

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

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО УСВОЕНИЯ ДАНЫХ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ АНАЛИЗА 3D-VAR

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов на 2015 г., в ФГБУ «Гидрометцентр России» в период с февраля 2014 г. по апрель 2015 г. проводились оперативные испытания новой технологии глобального циклического усвоения данных (ЦУД) метеорологических полей на основе схемы анализа 3D-Var с использованием прогностической полулагранжевой модели (ПЛАВ) [4] для формирования полей первого приближения.

Краткое описание технологии

Схема глобального циклического усвоения данных (ЦУД), основанная на вариационном анализе 3D-Var, полностью разработана в Гидрометцентре России. Используемая нами схема прогноза [4] разработана в Гидрометцентре России и Институте вычислительной математики РАН.

Схема анализа 3D-Var полностью разработана в Гидрометцентре России и основана на оригинальной и не имеющей прямых аналогов в мировой практике модели пространственных ковариаций на базе трехмерных фильтров авторегрессии и скользящего среднего [6]. 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 в дальнейшем использовать эту модель ковариаций в схеме гибридного вариационно-ансамблевого усвоения данных.

Анализируемые переменные:

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

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

Поля анализа формируются непосредственно на сетке модели. Поля инкрементов анализа вычисляются на регулярной широтно-долготной сетке с разрешением $1,5^\circ$ по горизонтали и 38 изобарических уровнях по вертикали от 1075 до 0,5 гПа.

В анализе по методу 3D-Var метеорологические данные усваиваются глобально, что обеспечивает гладкость полей анализа и возможность более эффективного усвоения нелокальных спутниковых наблюдений по сравнению с предыдущей оперативной схемой анализа [1, 2] на основе оптимальной интерполяции.

Схема глобального трехмерного вариационного анализа 3D-Var позволяет усваивать данные следующих видов метеорологических наблюдений:

– традиционные контактные наблюдения: приземные, радиозондовые, самолетные;

– спутниковые наблюдения: микроволновые с использованием прибора AMSU-A, радиозатменные наблюдения с использованием систем COSMIC и GRAS; скаттерометрические наблюдения с использованием системы ASCAT; ветровые по движению облаков и полям влажности с использованием систем AMV-Geo, AMV-Polar и AMV-LeoGeo.

В схеме ЦУД анализ 3D-Var работает, используя поля ПЛАВ в качестве первого приближения. Модель ПЛАВ, в свою очередь, стартует с полей анализа 3D-Var, вычисленных на предыдущем цикле усвоения. Цикл усвоения – 6 час.

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

Схема объективного анализа унифицирована и используется также в оперативной схеме анализа с первым приближением NCEP (работает оперативно с 2012 г.). Кроме того, ядро предлагаемой схемы объективного анализа используется в настоящее время для усвоения

данных наблюдений о состоянии Мирового океана в Гидрометцентре России [3] (работает оперативно с 2006 года).

Испытанная технология ЦУД, в отличие от схем [1, 2, 5], не использует в качестве первого приближения основные поля зарубежных прогностических центров.

Пространственное разрешение формируемых полей анализа соответствует сетке модели ПЛАВ и составляет $0,9^\circ \times 0,7^\circ$ по горизонтали и 28 уровней по вертикали. Разрешение полей приращений анализа по отношению к прогнозу составляет $1,5^\circ$.

Новая схема глобального циклического усвоения данных функционирует в экспериментальном режиме на вычислительном сервере IBM Гидрометцентра России, включая оперативные сервера Ксеон-32 с 1 января 2013 г. Время счета основной программы усвоения данных составляет примерно четыре минуты. Анализы выпускаются четыре раза в сутки за сроки 0, 6, 12, 18 ч ВСВ с запаздыванием относительно сроков наблюдений не более 2 ч 44 мин. Счет прогнозов по модели ПЛАВ с использованием новой схемы циклического усвоения и запись прогностических полей в базы данных (БД LU3F) выполнялись с 1 марта 2014 года.

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 – 1–3 сут.

Оценивались поля H , T , V (уровни 850, 500, 250), P_0 , T_2m . Критерии качества прогноза – среднее и среднеквадратичное отклонение (RMS) от полей оперативных анализов или данных стационарных наблюдений. Сравнение – как с полями анализа (Северное полушарие), так и с данными синоптических и аэрологических станций (Европа, Азия).

Результаты испытаний

Период оценки – с февраля 2014 по апрель 2015 года. Испытания проводились следующим образом. Оценка делалась для регионов Европа, Азия и Северное полушарие как по полям объективного

анализа (ОА), так и по станциям. Привлекались прошедшие контроль наблюдения синоптических и аэрологических станций. В качестве схемы анализа взяты поля оперативного глобального анализа с шагом $0,5^\circ$ по широте и долготе [5]. Оценка проводилась по сетке $1,5^\circ$ по широте и долготе. Сравнивались прогнозы на трое суток, рассчитанные по модели ПЛАВ-2008 от исходных полей СУД (3DV_сус_ПЛАВ) с оперативными прогнозами по той же модели (ПЛАВ), стартующей с оперативного объективного анализа (где в качестве полей первого приближения используются американские прогнозы на шесть часов NCEP). Исходный срок – 00 ч ВСВ. Дополнительно в сравнении участвовали глобальные модели американского (NCEP), английского (UKMO), немецкого (DWD) и японского (JAPAN) метеоцентров, а также спектральная модель T339L31. Результаты оценки по полям ОА для внетропической части Северного полушария представлены на рис. 1–4. Примерно такое же соотношение успешности всех участвующих моделей оказалось и при оценке по станциям (поэтому они здесь не приводятся).

Результаты сравнения позволяют сделать следующие основные выводы:

– уровень точности прогнозов при использовании новой системы усвоения оказался существенно ниже уровня точности прогнозов зарубежных центров;

– уровень точности прогнозов при использовании новой системы усвоения также ниже уровня точности прогнозов ПЛАВ при использовании оперативного объективного анализа. Например, RMS для H500 в Европе (оценка по станциям) при прогнозе на 1–3 суток за весь период испытаний равны 1,72, 2,59, 3,73 дам, оперативных прогнозов ПЛАВ – 1,47, 2,15 и 3,15 дам, а модели T339L31 – 1,81, 2,48 и 3,72 дам;

– в целом качество прогнозов по данной схеме оказалось несколько выше качества прогнозов по спектральной модели T339L31, использовавшей анализы на основе первого приближения NCEP.

Необходимо отметить, что, как показали испытания, уровень точности прогнозов при использовании новой системы усвоения заметно ниже уровня точности прогнозов при использовании оперативного объективного анализа. Однако принципиальным преимуществом

График изменения среднеквадратической ошибки прогноза P_0 (гПа) в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие (Оценка по сетке $1,5^\circ \times 1,5^\circ$)

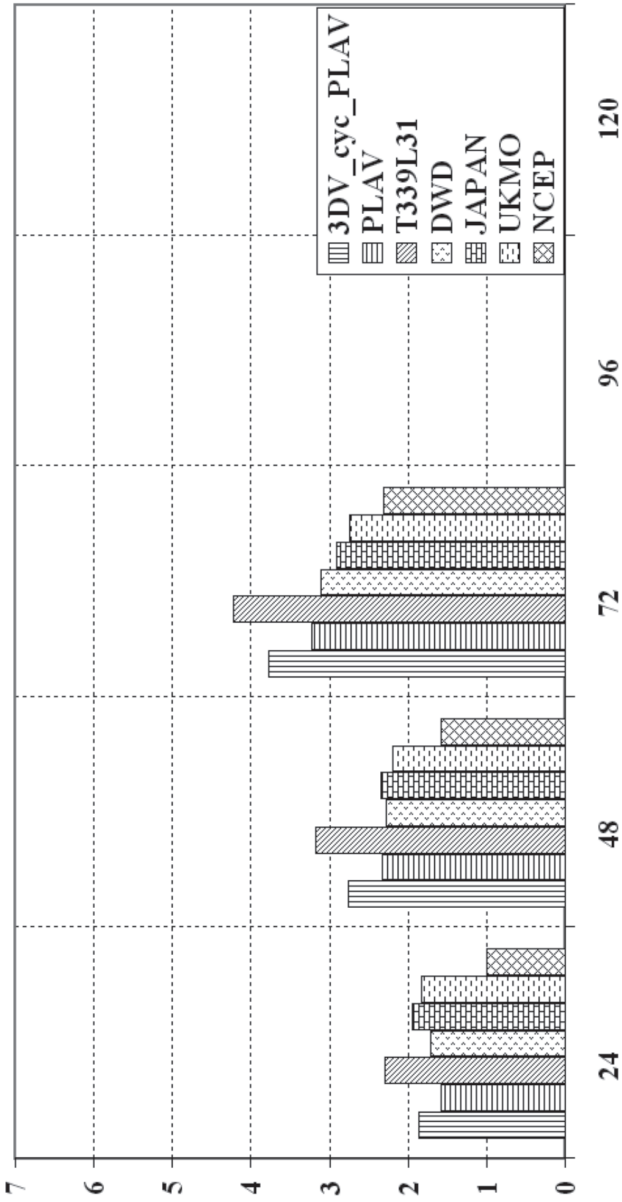


Рис. 1. Среднеквадратичные ошибки трехсуточных прогнозов давления на уровне моря.

График изменения среднеквадратической ошибки прогноза Н-500 (дам)
 в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие
 (Оценка по сетке 1,5 x 1,5°)

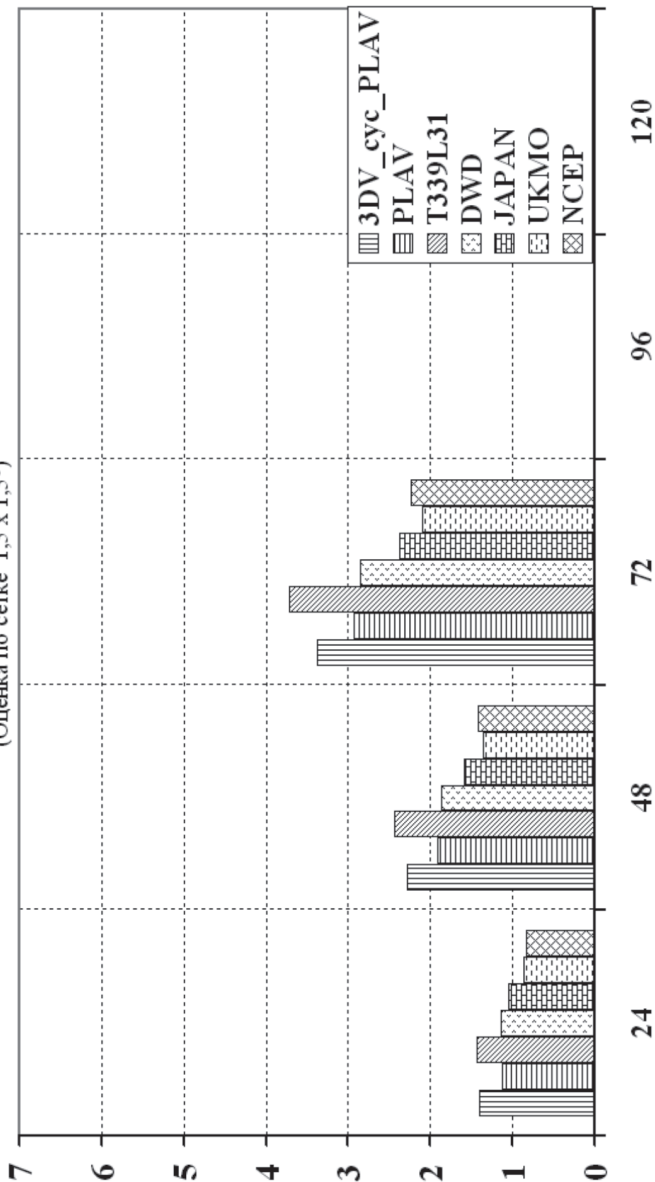


Рис. 2. Среднеквадратичные ошибки трехсуточных прогнозов геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа.

График изменения градиентной ошибки (S1) прогноза H-500
 в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие
 (Оценка по сетке 1,5 x 1,5°)

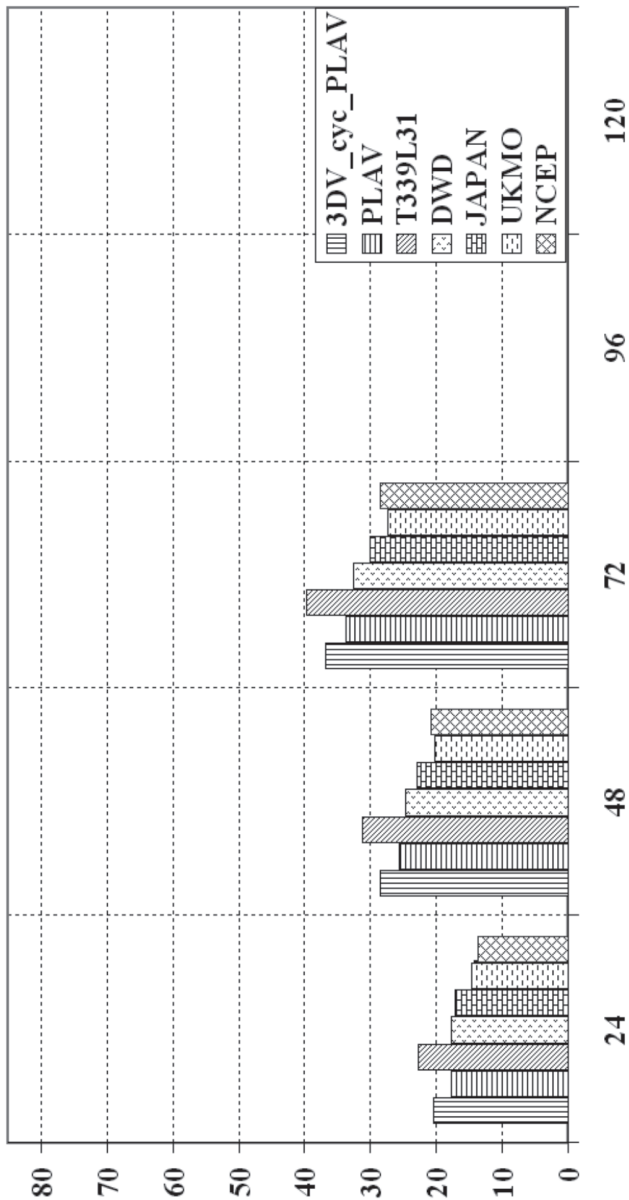


Рис. 3. Градиентные ошибки трехсуточных прогнозов геопотенциальной высоты поверхности 500 гПа.

График изменения среднеквадратической ошибки прогноза T-850 (°C)
 в зависимости от заблаговременности. Регион: Северное полушарие
 (Оценка по сетке 1,5 x 1,5°)

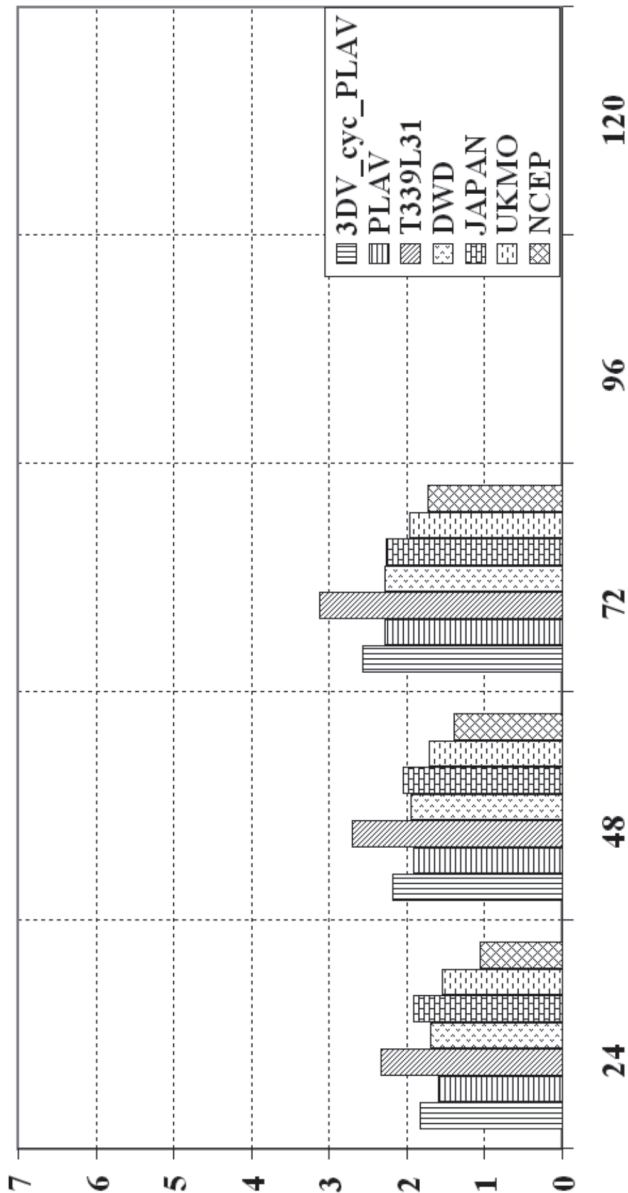


Рис. 4. Среднеквадратичные ошибки трехсуточных прогнозов температуры на поверхности 850 гПа.

разработанной системы является ее независимость от оперативных прогнозов зарубежных метеоцентров, что делает целесообразным использование разработанной технологии в качестве резервной. Кроме того, качество прогнозов по данной схеме оказалось выше качества прогнозов по спектральной модели, использовавшей анализы на основе первого приближения NCEP.

О надежности счета новой схемы анализа

Система показала высокую степень надежности и живучести. Так, не было ни одного случая аварийного завершения анализа, а также система достаточно устойчиво переносила периоды отсутствия некоторых видов наблюдений.

Рекомендации к внедрению

ЦМКП Росгидромета в своем решении от 24.06.2015 г. рекомендовала новую схему глобального циклического усвоения данных на основе разработанной схемы 3D-VAR с моделью ПЛАВ к внедрению в оперативную эксплуатацию в ФБГУ «ГВЦ Росгидромета», ФБГУ «Гидрометцентр России» в качестве резервной технологии на случай прекращения оперативного поступления полей прогнозов зарубежных центров.

Заключение

Развитие системы ЦУД производится в настоящее время в сторону введения в нее ансамблевых компонентов. Создана система ансамблевых анализов и прогнозов. Разрабатывается система гибридного вариационно-ансамблевого усвоения данных. Создаваемые системы основаны на наших собственных исследованиях и разработках.

Список литературы

1. *Багров А.Н., Цырульников М.Д.* Оперативная схема циклического усвоения данных Гидрометцентра России // 70 лет Гидрометцентру России. – СПб.: Гидрометеиздат, 1999. – С. 59–69.
2. *Багров А.Н., Локтионова Е.А., Цырульников М.Д.* Развитие оперативного циклического усвоения данных в Гидрометцентре России // Труды Гидрометцентра России. – 2000. – Вып. 335. – С. 19–30.

3. Зеленько А.А., Реснянский Ю.Д., Цырульников М.Д., Струков Б.С., Свиренко П.И. Глобальная система усвоения океанографических данных: пилотная версия // Современное состояние и проблемы навигации и океанографии: труды 6-й Российской научно-технической конференции. СПб., 23–25 мая 2007 г. – С. 464–472.

4. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. – М.; Обнинск: ОАО ФОР, 2010. – 111 с.

5. Цырульников М.Д., Свиренко П.И., Горин В.Е., Горбунов М.Е., Ордин А.Л., Багров А.Н. Новая технология объективного анализа на основе схемы 3D-VAR // Информационный сборник № 39. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. – 2012. – С. 6–14.

6. Tsyruльников M.D., Svireno P.I. A covariance model based on 3-D spatial filters: potential for flow-dependent covariance modelling // Res. Act. Atm. Ocean. Model. – WMO, 2007. – Rep. No. 35. – P. 1.39–1.40.