding Channels of the Satellite Microwave Radiometer MTVZA-GY // Pure and Applied Geophysics. – 2018. – Vol. 175, no. 10. – P. 3653–3670. DOI: 10.1007/s00024-018-1917-7.

6. Gorin V.E., Tsyurulnikov M.D. Estimation of multivariate observation-error statistics for AMSU-A data // Monthly Weather Review. – 2011. – Vol. 139, no. 12. – P. 3765-3780. – DOI: 10.1175/2011MWR3554.1.

7. Tsyurulnikov M., Gayfulin D. A limited-area spatio-temporal stochastic pattern generator for simulation of uncertainties in ensemble applications // Meteorologische Zeitschrift. – 2017. – Vol. 26, no. 5. – P. 549-566. – DOI: 10.1127/metz/2017/0815.

8. Tsyurulnikov M., Rakitko A. A Hierarchical Bayes ensemble Kalman Filter // Physica D (Nonlinear Phenomena). – 2017. – Vol. 338. – P. 1–16. – DOI:10.1016/j.physd.2016.07.009.

9. Tsyurulnikov M., Rakitko A. Impact of non-stationarity on hybrid ensemble filters: A study with a doubly stochastic advection-diffusion-decay model // Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. – 2019. – Vol. 145, no. 722. – P. 2255–2271. DOI: 10.1002/QJ.3556.