

*М.Д. Цырульников, П.И. Свиренко, В.Е. Горин, М.Е. Горбунов,  
А.Л. Ордин, А.Н. Багров*

## **НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЪЕКТИВНОГО АНАЛИЗА НА ОСНОВЕ СХЕМЫ 3D-VAR**

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов на 2011 год в ФГБУ «Гидрометцентр России» в период с апреля по сентябрь 2011 года проводились оперативные испытания новой технологии глобального объективного анализа (ОА) метеорологических полей на основе 3D-Var.

### **Краткое описание технологии**

Новая схема глобального трёхмерного вариационного усвоения (объективного анализа) данных, реализующая метод 3D-Var, основана на оригинальной и не имеющей прямых аналогов в мировой практике модели пространственных ковариаций на базе трёхмерных фильтров авторегрессии и скользящего среднего [3]. 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 эксплуатируемой в настоящее время схемой ОА [1, 2] на основе оптимальной интерполяции. Новая схема глобального трёхмерного вариационного ОА позволяет усваивать данные следующих видов метеорологических наблюдений:

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

Заметим, что в новой схеме ОА за каждый срок усваивается свыше 1 млн разнообразных спутниковых данных, что примерно в 100 раз больше, чем в [1, 2].

Испытанная схема ОА 3D-Var, как и схема [1, 2], использует в качестве первого приближения прогностические поля 6-часового прогноза NCEP (Вашингтон, США).

Пространственное разрешение формируемых полей анализа составляет 0,5 градуса по горизонтали и 38 уровней по вертикали (от 1075 до 0,5 гПа). Разрешение полей приращений анализа по отношению к прогнозу составляет 1,5 градуса.

Новая схема ОА 3D-Var функционирует в экспериментальном режиме на ЭВМ SGI Altix-4700 с 28 января 2011 года (оперативный аккаунт opera3f). Подготовка данных наблюдений для счета схемы осуществлялась на восьмом узле вычислительного кластера ФГБУ «Гидрометцентр России».

Время счета комплекта полей ОА на ЭВМ SGI Altix-4700 составляет 7–9 минут. Анализы выпускаются 4 раза в сутки за сроки 00, 06, 12, 18 ч ВСВ с запаздыванием относительно сроков наблюдений не более 2 ч 44 мин. Счёт прогнозов по модели PLAV с использованием новой схемы ОА и запись прогностических полей в базы данных (БД LA3F) выполняются на ЭВМ SGI Altix-4700 с 27 марта 2011 года.

### **Методика испытаний**

Всестороннюю проверку полей ОА осуществить довольно непросто. Для того, чтобы служить хорошей основой для гидродинамического прогноза, поля ОА должны быть согласованы между собой по вертикали и по горизонтали; по горизонтали также должно быть взаимное согласование полей геопотенциала и ветра. Например, в действующей оперативной схеме ОА [1, 2] имеется некоторая негладкость выходных полей (недостаточная пространственная согласованность), которая обусловлена «локальностью» интерполяции. Для каждого узла сетки анализа при оптимальной интерполяции берется ограниченный набор т.н. влияющих наблюдений, этот набор меняется от узла к узлу, что приводит к некоторым «скачкам» в полях анализа в соседних узлах. Этот недостаток обусловлен относительно малым количеством влияющих наблюдений. Выявить все эти недостатки весьма сложно.

Поэтому был принят такой критерий: тот ОА лучше, по которому получается лучший прогноз. Исходя из этого, испытания проводились следующим образом. В качестве прогностической модели была взята оперативная глобальная полулагранжева модель PLAV, как лучшая глобальная модель Гидрометцентра России. Модель PLAV за каждый срок рассчитывалась в двух вариантах:

- прогнозы с использованием оперативной схемы ОА [1, 2] (оперативные прогнозы);
- прогнозы с использованием новой схемы ОА.

По полученным прогностическим полям была проведена оценка качества прогнозов по данным измерений на станциях (для приземных полей – синоптические станции, для полей в

свободной атмосфере – аэрологические станции). Данные на станциях были предварительно проконтролированы.

Были получены оценки для прогнозов, стартующих от исходного срока 00 ч ВСВ на срок до 72 ч для территорий Европы и Азии для следующих полей: давление на уровне моря, приземные поля температуры и ветра, поля геопотенциала, температуры и ветра на уровнях 850, 500 и 250 гПа. Дополнительно была проведена оценка прогнозов осадков, полученных для обоих вариантов счета модели PLAV по станциям Европейской территории России.

Для сравнения по той же методике были получены оценки прогнозов глобальной модели NCEP.

Период оценки – с 16 апреля по 13 сентября 2011 г. (104 случая); для полей приземной температуры и осадков – с 9 августа по 13 сентября 2011 г. (36 случаев). Отметим, что из-за технических и технологических причин заметная часть прогнозов не была просчитана и не участвовала в оценке.

### **О надёжности счёта новой схемы анализа**

В период с 16 апреля по 4 сентября 2011 г. были получены и обработаны данные по 475 срокам наблюдений (из общего количества 568 сроков –142 дня). При расчёте полей ОА за указанный период было выявлено 33 сбоя, причем некоторые сбои приводили к отказам расчёта анализов за несколько последовательных сроков. Были выявлены следующие причины сбоев:

- сбои в работе ЭВМ Altix-4700 – 12 случаев, или 36 % от общего числа сбоев;
- сбои в работе 8-го вычислительного узла – 3 случая, или 9 %;
- отсутствие полей первого приближения в БД NCMN – 7 случаев, или 21 %;
- сбои в работе базы данных анализов (БД F385) – 1 случай, или 3 %;
- сбои в новой схеме анализа – 3 случая, или 9 %;
- сбои по неустановленным причинам – 7 случаев, или 21 %.

### **Результаты испытаний**

По тем срокам, где были успешно рассчитаны прогнозы, получены следующие результаты для территории Европы (для территории Азии результаты похожи):

1) По полю давления на уровне моря – значительное улучшение. По полю H850 – некоторое улучшение. По полю H500 – небольшое улучшение. По полю H250 – значительное улучшение (рис. 1).

2) По полю температуры на уровне земли – значительное улучшение (кривые, соответствующие новому анализу и NCEP слились). Следует, однако, отметить, что этот результат получен по меньшему объёму выборки (36 случаев) и требует уточнения. По полю T850 – небольшое улучшение. По полю T500 – незначительное улучшение. По полю T250 – заметное улучшение (рис. 2).

3) По полю ветра на уровне земли – нет улучшения, однако по точности прогнозы совпали с NCEP (все три кривые слились). По полям W850, W500 и W250 – небольшое улучшение (рис. 3).

### **Выводы**

Оценки прогнозов по модели PLAV, стартовавшей с нового ОА, по всем метеоэлементам на всех уровнях по обеим территориям оказались несколько лучше, чем оценки оперативных прогнозов по той же модели, стартовавшей с оперативного ОА. Наибольшее преимущество новая схема ОА обеспечила для прогностических полей давления на уровне моря и геопотенциала поверхности 250 гПа. Среднеквадратическая ошибка прогнозов давления на уровне моря для территории Европы уменьшилась на 0,2–0,4 гПа, а геопотенциала – на 0,1–0,3 дам; для приземной температуры среднеквадратическая ошибка уменьшилась на 0,6–0,8 °С, а в свободной атмосфере – на 0,2–0,3 °С; прогнозы ветра на всех уровнях улучшились незначительно; прогнозы осадков при использовании обеих схем ОА по успешности оказались практически одинаковыми (поэтому мы их здесь не приводим).

### **Рекомендации к внедрению**

ЦМКП Росгидромета в своем решении от 21 октября 2011 г. отметила:

– одобрить работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по созданию новой схемы объективного анализа с использованием метода 3D-Vар и технологии на ее основе для решения оперативных задач, возложенных на Росгидромет;

– рекомендовать новую схему ОА 3D-Vар к внедрению в опытную эксплуатацию в ФГБУ «ГВЦ Росгидромета», ФГБУ «Гидрометцентр России» после проведения работ по обеспечению достаточной надежности выпуска продукции;

– рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России», ФГБУ «ГВЦ Росгидромета» принять необходимые меры для обеспечения надежного выпуска продукции ОА, включая повышение технологичности программного комплекса ОА 3D-Vар, организацию счета ОА 3D-Vар на двух вычислительных платформах (для обеспечения «горячего» резервирования);

– ФГБУ «Гидрометцентр России» продолжить мониторинг показателей качества ОА 3D-Var, включая оценку надежности выпуска продукции; результаты мониторинга представить на заседании ЦМКП во втором квартале 2012 года для принятия решения о вводе технологии ОА 3D-Var в оперативную эксплуатацию;

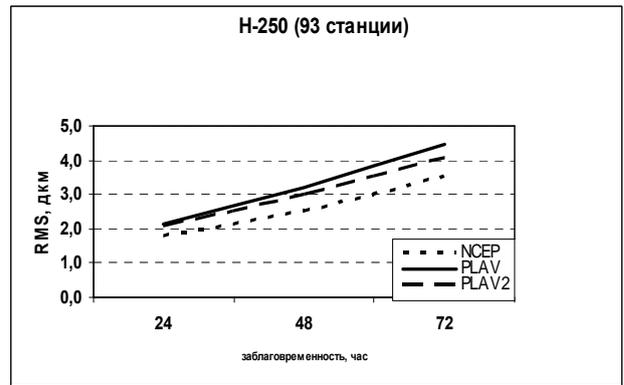
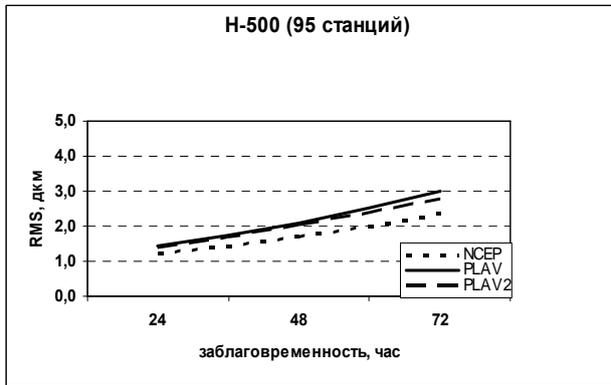
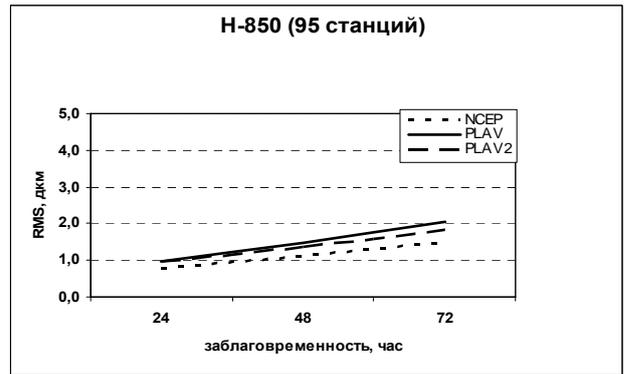
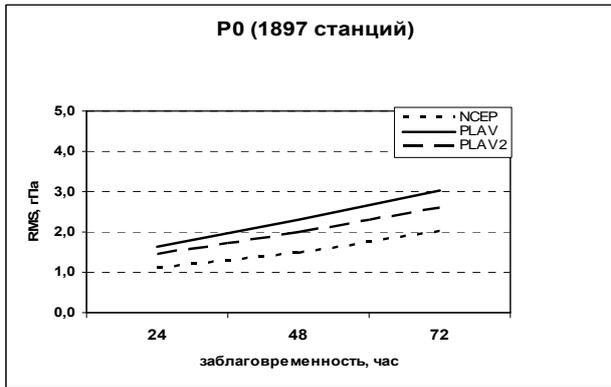
– рекомендовать авторам продолжить работу по совершенствованию технологии ОА 3D-Var и созданию системы циклического усвоения данных наблюдений на основе оперативных гидродинамических моделей ФГБУ «Гидрометцентр России».

### **Заключение**

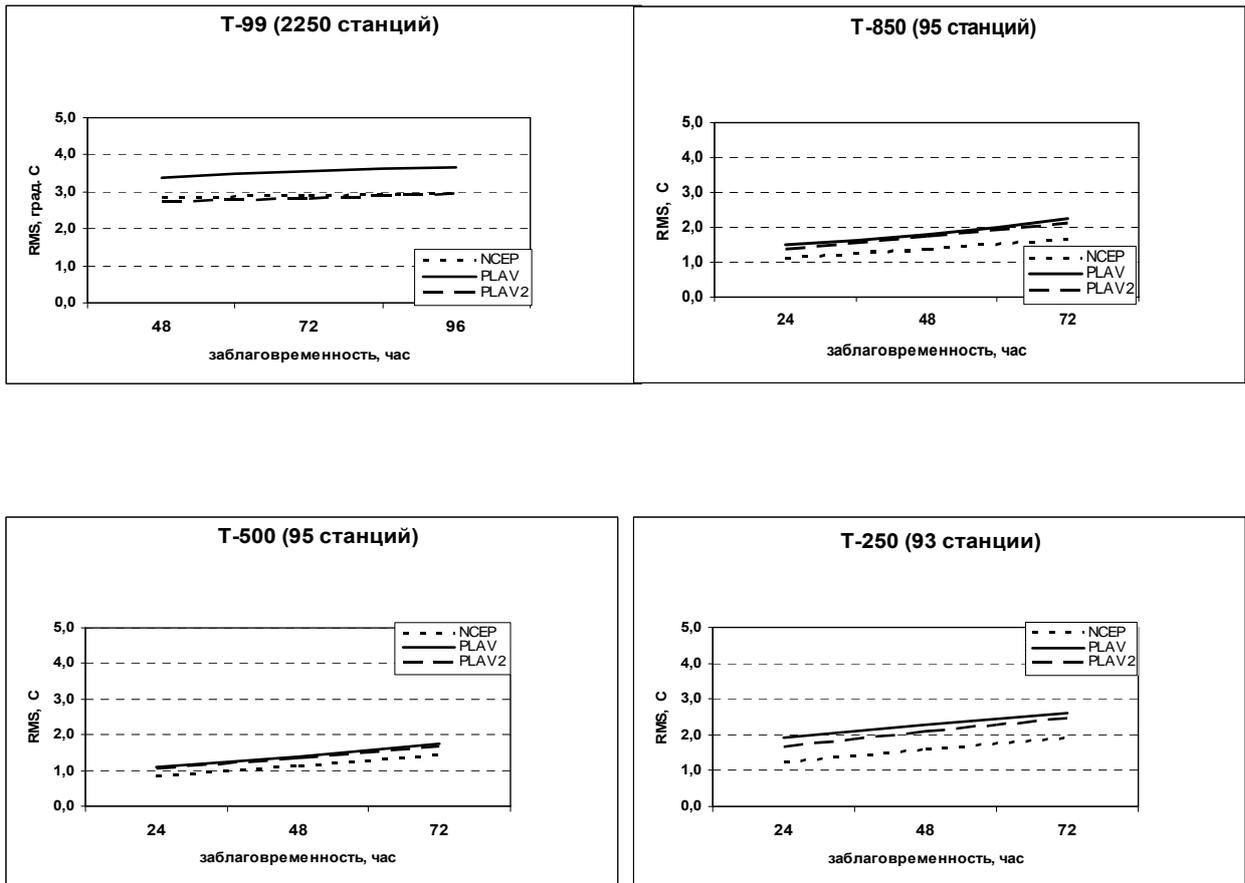
К моменту написания статьи были проведены работы по повышению надёжности счёта нового оперативного анализа. Реализован опрос двух частично независимых баз данных с прогнозами NCEP, а также переход на прогнозы большей заблаговременности в случае отсутствия 6-часового прогноза NCEP. Также реализован параллельный счёт схемы анализа на независимом LINUX сервере (время счёта схемы анализа на 4-х процессорах – 2 мин).

### **Список литературы**

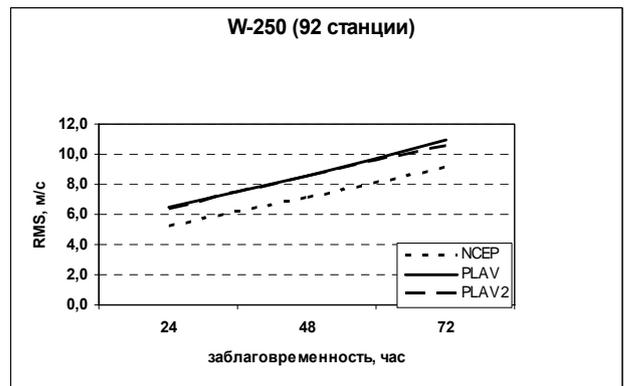
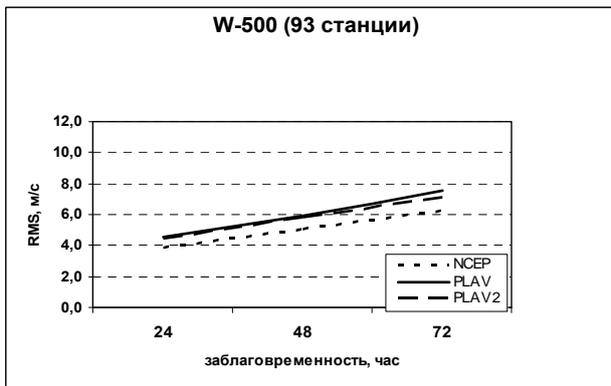
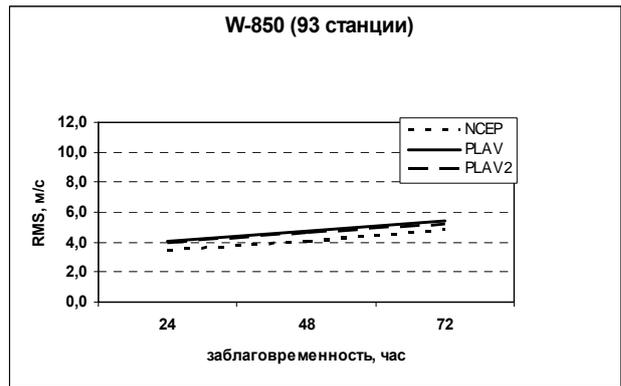
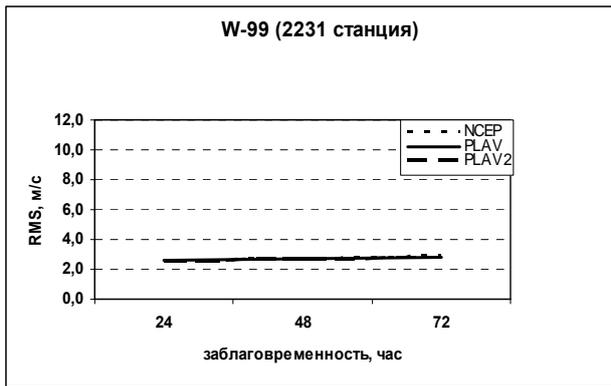
1. *Багров А.Н., Цырульников М.Д.* Оперативная схема объективного анализа Гидрометцентра России / в сб.: «70 лет Гидрометцентру России». – С-Пб: Гидрометеиздат, 1999. – С. 59–69.
2. *Багров А.Н., Локтионова Е.А., Цырульников М.Д.* Развитие оперативного объективного анализа в Гидрометцентре России // Труды Гидрометцентра России. – 2000. – Вып. 335. – С. 19–30.
3. *Tsyrunikov M.D., Svirenko P.I.* A covariance model based on 3-D spatial filters: potential for flow-dependent covariance modeling // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. – WMO, 2007. – Rep. N 35. – P. 1.39–1.40.



**Рис. 1. Сравнение среднеквадратичных ошибок прогнозов давления на уровне моря и геопотенциала изобарических поверхностей 850, 500 и 250 гПа (PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).**



**Рис. 2. Сравнение среднеквадратичных ошибок прогнозов температуры на уровне земли и на изобарических поверхностях 850, 500 и 250 гПа (PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).**



**Рис. 3. Сравнение среднеквадратичных векторных ошибок прогнозов ветра на уровне земли и на изобарических поверхностях 850, 500 и 250 гПа (PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).**