

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”

ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК

№ 39

Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов

Под редакцией
канд. геогр. наук Г.К. Веселовой,
канд. геогр. наук А.А. Алексеевой

2012

Информационный сборник № 39. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под редакцией канд. геогр. наук Г.К. Веселовой, канд. геогр. наук А.А. Алексеевой. – М., Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2012. – 132 стр.

Дано краткое описание новой технологии глобального объективного анализа полей метеозлементов, основанной на трехмерном вариационном усвоении метеорологических данных по методу 3D-Var, представлены результаты ее испытаний; изложена математическая основа модели COSMO и технология мезомасштабного моделирования COSMO-RU07, представлены результаты испытаний прогнозов элементов приземной погоды данной версии модели; дано описание методов прогноза осадков ≥ 11 мм/12 ч и шквалов с детализацией по градациям на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России и представлены результаты их испытаний с заблаговременностью 12 и 24 ч по территории Центрального федерального округа (ЦФО) России; приведены результаты сравнительной оценки успешности прогнозов элементов погоды на Европейской территории России за апрель-сентябрь 2011 г., рассчитанные на основе 12 отечественных и зарубежных моделей атмосферы с заблаговременностью до трех суток, а также по методу многомодельного ансамбля; представлены результаты испытаний: комплексного гидродинамического прогноза температуры, ветра и осадков для 17 областных городов ЦФО на основе использования результатов гидродинамических прогнозов ряда отечественных и зарубежных прогностических моделей с заблаговременностью до 84 ч; автоматизированных методов прогноза осадков и шквалов с заблаговременностью 12 и 24 ч на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России по территории Центрально-Черноземного УГМС в летний период 2009 и 2010 гг.; метода расчета комплексного прогноза температуры воздуха, осадков и индекса пожароопасности по административным районам Алтайского края, Томской, Кемеровской областей и Ханты-Мансийского автономного округа на 1–5 суток; метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском УГМС и УГМС Республики Татарстан с заблаговременностью 1–2 месяца; методов прогноза месячного и квартального притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС на второй и третий кварталы 2009-2010 гг.; метода краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское; метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл за 2007-2010 гг. Изложены рекомендации ЦМКП и Технических советов УГМС Росгидромета о внедрении методов и технологий в оперативную практику прогнозирования.

***Памяти Галины Ксенофонтовны Веселовой,
заслуженного метеоролога Российской Федерации***

Уважаемые коллеги!

Вы держите в руках очередной Информационный сборник № 39 «Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов». Для синоптиков, гидрологов, океанологов, агрометеорологов не только России, но и стран СНГ, членов Межгосударственного совета по гидрометеорологии, сборник давно стал главной, а подчас и единственной трибуной, где можно познакомиться с самыми последними достижениями в области методов гидрометеорологических прогнозов – от локальных до глобальных, от сверхкраткосрочных до сезонных и годовых.

Вдохновителем и организатором подготовки и издания сборника, бессменным его редактором, а часто и автором статей, до недавнего времени была Галина Ксенофонтовна Веселова, заслуженный метеоролог Российской Федерации, замечательный методист и исследователь.

Результаты испытаний – лишь вершина огромного пласта методической работы по внедрению новых и усовершенствованных технологий (методов) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов в системе Росгидромета. В организацию этой работы Галиной Ксенофонтовной внесен очень большой вклад. Подготовка и контроль за выполнением Планов испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов прогнозов, составлявшихся ранее для Гидрометслужбы СССР, а последние десятилетия для Гидрометслужбы России – это объемная, сложная, тщательная, кропотливая, далеко не рутинная работа. И Галина Ксенофонтовна занималась этой работой свыше 40 лет, бессменно выполняя обязанности секретаря Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета.

С 1962 года деятельность Галины Ксенофонтовны связана с Гидрометцентром. Здесь она училась в аспирантуре, здесь защитила кандидатскую диссертацию, стала разработчиком новых методов прогнозов. С 1969 года Галина Ксенофонтовна занялась вопросами испытания прогностических схем и курированием этого процесса в управлениях Гидрометслужбы страны. В 1976 году коллектив Лаборатории испытания и внедрения новых методов прогнозов, объединенный опытом и энтузиазмом Галины Ксенофонтовны,

подготовил к изданию работу, ставшую на многие годы нормативным документом службы – «Методические указания по проведению оперативных испытаний новых методов гидрометеорологических прогнозов». В этом документе тщательность отбора показателей успешности метеорологических прогнозов (Г.К. Веселова в соавторстве с В.С. Бедриной и В.Ф. Черновой) соединилась с глубоким знанием синоптических процессов и, главное, со знанием требований к методам прогнозов со стороны синоптиков-оперативников. Следующий нормативный документ – «Положение об испытании и внедрении новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов и расчетов», утвержденный в 1989 году, также по большей части написан и подготовлен к изданию Галиной Ксенофоновной. Основным разработчиком РД 52.27.724-2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения» и соавтором при подготовке РД 52.27.723-2009 «Базовые требования к технологии подготовки краткосрочных прогнозов погоды» также была Галина Ксенофоновна.

По праву Галина Ксенофоновна являлась признанным ведущим методистом гидрометслужбы по испытаниям, оценке и внедрению новых методов прогнозов. Невозможно перечислить всех специалистов и все организации, которые обращались к ней за методической помощью. И для всех находился совет, пожелание, конструктивная критика, а иногда и личная помощь. Галина Ксенофоновна не ограничивалась методической и организационной работой, она часто брала на себя наиболее ответственные участки испытаний – это оценки прогнозов по региональным и полусферным численным моделям, по методам прогноза опасных явлений погоды.

Испытания новых методов – живая работа, как и прогнозы погоды. Здесь необходимо постоянное и прямое общение со специалистами УГМС и ЦГМС из разных регионов страны. Это и целевые методические командировки сотрудников Лаборатории испытаний на места, и консультации специалистов сетевых организаций, приехавших в Институт повышения квалификации. А в 2002 году, когда в Гидрометцентре России под руководством Галины Ксенофоновны был создан научно-методический сектор по внедрению методов гидрометеорологических прогнозов, стали проводиться методические совещания-семинары по вопросам прогностической работы и гидрометеорологического обеспечения. Составителем программ и председателем этих семинаров была Галина Ксенофоновна. Представители УГМС и ЦГМС могли непосредственно ознакомиться с новыми тенденциями в прогностической практике, получить необходимую консультацию по испытаниям и внедрению новых методов.

В 2003 году под методическим руководством Галины Ксенофоновны заработал Интернет-сайт «Методический кабинет Гидрометцентра России» (<http://method.hydropromet.ru>),

где оперативно отражаются новости прогностической деятельности, результаты испытаний методов прогнозов, оценки оперативных и экспериментальных прогнозов, размещаются нормативные документы Росгидромета и ВМО, планы испытаний и решения ЦМКП, информационно-методические письма, публикации и рекомендации. Ежегодно расширяется структура Интернет-сайта, за 2011 год там размещено около 200 новых материалов.

Галина Ксенофонтовна пользовалась громадным авторитетом в НИУ, УГМС и ЦГМС Росгидромета, ее слово в дискуссиях часто было решающим. Она была человеком щедрой души и доброго сердца. Все, кто работал и общался с ней, чувствовали ее доброжелательность, отзывчивость и в высшей мере присущие ей объективность и принципиальность.

До последних дней Галина Ксенофонтовна участвовала в работе института, консультировала, помогала готовить документы ЦМКП, планы инспекций сетевых организаций, программы методических совещаний. Галина Ксенофонтовна начала редактировать этот Информационный сборник № 39, но уже не смогла завершить эту работу.

Галины Ксенофонтовны с нами больше нет.

Но живет и развивается система испытания и внедрения новых методов гидрометеорологических прогнозов, система, которой Галина Ксенофонтовна отдала всю свою душу и знания. И лучшая память о Галине Ксенофонтовне – это сохранение тех жизненных принципов - и отношения к работе, которых она всегда придерживалась.

А.И. Угрюмов, *РГГМУ*

Н.А. Шестакова, *Гидрометцентр России*



Участники совещания-семинара по вопросу прогнозирования опасных гидрометеорологических явлений и оценке прогнозов погоды общего назначения 21–22 декабря 2005 г., Москва, Гидрометцентр России. В центре – Г.К. Веселова

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 миллиона 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 г.

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 использования метода 3D-Var и технологии на ее основе для решения оперативных задач, возложенных на Росгидромет;

- рекомендовать новую схему ОА 3D-Var 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-Var, организацию счета ОА 3D-Var на двух вычислительных платформах (для обеспечения «горячего» резервирования);

– ФГБУ «Гидрометцентр России» продолжить мониторинг показателей качества ОА 3D-Vар, включая оценку надежности выпуска продукции; результаты мониторинга представить на заседании ЦМКП во 2 квартале 2012 года для принятия решения о вводе технологии ОА 3D-Vар в оперативную эксплуатацию;

– рекомендовать авторам продолжить работу по совершенствованию технологии ОА 3D-Vар 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. *Tsyrlunikov 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.

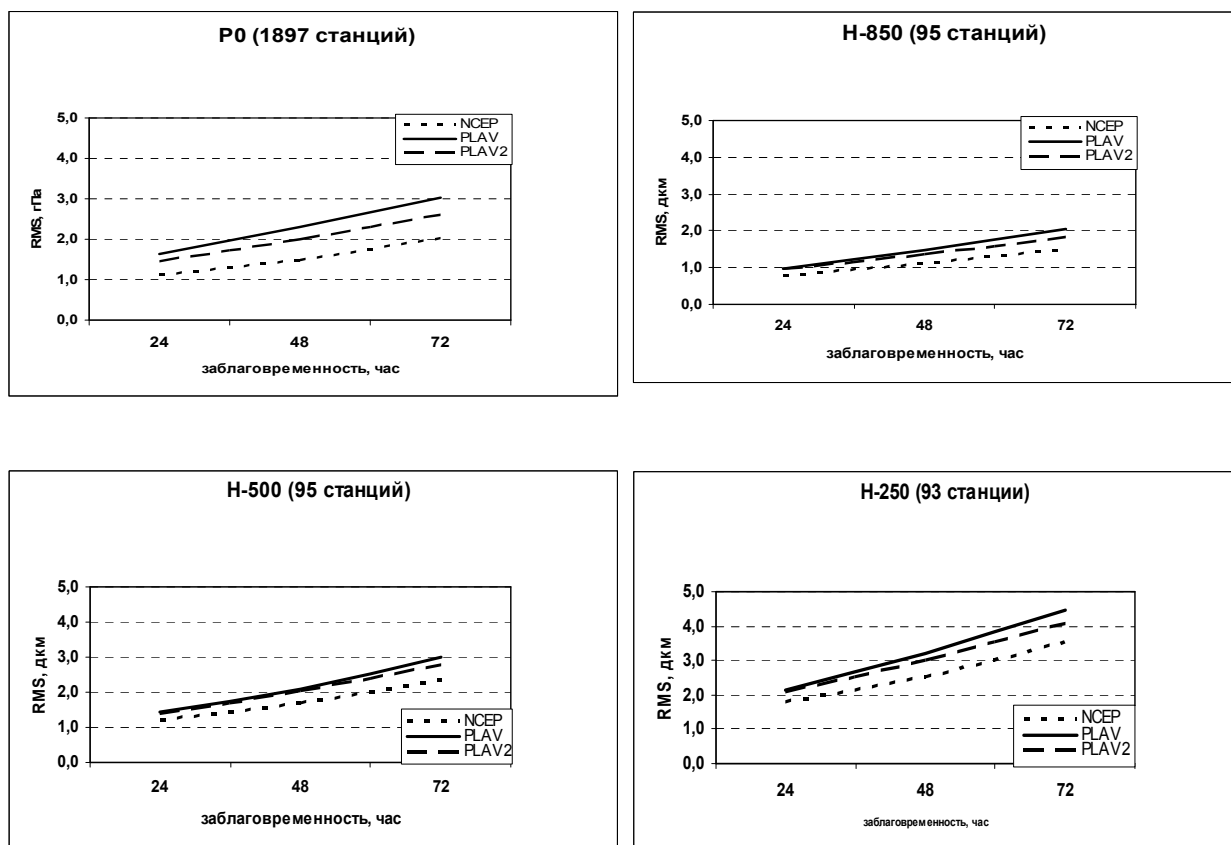


Рис. 1. Сравнение среднеквадратичных ошибок прогнозов давления на уровне моря и геопотенциала изобарических поверхностей 850, 500 и 250 гПа (PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).

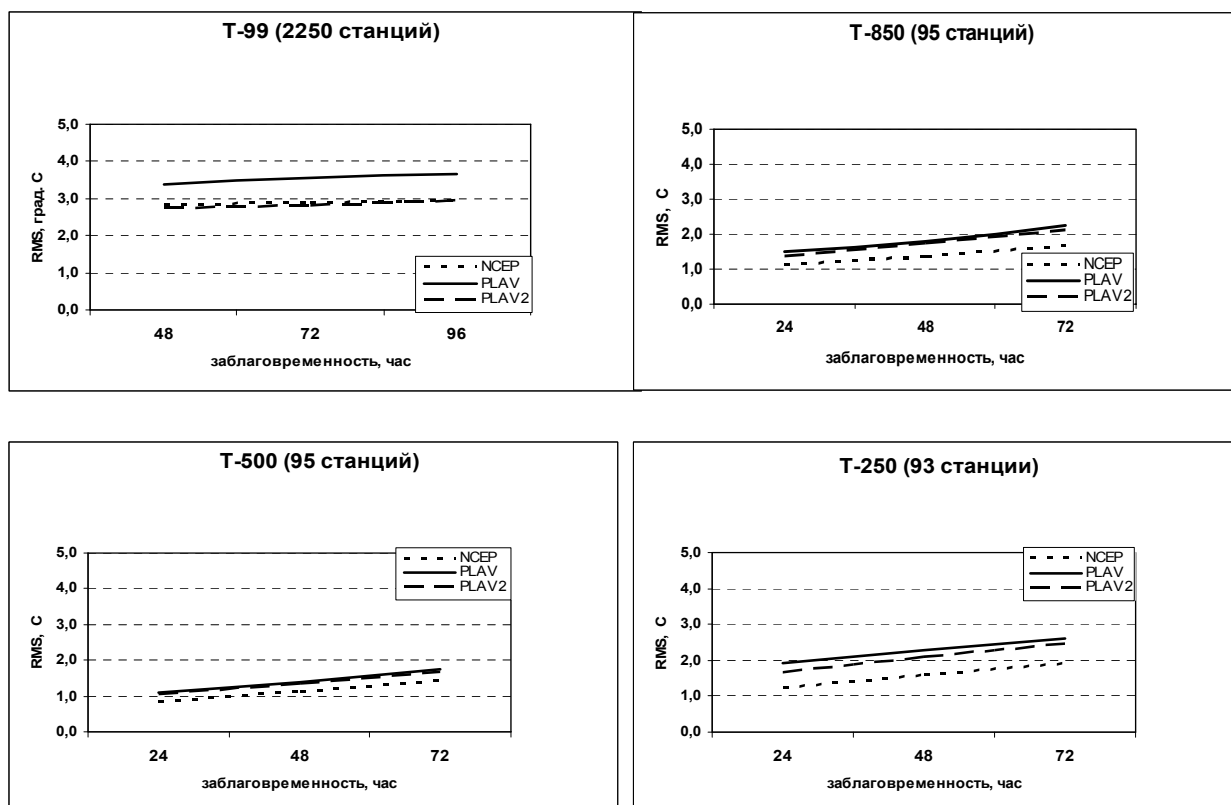


Рис. 2. Сравнение среднеквадратичных ошибок прогнозов температуры на уровне земли и на изобарических поверхностях 850, 500 и 250 гПа
(PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).

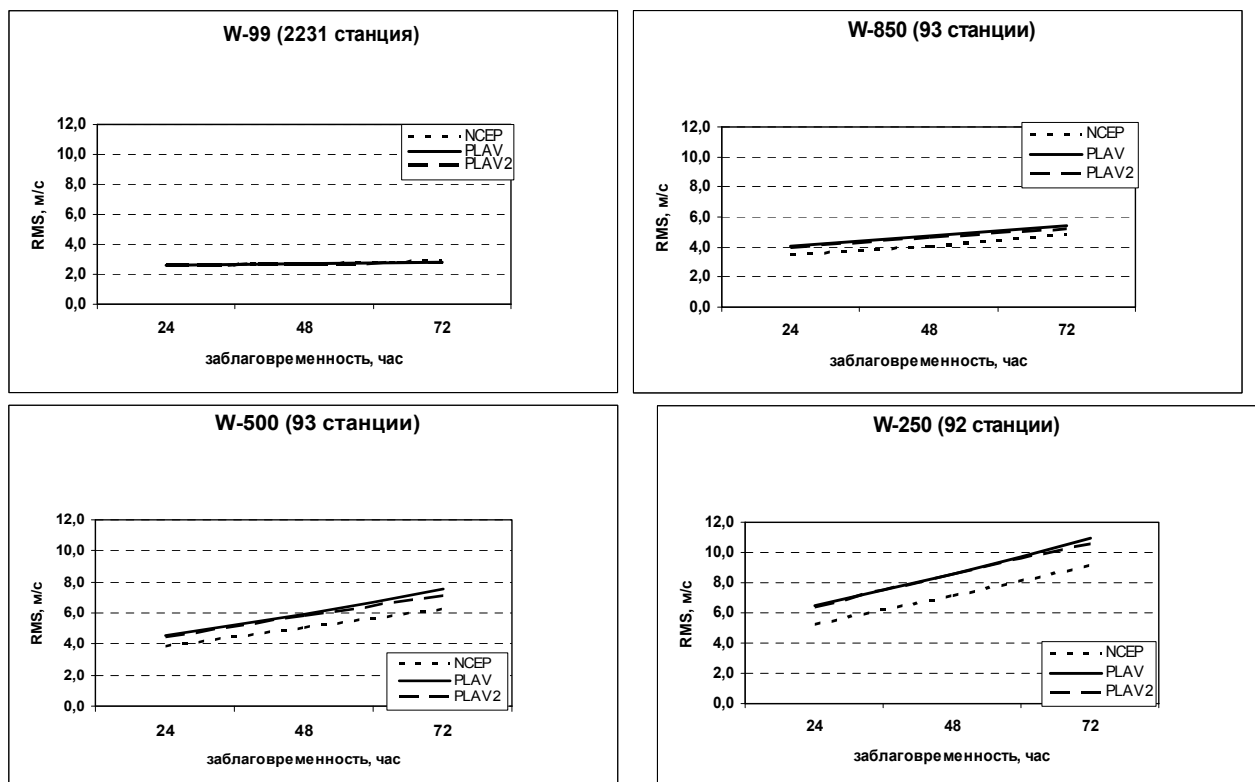


Рис. 3. Сравнение среднеквадратичных векторных ошибок прогнозов ветра на уровне земли и на изобарических поверхностях 850, 500 и 250 гПа
(PLAV – оперативный анализ, PLAV2 – испытываемый анализ).

МЕЗОМАСШТАБНАЯ МОДЕЛЬ COSMO-RU07 И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ОПЕРАТИВНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Введение

Начиная с сентября 2009 года в Гидрометцентре России на высокопроизводительной ЭВМ SGI Altix 4700 функционирует технология выпуска мезомасштабных гидродинамических прогнозов погоды по европейской части России COSMO-RU07 [2-3] на базе негидростатической модели COSMO. Модель COSMO развивается и поддерживается одноименным Европейским консорциумом по мезомасштабному моделированию [6]. По правилам консорциума, в который Росгидромет вошел в качестве полноправного члена с сентября 2009 года, Немецкая служба погоды (DWD) в оперативном режиме предоставляет из своей системы глобального моделирования начальные и боковые условия, необходимые для интегрирования мезомасштабной модели COSMO-RU. Примерно два раза в год происходит обновление версий модели с включениями новых алгоритмов и возможностей.

Распространение членам консорциума новых версий технологии (включающей модули подготовки стартовой информации, модели подготовки выходных данных) производится после детального тестирования новых или усовершенствованных алгоритмов рабочими группами консорциума, обсуждения результатов тестирования на совещаниях и принятия решений на Научном комитете о целесообразности включения модификаций в базовые версии модели. Кроме того, обязательно проводится тестирование программного обеспечения и оформления документации. Таким образом, новые распространяемые версии модели являются уже апробированными в рамках деятельности консорциума. Регулярно страны-члены консорциума в едином согласованном формате обмениваются данными об успешности моделирования COSMO в рамках своих национальных технологий. Сходство климатических условий России и стран Европейского консорциума позволяет с доверием относиться к новым версиям модели, прошедшим тестирование в рамках консорциума, при их реализации для прогнозирования по территории России.

Различия в национальных технологиях, реализуемых странами-членами консорциума на базе модели COSMO, заключаются в особенностях использования начальной информации. Это осуществляется либо на базе глобальной системы усвоения (DWD или других стран), либо с учетом дополнительного регионального усвоения данных, главным

образом синоптических и радарных. Последнее позволило в таких странах, как Германия, Швейцария и Италия, получать более высокие результаты успешности прогнозов по своим национальным технологиям на базе COSMO.

Следует отметить, что технологии COSMO-RU, функционирующие в Гидрометцентре России в оперативном режиме, во время проведения авторских, начиная с 2008 г., и оперативных испытаний 2010-2011 гг. работали без дополнительного блока регионального усвоения данных, следовательно, результаты этих испытаний можно интерпретировать как низший уровень успешности этих технологий.

На основе авторских испытаний, включавших, помимо стандартных количественных показателей, экспертные оценки синоптиков, были протестированы следующие версии конфигураций технологий моделирования COSMO-RU:

- COSMO-RU14 [2-3], шаг сетки 14 км (экспериментальный режим, 2008-2009 гг.);
- COSMO-RU07, шаг 7 км, (квазиоперативный режим, начиная с 2010 г.);
- COSMO-RU2.2, шаг 2.2 км, область интегрирования – Центральный федеральный округ, (квазиоперативный режим, начиная с 2011 г.).

На основе методического анализа результатов COSMO-RU было выявлено ряд особенностей продукции мезомасштабного моделирования, ее интерпретации, представления результатов и оценок успешности. Отметим, что ранее прогнозисты Росгидромета не имели опыта работы с продукцией мезомасштабного моделирования. В частности, была показана очевидность развития в Росгидромете новых подходов к верификации прогнозов элементов погоды как продукции мезомасштабного моделирования, с учетом большой пестроты воспроизводимых полей.

Поскольку нормативная база оценки успешности результатов мезомасштабного моделирования в нашей стране еще не создана, оперативные испытания технологии COSMO-RU07 проводились в Гидрометцентре России по существующим в настоящее время нормативам оценок численных и общего назначения прогнозов погоды для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 года) и холодного (с 1 октября 2010 г. по 25 марта 2011 года) периодов.

1. Система моделирования COSMO-RU

1.1. Краткие сведения о консорциуме COSMO

Международный консорциум COSMO (the Consortium for Small-scale Modelling) был основан в 1998 году метеослужбами Германии, Греции, Италии и Швейцарии. Позднее к

COSMO присоединились метеослужбы Польши (2002 г.), Румынии (2007 г.) и России (2009 г.).

Основная цель консорциума COSMO – развивать и поддерживать оперативную негидростатическую модель атмосферы для прогноза погоды для ограниченной территории и необходимые инфраструктурные компоненты. В основу негидростатической мезомасштабной модели, развиваемой этим консорциумом, легла разработанная в Метеослужбе Германии первая в мире **оперативная** негидростатическая мезомасштабная модель LM (Lokal Modell) с шагом сетки 7 км [9] (оперативное использование для выпуска прогнозов по Европе с 1999 г.). Впоследствии, начиная с 2008 г., вместо названия LM, по решению консорциума, стало употребляться название модели COSMO, одноименное с названием консорциума.

Выпуск оперативных прогнозов на основе модели COSMO в странах-членах консорциума базируется на применении данных для начальных и боковых граничных условий, полученных с помощью глобальной квазистатической модели атмосферы GME [8] (разработка Метеослужбы Германии) или с помощью глобальной модели IFS Европейского центра среднесрочных прогнозов (ЕЦСПП).

Обязательным условием участия национальных метеослужб в составе консорциума является непосредственное участие специалистов этих метеослужб в разработке алгоритмов и технологий моделирования COSMO. Это условие является большим стимулом для стран-участниц консорциума для работы над усовершенствованием модели на основе улучшения описания физических процессов, происходящих в атмосфере и прилегающем деятельном слое подстилающей поверхности, а также глубокого понимания алгоритмов, кодов и сопутствующих технологий (верификации, регионального усвоения данных, управления выполнением задач, диагностических расчетов). В свою очередь, это открывает возможность активного изучения самых последних результатов мирового метеорологического сообщества в данной области с быстрой его реализацией в национальных прогностических технологиях.

1.2. Общая характеристика модели COSMO

Негидростатическая атмосферная модель COSMO основана на системе термогидродинамических уравнений, описывающих сжимаемый поток воздуха во влажной атмосфере. Подробная документация модели приведена на сайте консорциума COSMO [7].

В странах консорциума в настоящее время, как правило, используются версии модели с шагами сетки 7 км (прогнозирование до 3 суток) по достаточно обширным территориям и использующие результаты этих вычислений в качестве боковых границ конфигурации

модели с разрешением сетки от 2,2 до 2,8 км (прогнозирование до 1–1,5 суток), причем пользователям предоставляются результаты моделирования по обеим конфигурациям, что дает возможность достаточно точно прогнозировать широкий диапазон погодных процессов.

1.2.1. Основные уравнения модели COSMO

В дальнейшем используем следующие обозначения:

t – время, с;

p – давление, Па = Н/м², $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \times \text{м}/\text{с}^2$ - единица силы;

ρ – плотность, кг/м³;

$\vec{V} = (u, v, w)$ – скорость, м/с;

T – температура, К;

T_c – температура, измеряемая в градусах Цельсия, °С;

g – ускорение свободного падения, $g \approx 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$;

$\vec{\Omega}$ – вектор угловой скорости вращения Земли, рад/с, $|\vec{\Omega}| \approx 7,292 \times 10^{-5} \text{ рад/с}$;

Q – приток тепла, Дж/кг, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \times \text{м} = 1 \text{ кг} \times \text{м}^2/\text{с}^2$;

R – удельная газовая постоянная, $R = 287 \text{ Дж}/(\text{К} \times \text{кг})$;

c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, $c_p = 1004 \text{ Дж}/(\text{К} \times \text{кг})$;

c_v – удельная теплоемкость при постоянном объеме, $c_v = 717 \text{ Дж}/(\text{К} \times \text{кг})$;

$\vec{F}_V$ – вектор силы, определяемый в дальнейшем при параметризации физических процессов;

θ – потенциальная температура, К.

Атмосфера в модели представлена как смесь сухого воздуха, водяного пара, жидкой и твердой фаз воды (последние две категории могут быть также разбиты на подкатегории: капли воды в облаках, дождевые капли, кристаллы льда, град и т.п.). Поэтому к приведенным основным уравнениям в модели COSMO добавлены еще и уравнения для всех фаз воды.

Система уравнений прогноза записывается в сферических координатах в системе географических координат со смещенным полюсом («сдвинутой» системе географических координат), в которых экватор перенесен в середину рассматриваемой области, что позволяет практически избежать искажений из-за схождения меридианов к полюсу.

Система уравнений модели, приведенная к координатам $(\lambda, \varphi, \zeta)$, где ζ – криволинейная орографическая координата, выглядит так:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial E_h}{\partial \lambda} - v V_a \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial u}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p'}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a} \frac{\partial E_h}{\partial \varphi} + u V_a \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial v}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho a} \left(\frac{\partial p'}{\partial \varphi} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} = & - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} u \frac{\partial w}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial w}{\partial \varphi} \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial w}{\partial \zeta} + \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + M_w + \\ & + g \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{(T - T_0)}{T} - \frac{T_0 p'}{T p_0} + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{\partial p'}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial p'}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial p'}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + g \rho_0 w - \frac{c_{pd}}{c_{vd}} p D, \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial T}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial T}{\partial \zeta} - \frac{1}{\rho c_{vd}} p D + Q_T, \quad (5)$$

$$\frac{\partial q^v}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^v}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^v}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial q^v}{\partial \zeta} - (S^l + S^f) + M_{q^v} \quad (6)$$

$$\frac{\partial q^{l,f}}{\partial t} = - \left\{ \frac{1}{a \cos \varphi} \left(u \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \lambda} + v \cos \varphi \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \varphi} \right) \right\} - \dot{\zeta} \frac{\partial q^{l,f}}{\partial \zeta} - \frac{g}{\sqrt{\gamma}} \frac{\rho_0}{\rho} \frac{\partial p_{l,f}}{\partial \zeta} + S^{l,f} + M_{q^{l,f}} \quad (7)$$

$$\rho = p \left\{ R_d \left(1 + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right) T \right\}^{-1}. \quad (8)$$

Здесь

$$B = g \frac{\rho_0}{\rho} \left\{ \frac{T'}{T} - \frac{T_0 p'}{T p_0} + \left(\frac{R_v}{R_d} - 1 \right) q^v - q^l - q^f \right\},$$

$$E_h = \frac{1}{2} (u^2 + v^2) - \text{кинетическая энергия горизонтального движения},$$

$$V_a = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) \right\} + f - \text{абсолютный вихрь},$$

$$\sqrt{\gamma} = \frac{\partial p_0}{\partial \zeta} - \text{модифицированный якобиан перехода к } \zeta - \text{координатам}.$$

Значения $\dot{\zeta}$ и D вычисляются по формулам:

$$\dot{\zeta} = - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \left(\frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} + g \rho_0 w \right), \quad (9)$$

$$D = \frac{1}{a \cos \varphi} \left\{ \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \frac{1}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \lambda} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) - \frac{\cos \varphi}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial p_0}{\partial \varphi} \frac{\partial v}{\partial \zeta} \right\} - \frac{g \rho_0}{\sqrt{\gamma}} \frac{\partial w}{\partial \zeta}. \quad (10)$$

Члены, обозначенные буквой M с символом, описывают приток из-за турбулентного перемешивания, переменные S^l и S^f описывают источники и стоки соответствующих

компонентов из микрофизики облаков на единицу массы сухого воздуха, член

$$Q_r \equiv \frac{1}{\rho c_{pd}} Q_h = \frac{L_v}{c_{pd}} S^l + \frac{L_s}{c_{pd}} S^f + M_r + Q_r$$

описывает неадиабатический приток тепла в Т-уравнении,

$$Q_r \equiv -\frac{1}{\rho c_{pd}} \nabla \cdot \bar{R}$$

описывает изменение температуры из-за притока/стока тепла за счет солнечной и тепловой радиации.

Если известны члены M_ψ , S^l и S^f , P^l и P^f , а также радиационный нагрев Q_r , то уравнения (1)–(8) составляют замкнутую систему, позволяющую рассчитывать и прогнозировать метеорологические величины u , v , w , T , p' , ρ , q^v , q^l и q^f .

Физическая часть модели содержит описание радиационных и конвективных процессов, процессов происходящих в облаках и деятельном слое почвы, осадков.

1.2.2. Сетка модели

Для решения непрерывных уравнений модели, применяется метод конечных разностей. Переменные модели заданы на сетке С по классификации Аракавы по горизонтали и на сетке Лоренца по вертикали: скаляры задаются в центрах ячейки, а нормальные компоненты скорости – на соответствующих гранях (рис. 1).

Согласно рис. 1, можно ввести следующие обозначения:

$$\begin{aligned} \psi_{i,j,k} &= \psi(\lambda_i, \varphi_j, \zeta_k), & \psi &= T, p', \rho, q^v, q^l, q^f, \\ u_{i\pm 1/2,j,k} &= u\left(\lambda_i \pm \frac{\Delta\lambda}{2}, \varphi_j, \zeta_k\right), \\ v_{i,j\pm 1/2,k} &= v\left(\lambda_i, \varphi_j \pm \frac{\Delta\varphi}{2}, \zeta_k\right), \\ w_{i,j,k\pm 1/2} &= w\left(\lambda_i, \varphi_j, \zeta_k \pm \frac{\Delta\zeta}{2}\right). \end{aligned} \tag{11}$$

1.2.3. Начальные и граничные условия

При моделировании на ограниченной территории лишь нижняя граница является физической. Верхняя и боковая границы области моделирования обычно задаются искусственно, и условия на них могут быть заданы по-разному, в зависимости от нужд конкретного приложения.

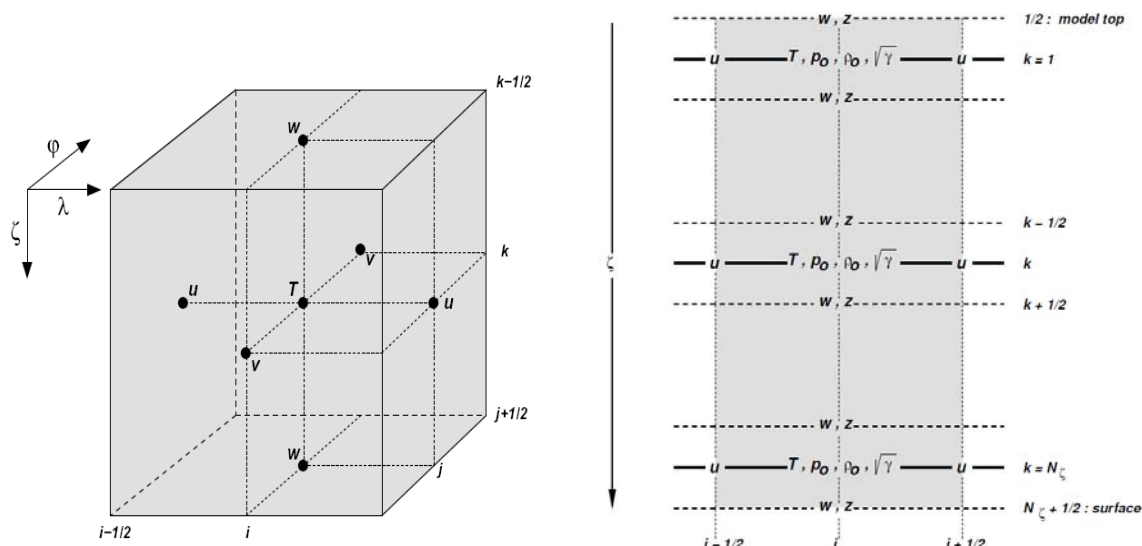


Рис. 1. Задание переменных на сетке Аракавы-С – Лоренца [7].

Начальные и граничные условия в технологиях COSMO обычно задаются интерполяцией данных, полученных из глобальной модели GME (Германия) или варианта модели COSMO с большим шагом сетки. Возможно использование данных и других систем глобального моделирования, например ЕЦСПП.

Основные особенности модели COSMO:

- модель является негидростатической и, следовательно, явно описывает конвективные движения (естественно, соответствующего масштаба, т.е. в первую очередь – процессы глубокой конвекции);
 - в модели используется сдвинутая сферическая система координат, в которой в качестве полюса выбирается такая точка, что экватор проходит через центральную часть области интегрирования. Благодаря этому расстояние между ближайшими узлами примерно постоянно для всей области интегрирования;
 - в качестве метода решения используется вариант метода расщепления, основанный на расщеплении по быстрым и медленным модам;
 - модель COSMO является совместной моделью атмосферы и деятельного слоя почвы.
- Схематично основные сведения о системе моделирования COSMO показаны на рис. 2.



Рис. 2. Система моделирования COSMO: входные данные, свойства и блоки модели.

1.3. Технология негидростатической системы краткосрочного прогноза погоды COSMO-RU Гидрометцентра России

Опытная эксплуатация в Гидрометцентре России технологии COSMO-RU (в каждой стране к имени модели добавляется две буквы из имени страны, поэтому в России версия функционирующей технологии имеет идентификатор COSMO-RU) началась с 2007 г, после того, как в соответствии с предложением Росгидромета в феврале 2007 года. Управляющий комитет консорциума COSMO принял решение о принятии России в его состав в качестве ассоциированного члена. Гидрометцентру России были предоставлены исходные коды модели COSMO и препроцессинга на языках программирования Фортран 90 и Си. С июля 2007 года. Немецкая служба погоды на регулярной основе в оперативном режиме начала передавать в Международный метеорологический центр «Москва» информацию о начальных и граничных условиях для модели COSMO-RU по данным прогноза по глобальной модели атмосферы GME [8] по согласованной с российской стороной области моделирования.

Имевшиеся в это время вычислительные ресурсы Гидрометцентра России позволили внедрить в квазиоперативном режиме модель COSMO с разрешением лишь 14 км (COSMO-RU14) для прогнозов на 78 ч. Сетка, используемая моделью COSMO-RU14, первоначально состояла из 168×300×40 узлов (168 узлов по параллели, 300 – по меридиану, 40 – количество уровней). В начале 2010 года область интегрирования была расширена до 350×310×40 узлов.

Для достаточно продолжительного периода опытной эксплуатации в квазиоперативном

режиме для версии COSMO-RU14 в 2008-2009 гг. были получены результаты апробации на основе анализа прогнозов в лаборатории методического сопровождения прогнозов погоды Гидрометцентра России. Была показана полезность прогнозов приземной температуры, по сравнению с доступными результатами глобальных моделей, а также – сильных снегопадов для субъектов федерации Центрального федерального округа [3]. При этом во время анализа синоптиками рассматривались успешность факта прогнозирования явления не в пунктах, а в заданных областях прогноза в их окрестностях. В этом случае, по сравнению с глобальными моделями, был получен вывод об однозначном преимуществе использования информации мезомасштабного моделирования.

С появлением в Гидрометцентре России новой суперЭВМ, на ней сразу же была реализована новая расширенная область интегрирования (рис. 3) модели COSMO-RU практически для всей Европы на сетке с шагом 7 км.

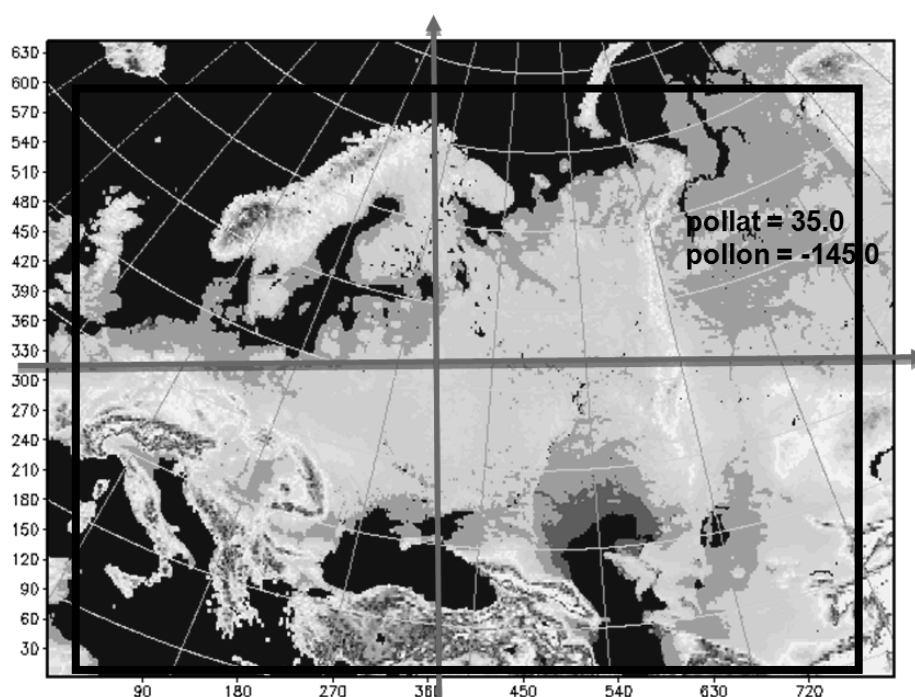


Рис. 3. Географическая и сдвинутая сферические системы координат и область интегрирования для модели COSMO-RU07.

Это позволило, во-первых, реально использовать возможность модели описывать негидростатические процессы (проявляющиеся, как правило, при шаге сетки не более 10 км), расширить область прогнозирования метеополей, уменьшить влияние более грубой детализации глобальной модели на границах области мезомасштабного прогноза на прогноз погоды для Европейской территории России, более полно воспроизводить метеорологические процессы, связанные с развитием синоптических образований, на

модельном пространстве с высокой детализацией.

В настоящее время область COSMO-RU07 включает в себя такие районы циклогенеза, как большая часть Средиземноморья, Черное, Норвежское и Баренцево моря. Кроме того, в область интегрирования включена вся акватория Балтики и Каспия.

Таким образом, после достаточно длительной апробации в квазиоперативном режиме с шагом сетки 14 км и отработки системы выпуска и распространения продукции в видах, адаптированных к использованию прогнозистами, в 2009 г. технология COSMO-RU была реализована на мощной вычислительной технике (ALTIX4700) для сетки с $700 \times 620 \times 40$ узлами и шагом 7 км. Прогнозы по модели COSMO данной конфигурации и анализировались во время оперативных испытаний в 2010-2011 гг.

На рис. 4 приводится информация о вертикальной структуре модели COSMO-RU07 (2011 г) на основе базовой версии 4.18 модели COSMO.

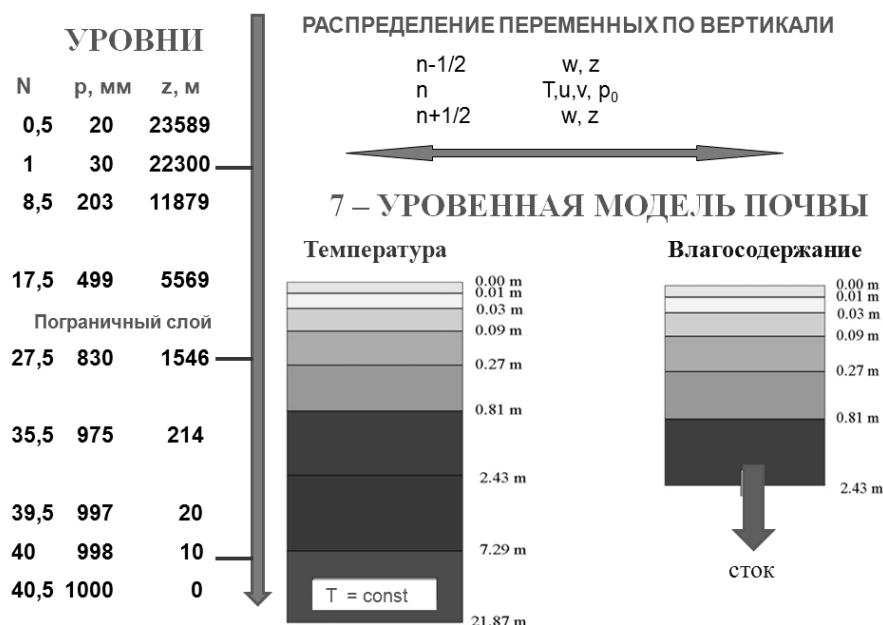


Рис. 4 . Расчетные уровни модели COSMO-RU07.

На рис. 5 приведены области интегрирования и основные характеристики технологии COSMO-RU Гидрометцентра России в 2011 г. Отметим, что в 2010–2011 гг. в экспериментальном режиме на фоне основного счета и инфраструктурных функций COSMO-RU07 были реализованы еще три экспериментальные технологии, также устойчиво регулярно формирующие прогностическую продукцию:

- технология COSMO-RU2.2-C – построенная на вложенной в COSMO-RU07 технологии выпуска прогнозов с шагом 2.2 км для Центрального федерального округа;
- технология COSMO-RU2.2-S – построенная на вложенной в COSMO-RU07

технологии выпуска прогнозов с шагом 2.2 км для Южного федерального округа, включающего в себя регион Сочи;

– технология COSMO-RU14-Sib – независимая от COSMO-RU07 технология выпуска прогнозов с шагом 14 км для Сибирского региона. Тождественная технология эксплуатируется в РСМЦ Новосибирск также в режиме регулярного счета.

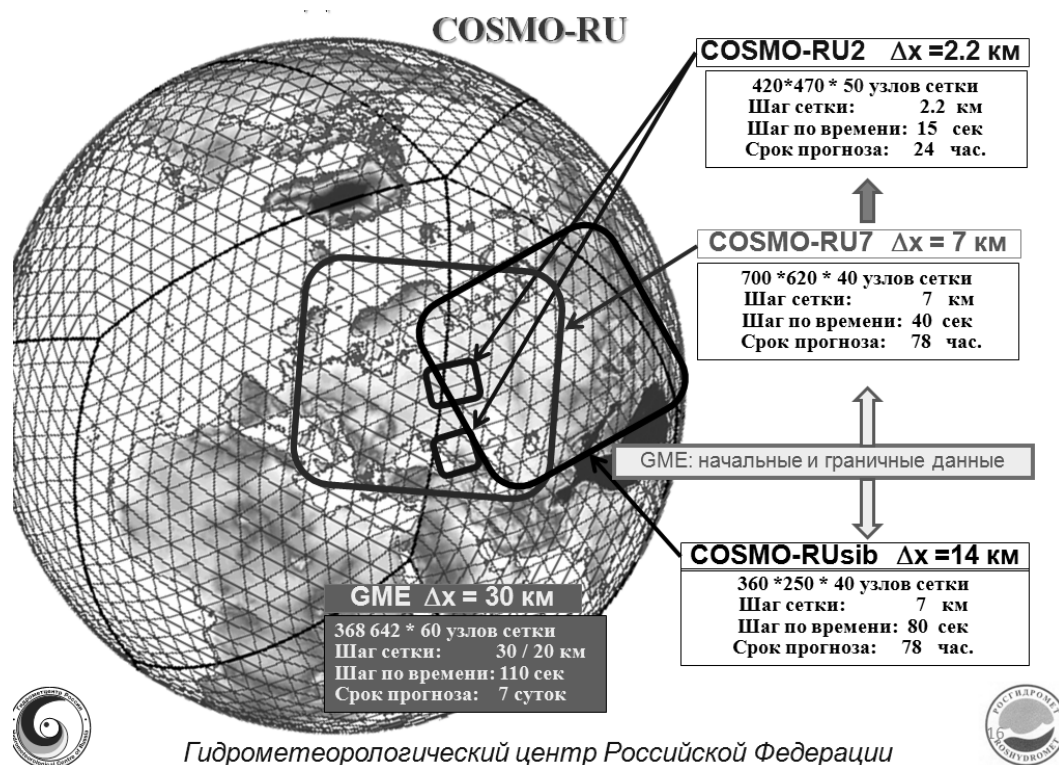


Рис. 5. Области интегрирования и характеристики систем прогноза погоды COSMO-RU, функционирующие в Гидрометцентре России.

Базовым элементом всех перечисленных технологий, представленных на рис. 5, является технологическая цепочка COSMO-RU07 (шаг сетки 7 км), см. рис. 6.

По технологии COSMO-RU07 прогнозы заблаговременностью до 78 ч вычисляются дважды в сутки по начальным данным за сроки наблюдений для 00 и 12 ч ВСВ с применением 800 ядер для распараллеливания вычислений. На рис. 6 время указано как отклонение от срока наблюдения.

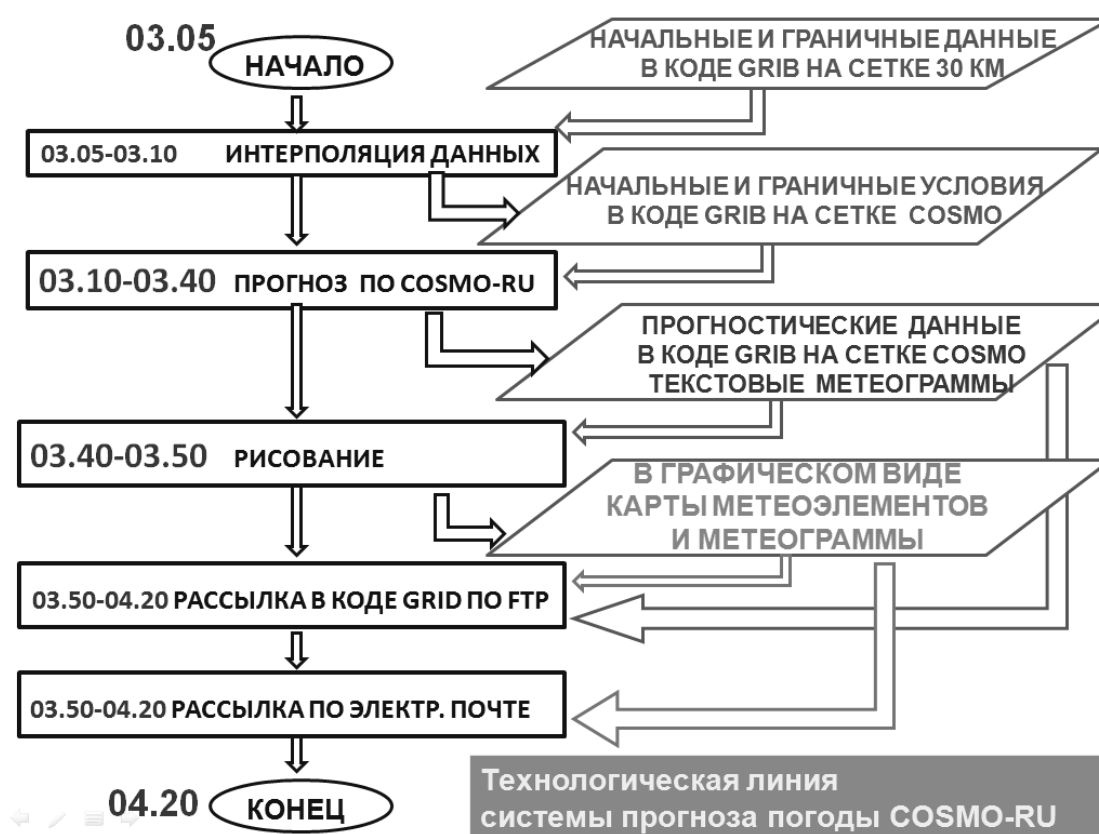


Рис. 6. Технологическая линия системы прогноза погоды COSMO-RU07.

1.4. Основные виды продукции COSMO-RU07 для распространения потребителям

С момента начала функционирования технологии COSMO-RU одним из актуальных вопросов стал вопрос об оптимальности предоставления потребителям продукции вычислений. Дело в том, что продукция мезомасштабного моделирования имеет на порядки большие объемы выходных данных (в силу высокого пространственно-временного разрешения), чем используемая традиционно продукция глобального моделирования. Для доведения до потребителя-прогнозиста продукции моделирования высокого разрешения (передачи ее по каналам связи, визуализации системами, рассчитанными на предварительное размещение информации в пользовательских базах данных) использование стандартных традиционных подходов оперативного информационного обеспечения Росгидромета оказалось либо недостаточно эффективным, либо невозможным.

Для быстрого доведения продукции до потребителя разработчиками COSMO-RU были предложены решения, основанные, во-первых, на использовании Интернет возможностей (FTP или электронной почты), во-вторых, распространении готовых файлов в графических форматах, наряду с возможностями предоставления комплектов GRIB файлов по согласованию с пользователями. Надо сказать, что подавляющее большинство

пользователей – прогностических центров Росгидромета остановили свой выбор на варианте готовой графической продукции.

Графическая продукция формируется в виде наборов карт для районов и различных комплектов прогностических полей: давления на уровне моря (у.м.) + осадков + облачности, высоты H500 + давления на уровне моря + приземной температуры, линий тока + модуля скорости ветра + порывов ветра и т.д. Карты формируются для прогнозов с дискретностью заблаговременностей в 3 часа.

Помимо карт, для отдельных пунктов производится формирование метеограмм в виде текстовых файлов и графиков временного хода метеорологических величин: скорости ветра и температуры воздуха: приземных и на нескольких уровнях до высоты 5 км, приземной точки росы, сумм осадков за час с учетом фазы, высоты условий конвекции. В 2011 г. по заявкам пользователей число пунктов, для которых формируются и рассылаются метеограммы, достигло 400 за один сеанс расчетов.

Дизайн всех видов карт и метеограмм детально обсуждался с синоптическими подразделениями Гидрометцентра России: отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений, лаборатории методического сопровождения прогнозов погоды и отдела морских гидрологических прогнозов. В ходе этих обсуждений одновременно проводился методический анализ информативности продукции COSMO-RU, выявлялись основные особенности интерпретации нового вида прогнозов.

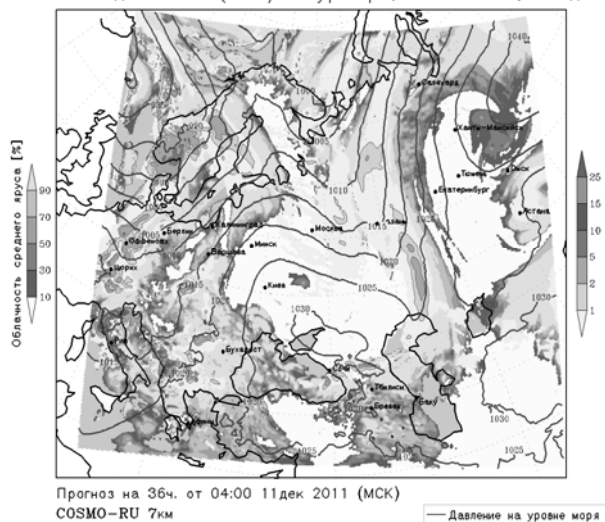
Все перечисленные виды графической продукции распространяются по FTP или электронной почте в течение 10 минут после окончания счета модели.

Примеры продукции технологии COSMO-RU приведены на рис. 7 и 8.

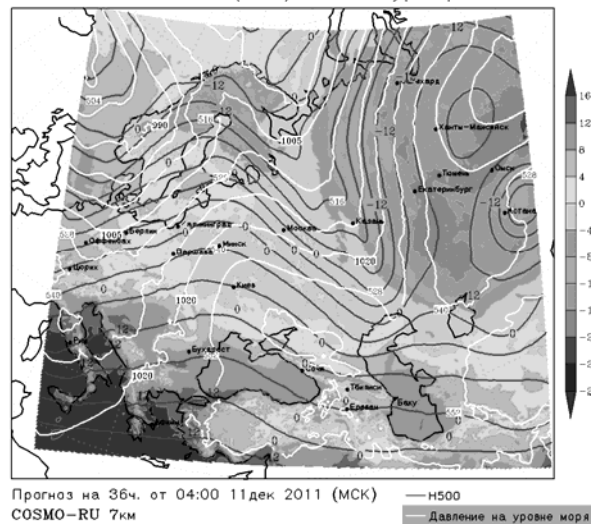
Помимо графических файлов, формируемых средствами GRADS, непосредственно после вычислений из выходных файлов модели средствами удаленного доступа производится перенос, раскодирование и запись информации в форме GRIB в пользовательские базы Гидрометцентра России, после чего продукция становится доступной всем технологиям Гидрометцентра России, сопряженным с этими базами данных.

Программы расчета оценок, по результатам которых были выполнены оперативные испытания, использовали продукцию моделирования, размещенную в пользовательских базах данных Гидрометцентра России.

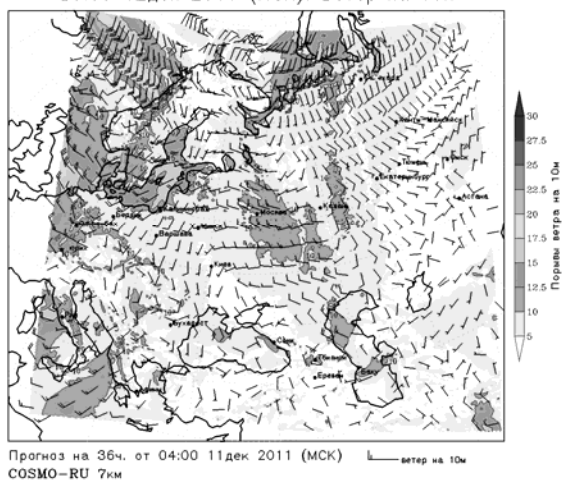
16:00 12дек 2011 (МСК): Р ур.моря, облачность, осадки



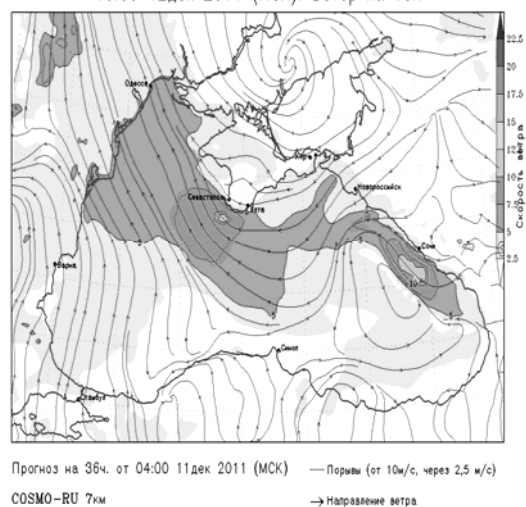
16:00 12дек 2011 (МСК): T2м, Р ур.моря, H500



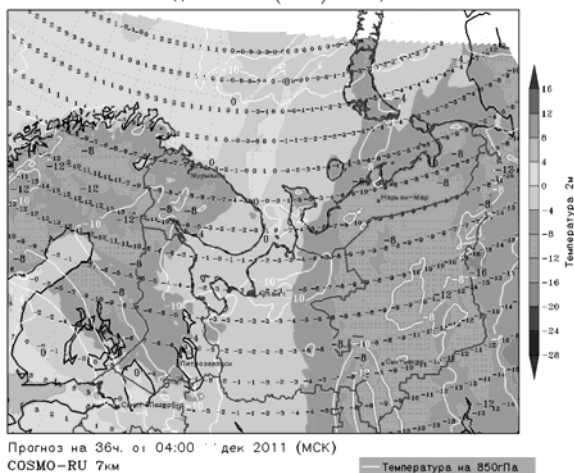
16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м



16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м



16:00 12дек 2011 (МСК): T2м, T850



16:00 12дек 2011 (МСК): Ветер на 10м

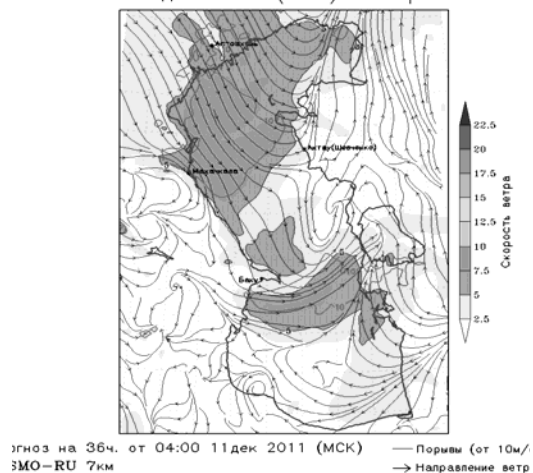


Рис. 7. Образцы продукции COSMO-RU в виде карт различных метеозлементов для разных регионов (выпускаются в цветном виде).

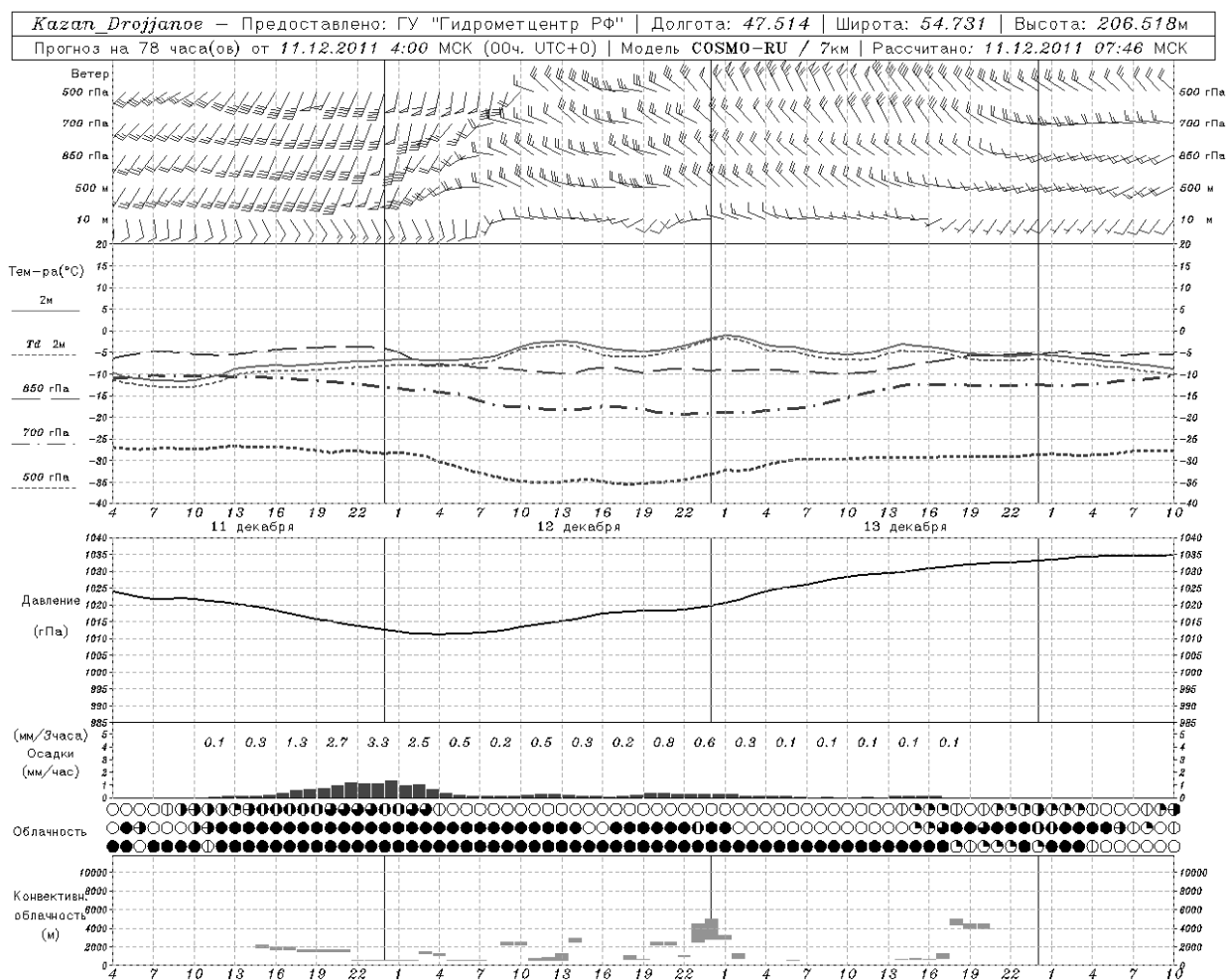


Рис. 8. Образец продукции COSMO-RU в виде метеограммы для конкретного пункта (выпускаются в цветном виде).

Условные обозначения приведены на полях рисунка.

2. Результаты оперативных испытаний системы моделирования COSMO-RU07

Согласно Плану оперативных испытаний на 2011 год, в Гидрометцентре России с мая 2010 по март 2011 года были проведены испытания прогнозов приземной температуры воздуха, точки росы, осадков и скорости ветра на высоте 10 м на основе эксплуатируемой в ФГБУ «Гидрометцентр России» модели атмосферы COSMO-RU07 с горизонтальным разрешением 7 км заблаговременностью прогнозов до 78 ч.

Ниже приводятся сведения в соответствии с пп. 3.1.1–3.1.9 Решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) от 13 апреля 2011 г. [5].

Прогнозы по модели COSMO-RU07 рассчитывались на суперкомпьютере SGI Altix 4700, заблаговременность прогнозов – до 78 ч, время счета – не более 35 мин при

использовании 800 процессоров. Исходными для прогноза являлись сроки 00 и 12 ч ВСВ. Область прогнозов охватывала Центральную Европу, Европейскую территорию России и Зауралье, шаг расчетной сетки составлял 7 км, модель имела 40 вертикальных уровней.

В качестве начальных и граничных условий для расчета прогнозов использовались данные метеорологического центра Немецкой службы погоды (DWD) для COSMO-RU07.

Одновременно с испытаниями создавалась технология автоматизированного формирования выходной продукции в коде GRIB, визуализации карт и метеограмм.

Сравнительная оценка прогнозов проводилась для теплого (с 1 мая по 30 сентября 2010 года) и холодного (с 1 октября 2010 по 25 марта 2011 года) периодов за исходный срок прогноза 00 ч ВСВ.

В период испытаний оперативный выпуск прогнозов по модели COSMO-RU07 имел место в 96 % случаев и не состоялся по различным причинам только в 4 % случаев, т.е. модель COSMO-RU07 удовлетворяет требованиям оперативной практики в части надежности и своевременности выпуска прогнозов.

Методика проведения испытаний предусматривала:

- оценку успешности прогнозов давления, приземной температуры воздуха, точки росы, ветра и осадков по данным сети метеорологических станций Европейской территории России (45–65° с.ш., 27–57° в.д., ~ 430 станций);

- сравнение с прогнозами ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба.

В сравнении участвовали следующие модели:

- 4 зарубежные глобальные модели (доступная продукция на основе раскодирования полей в коде GRIB с шагами сетки около 1,25x1,25° при шагах расчетов 35–40 км):

- 1) DWD (ФРГ),
- 2) JAPA (Япония);
- 3) NCEP (США),
- 4) UKMO (Великобритания);

- две отечественные глобальные модели:

- 5) спектральная (отв. – И.А. Розинкина), варианты:

- T169 (шаг сетки 72 км),

- T85 (шаг сетки 144 км);

- 6) PLAV (полулагранжева, отв. – М.А. Толстых, шаг сетки 70 км);

- 1 региональная модель:

- 7) Regi (отв. – В.М. Лосев, шаг сетки 50 км);

- три мезомасштабные зарубежные модели, прогнозы по которым рассчитывались в

Москве:

8) MM5K (шаг сетки 20 км, отв. – Г.Ю. Калугина, Московское ГМБ);

9) WRF-ARW, 4 варианта:

Ry20 (отв. – К.Г. Рубинштейн, шаг сетки 20 км),

Tros (отв. – И.В. Тросников, шаг сетки 20 км),

Zari (отв. – Р.Б. Зарипов, шаг сетки 20 км),

Zn03 (отв. – В.Д. Жупанов, Н.Ф. Вельтищев, шаг сетки 3 км);

10) COSMO (модель COSMO-RU07, отв. – Г.С. Ривин, шаг сетки 7 км).

Заметим, что, в отличие от остальных моделей, прогнозы по варианту Zn03 модели WRF-ARW (WRF-ARW-Zn03) из-за слишком большого требуемого машинного времени стартовали от срока 12 ч ВСВ.

Кроме оценок прогнозов полей метеорологических величин по указанным выше моделям, ниже в таблицах представлены оценки результатов расчетов прогнозов значений метеозадаментов непосредственно на станциях по предложенному в [1] и названному автором «методу ансамбля». Метод является вариантом метода MOS (Model Output Statistic), одновременно примененным к прогнозам соответствующих метеорологических величин двух-трех лучших (за исключением модели ЕЦСПП, распространение продукции элементов погоды по которой производится на коммерческой основе) на данный момент зарубежных глобальных моделей UKMO (Великобритания), NCEP (США) и JAPA (Япония). Соответствующие обозначения в таблицах AnUN, AnUNJ или AnNJ указывают на использованные в комплексировании модели.

Для получения оценок сравнивались проинтерполированные на станцию билинейным способом из узлов прогностической сетки значения метеозадаментов с фактическими их значениями, измеренными на этой станции.

Полученные оценки представлены в табл. 1–18.

Обозначения в табл.1–8 и 16–18: BIAS, RMS, ABS, OTNO, $\% \leq 1$, $\% \leq 2$, $\% \leq 3$ и $\% > 3$ соответствуют средней, среднеквадратической, средней абсолютной и относительной ошибкам, а также проценту прогнозов с ошибками меньше или больше некоторого порога (в гПа, °С или м/с); N – количество оцененных прогнозов (по числу станций). В табл. 13–15 по оценке ветра значения BIAS, RMS и ABS относятся только к скорости ветра, Vek.os, RMSv.os – векторная ошибка и среднеквадратическая величина векторной ошибки ветра.

В табл. 9–12 представлены оценки прогнозов осадков. Для оценки прогнозов осадков используют таблицу сопряженности (табл. 19).

Напомним, что количество осадков на станциях Европейской территории России измеряется за 12-часовые интервалы в 06 и 18 ч ВСВ. За факт осадков принимаются любые

осадки, в том числе и менее 0,1 мм/12 ч (так называемые «следы осадков»).

Обозначения в табл. 9–12 следующие: $N_{oc} = k_{01}/k_{00}$, $N_{bo} = k_{02}/k_{00}$ – число наблюдений, %, с осадками и без осадков; $F_{oc} = k_{11}/k_{10}$, $F_{bo} = k_{22}/k_{20}$ – оправдываемость, %, наличия и отсутствия осадков; $PC = k_{21}/k_{00}$ – число случаев, %, когда осадки не прогнозировались, а они наблюдались («пропуск цели»); $LT = k_{12}/k_{00}$ – число случаев, %, когда осадки прогнозировались, но не наблюдались («ложные тревоги»); $PIR = k_{11}/k_{01} - k_{12}/k_{02}$ – критерий Пирси-Обухова; критерий $ETS = (k_{11} - a)/(k_{11} - a + k_{12} + k_{21})$, где $a = (k_{11} + k_{12})(k_{11} + k_{21})/k_{00}$; $BIAS$ и ABS – средняя (систематическая) и средняя абсолютная ошибка прогноза осадков в мм/12 ч; N – общее число случаев (станций). Чем ближе к 1 критерии PIR и ETS , тем лучше прогноз; U – общая оправдываемость прогноза осадков, %, в соответствии с Наставлением [4] в зависимости от фазы наблюдаемых осадков.

Следует отметить, что у большинства мезомасштабных моделей атмосферы по различным техническим причинам ряд с прогнозами оказался неполным (они отмечены в табл. 1–18 знаками * или **, в этом случае результаты оценки недостаточно репрезентативны, особенно для моделей, отмеченных **).

Отдельно была проведена оценка прогнозов температуры и осадков модели COSMO-RU07 и варианту WRF-ARW-Zn03 по одинаковой длине выборки, т.е. по примерно в 1,7 раза меньшему количеству случаев. Результаты оказались весьма похожими на приведенные в табл. 4–12 (поэтому мы их здесь не помещаем).

Сравнение этих двух моделей показало следующее:

- прогнозы осадков обеих мезомodelей имеют достаточно высокую практическую значимость, при этом значения критерия качества Пирси-Обухова у модели COSMO-RU07 составляют 0,41–0,60, а у модели WRF-ARW-Zn03 – 0,37–0,55, т.е. в целом качество прогнозирования факта осадков несколько выше у модели COSMO-RU07; при этом абсолютные ошибки прогноза количества осадков у модели COSMO-RU07 оказались несколько меньше, чем у модели WRF-ARW- Zn03;

- прогнозы приземной температуры воздуха и точки росы по модели COSMO-RU7 и WRF-ARW-Zn03 имели близкое качество, при этом в разные сезоны года имелись небольшие преимущества либо у модели COSMO-RU7, либо у модели WRF-ARW-Zn03 (различия абсолютной ошибки находились в пределах 0,4 °C);

- прогнозы ветра по модели COSMO-RU07 имели преимущество перед соответствующими прогнозами WRF-ARW-Zn03.

Сравнительная оценка успешности прогнозов осадков и температуры воздуха отечественных и зарубежных моделей по полному ряду случаев показала следующее:

- прогнозы осадков по модели COSMO-RU07 оказались наиболее успешными среди

всех рассматриваемых моделей (включая оперативные зарубежные);

– абсолютные ошибки прогнозов приземной температуры воздуха по мезомасштабным моделям COSMO-RU07 и WRF-ARW-Zn03 оказались на 0,3–0,8 °С меньше, чем у отечественных глобальных моделей.

Отметим, что к сопоставлению результатов мезомасштабного моделирования с более гладкими полями, получаемыми по результатам глобального моделирования, следует относиться с осторожностью. Из-за высокой пространственно-временной изменчивости метеорологических полей, формируемых на основе мезомасштабного моделирования, могут возникать ситуации «двойных штрафов» за неточное попадание, в принципе, удачно спрогнозированного явления (или градации значений) в точки, для которых производятся оценки. В будущем представляется необходимым развитие систем верификации, учитывающих значения элементов в окрестностях точек сравнения.

Можно также отметить, что прогнозы на станциях по «методу ансамбля» MOS оказались наиболее успешными из всех рассматриваемых моделей.

3. Решение ЦМКП

ЦМКП констатировала (п. 3.1.9), что эксплуатируемые в ФГБУ «Гидрометцентр России» мезомасштабные модели атмосферы достигли определенных успехов в успешности прогнозов осадков, температуры и влажности воздуха, фонового приземного ветра.

ЦМКП решила (п. 3.2) рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России»:

– внедрить в оперативную практику в качестве базовой модель COSMO-RU07 для численного прогнозирования следующих метеорологических величин (полей и метеограмм): осадков, температуры и влажности воздуха, фонового приземного ветра;

– подготовить технологию распространения прогностической продукции модели COSMO-RU07 в прогностические подразделения УГМС/ЦГМС Европейской территории России;

– продолжить работу по развитию мезомасштабных моделей атмосферы с целью повышения качества прогнозов, а также для возможности прогнозирования опасных природных гидрометеорологических явлений и резких изменений погоды, в том числе на основе использования ансамблевого подхода;

– в течение года подготовить методическое письмо для пользователей-прогнозистов о новом виде прогностической информации высокого пространственного и временного разрешения с некоторыми рекомендациями по практическому использованию этой информации;

– продолжить работу по совершенствованию методики оценки качества прогнозов на

основе мезомасштабных моделей атмосферы.

ЦМКП решила (п.3.3) рекомендовать оперативно-прогностическим подразделениям Росгидромета использовать в практической работе выходную продукцию мезомасштабной модели COSMO-RU07.

Список литературы

1. *Багров А.Н.* Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба // Информационный сборник № 35. – 2008. – С. 3–20.
2. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Мезомасштабный краткосрочный прогноз погоды в Гидрометцентре России на примере COSMO-RU // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 1. – С. 5–17.
3. *Вильфанд Р.М., Ривин Г.С., Розинкина И.А.* Система COSMO-RU негидростатического мезомасштабного краткосрочного прогноза погоды Гидрометцентра России: первый этап реализации и развития // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 8. – С. 5–20.
4. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.
5. Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 13 апреля 2011 г. Раздел "Решения ЦМКП" сайта Методического кабинета Гидрометцентра России [http // method.hydromet.ru/](http://method.hydromet.ru/) (дата обращения: 12.12.2011).
6. COSMO: Consortium for Small-scale Modelling. URL: <http://www.cosmo-model.org> (дата обращения: 12.12.2011).
7. Description of the Nonhydrostatic Regional COSMO-Model. Part I-VII: сайт <http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/core/default.htm>
8. *Majewski D., D. Liermann D., Prohl P., Ritter B., Buchhold M., Hanisch T., Paul G., Wergen W.* The operational global icosahedral-hexagonal gridpoint model GME: Description and high-resolution test // Mon. Wea. Rev. – 2002. – Vol. 130, No. 2. – P. 319–338.
9. *Steppeler J, Doms G., Shaetler U., Bitzer H.W., Gassmann A., Damrath U., Gregoric G.* Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM. // Meteorol. Atmos. Phys. – 2003. – Vol. 82, No. 1. – P. 75–96.

Таблица 1

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 24 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% $\leq$ 1	% $\leq$ 2	% $\leq$ 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,64	1,24	0,97	0,20	62	91	98	2	146062
NCEP	-0,09	1,11	0,85	0,17	70	94	99	1	143116
JAPA	-0,54	1,27	0,98	0,20	62	90	98	2	145621
PLAV	-0,97	1,81	1,48	0,30	40	73	92	8	147838
Zn03**	-0,23	1,57	1,11	0,21	59	86	95	5	96633
COSMO	-0,07	1,52	1,15	0,23	55	85	95	5	144271

Таблица 2

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 36 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% $\leq$ 1	% $\leq$ 2	% $\leq$ 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,56	1,41	1,09	0,17	58	87	97	3	145566
NCEP	-0,17	1,45	1,10	0,17	58	86	96	4	142095
JAPA	-0,69	1,69	1,29	0,20	50	81	93	7	145572
PLAV	-1,04	2,17	1,72	0,27	37	66	85	15	147344
Zn03**	-0,17	1,94	1,42	0,21	48	77	90	10	83787
COSMO	-0,51	2,14	1,67	0,26	39	69	86	14	143775

Таблица 3

**Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 48 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% $\leq$ 1	% $\leq$ 2	% $\leq$ 3	% $>$ 3	N
UKMO	-0,87	1,81	1,42	0,19	44	76	92	8	146023
NCEP	-0,10	1,77	1,33	0,18	50	80	92	8	142566
JAPA	-0,55	1,95	1,47	0,20	46	75	90	10	145580
PLAV	-1,76	2,97	2,42	0,33	25	48	68	32	147799
Zn03**	-0,37	2,45	1,74	0,23	41	69	85	15	69092
COSMO	-0,10	2,49	1,91	0,26	36	63	80	20	142021

Таблица 4

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 24 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,88	2,41	1,79	0,59	41	67	82	18	145798
NCEP	−0,35	2,47	1,87	0,62	37	64	82	18	147228
DWD	0,72	3,03	2,32	0,77	31	55	72	28	142242
JAPA	1,70	3,41	2,38	0,79	36	59	73	27	144461
T85	−0,28	3,28	2,53	0,83	28	50	68	32	144458
T169	−1,06	3,33	2,50	0,83	29	52	69	31	137870
PLAV	0,41	3,53	2,79	0,92	24	45	62	38	145805
Regi	1,11	2,64	1,98	0,66	36	62	79	21	141329
MM5K	0,49	2,90	2,13	0,71	35	60	76	24	144461
Zari*	0,25	2,86	2,03	0,68	37	63	79	21	117227
Tros*	0,72	2,96	2,18	0,72	35	59	75	25	23428
Zn03**	−0,19	3,09	2,24	0,72	33	58	75	25	97445
Ry20*	−0,68	2,88	2,12	0,71	34	60	77	23	128226
COSMO	1,19	3,08	2,30	0,76	33	57	73	27	144458
AnUNJ	0,03	2,08	1,56	0,52	44	73	88	12	147906

Таблица 5

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 36 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	−0,02	2,29	1,71	0,23	41	69	84	16	142936
NCEP	−0,08	2,55	1,90	0,26	38	64	80	20	146145
DWD	−0,43	3,00	2,26	0,31	32	57	74	26	142495
JAPA	0,16	2,70	2,02	0,28	36	62	78	22	143389
T85	−0,28	3,47	2,67	0,37	26	48	66	34	143944
T169	−2,20	4,30	3,31	0,46	22	40	55	45	137217
PLAV	0,05	3,10	2,36	0,33	29	53	72	28	145179
Regi	0,23	2,46	1,83	0,25	39	66	82	18	140694
MM5K	−0,53	2,96	2,30	0,32	29	54	72	28	143831
Zari*	−0,60	2,95	2,24	0,30	30	56	74	26	115210
Tros*	0,55	2,76	2,12	0,30	33	58	76	24	125131
Zn03**	−0,08	2,87	2,06	0,28	36	61	78	22	84097
Ry20*	−0,69	2,71	2,11	0,28	31	57	76	24	127563
COSMO	−0,31	2,81	2,13	0,29	33	59	76	24	143830
AnUNJ	−0,01	2,03	1,51	0,21	45	74	88	12	147325

Таблица 6

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 48 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,98	2,64	1,98	0,49	37	62	79	21	145714
NCEP	−0,33	2,67	2,02	0,51	34	61	78	22	147786
DWD	0,78	3,18	2,45	0,61	29	52	69	31	142604
JAPA	1,93	3,67	2,61	0,65	32	54	69	40	143921
T85	−0,29	3,92	3,02	0,75	23	43	60	31	144363
T169	−1,13	3,70	2,82	0,70	25	46	63	37	137327
PLAV	0,68	3,82	3,03	0,76	21	41	58	42	145710
Regi	1,18	2,85	2,14	0,53	34	59	75	25	140807
MM5K	0,56	3,21	2,36	0,59	32	56	72	28	144366
Zari*	0,32	3,23	2,28	0,57	34	59	75	25	115858
Tros*	0,88	3,20	2,38	0,59	31	55	72	28	125695
Zn03**	−0,09	3,37	2,44	0,60	31	55	72	28	69801
Ry20*	−0,60	3,06	2,26	0,57	33	57	74	26	127686
COSMO	1,26	3,31	2,47	0,62	30	53	70	30	141693
AnUNJ	0,03	2,30	1,72	0,43	40	68	84	16	146916

Таблица 7

**Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 60 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	−0,01	2,62	1,97	0,26	36	63	79	21	141151
NCEP	−0,06	2,82	2,12	0,28	34	59	76	24	144362
DWD	−0,30	3,28	2,50	0,33	29	52	69	31	141613
JAPA	0,35	2,93	2,19	0,29	34	58	74	26	143391
T85	−0,26	4,08	3,17	0,42	22	41	57	43	143831
T169	−2,42	4,73	3,70	0,49	19	35	50	50	137028
PLAV	0,16	3,38	2,58	0,34	27	50	68	32	145181
Zari*	−0,74	3,36	2,56	0,33	27	50	68	32	114304
Ry20*	−0,80	3,03	2,36	0,30	28	52	71	29	126678
COSMO	−0,26	3,13	2,39	0,31	29	53	71	29	135343
AnUNJ	0,02	2,28	1,72	0,23	40	68	84	16	145517

Таблица 8

**Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 72 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,96	2,85	2,15	0,49	33	58	75	25	135605
NCEP	−0,39	2,96	2,22	0,50	32	57	75	25	141919
DWD	0,77	3,51	2,70	0,61	27	48	65	35	140508
JAPA	2,04	3,86	2,79	0,63	29	50	66	34	141391
T85	−0,28	4,54	3,51	0,79	20	38	53	47	141830
T169	−1,28	4,04	3,12	0,70	22	41	58	42	134372
PLAV	0,74	4,12	3,27	0,74	20	38	54	46	143182
Zari*	0,23	3,43	2,43	0,56	32	56	72	28	113351
Ry20*	−0,67	3,34	2,47	0,57	29	53	71	29	125223
COSMO*	1,34	3,57	2,70	0,62	27	49	65	35	120903
AnUNJ	0,04	2,54	1,91	0,43	37	63	81	19	142912

Таблица 9

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 18 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	77	40	60	37	35	3	25	0,30	0,50	0,66	1,14	141437
NCEP	82	40	60	36	42	5	18	0,39	0,59	0,42	0,99	142726
DWD	82	40	60	30	48	10	12	0,37	0,55	—	—	140176
JAPA	83	40	60	25	53	15	6	0,38	0,53	−0,73	0,77	141489
T85	80	40	60	17	55	23	4	0,23	0,35	−0,27	0,83	142352
T169	82	41	59	20	55	20	4	0,29	0,43	−0,08	0,86	136264
PLAV	81	40	60	28	47	12	13	0,32	0,49	0,05	0,86	142786
Regi	80	40	60	30	42	10	17	0,29	0,46	0,07	0,87	139334
MM5K	82	40	60	33	46	8	14	0,39	0,58	0,24	0,92	141917
Zari*	83	40	60	34	46	7	14	0,41	0,60	0,21	0,93	115404
Tros*	83	41	59	27	51	15	8	0,35	0,51	−0,16	0,73	124590
Zn03**	83	41	59	29	49	12	10	0,37	0,54	0,08	0,80	93705
Ry20*	82	39	61	32	45	7	15	0,38	0,57	0,34	0,98	124548
COSMO	83	41	59	32	47	8	12	0,42	0,60	0,09	0,82	141915
AnUN	85	40	60	32	50	9	10	0,44	0,61	0,01	0,70	143441

Таблица 10

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	80	36	64	32	43	4	21	0,34	0,55	0,37	0,89	141838
NCEP	82	37	63	32	45	5	19	0,37	0,58	0,20	0,82	142716
DWD	82	36	64	27	51	9	13	0,36	0,54	—	—	140529
JAPA	83	37	63	24	55	13	9	0,36	0,52	−0,67	0,71	140965
T85	81	37	63	18	57	18	6	0,27	0,40	0,03	0,93	142708
T169	81	37	63	22	55	15	7	0,33	0,48	0,33	1,05	136651
PLAV	83	37	63	26	50	10	13	0,34	0,52	−0,09	0,73	143146
Regi	79	37	63	28	43	8	20	0,27	0,46	0,15	0,87	139662
MM5K	82	37	63	29	47	8	16	0,35	0,54	0,11	0,81	142270
Zari*	81	37	63	32	45	5	18	0,35	0,56	0,17	0,88	114072
Tros*	83	38	62	26	52	11	11	0,35	0,52	−0,10	0,69	124036
Zn03**	83	37	63	28	51	9	12	0,37	0,55	−0,02	0,70	87132
Ry20*	82	36	64	29	47	7	18	0,33	0,53	0,04	0,77	124907
COSMO	83	37	63	29	51	8	12	0,41	0,59	0,19	0,85	140974
AnUN	85	37	63	29	52	8	12	0,42	0,60	−0,03	0,65	143701

Таблица 11

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 42 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	75	40	60	36	34	4	27	0,27	0,47	0,75	1,27	138810
NCEP	81	40	60	35	42	5	18	0,37	0,57	0,39	1,06	142292
DWD	81	40	60	30	47	10	13	0,36	0,54	—	—	137939
JAPA	83	40	60	26	51	14	9	0,35	0,51	−0,72	0,78	140547
T85	79	40	60	22	51	18	8	0,27	0,41	0,11	1,12	142283
T169	79	41	59	26	50	15	9	0,32	0,48	0,37	1,25	136209
PLAV	80	40	60	30	45	10	14	0,33	0,50	0,13	0,98	142721
Regi	78	40	60	30	42	11	18	0,27	0,43	0,06	0,98	139241
MM5K	80	40	60	32	45	9	15	0,35	0,53	0,26	1,05	141844
Zari*	79	40	60	34	40	6	19	0,34	0,53	0,29	1,10	113617
Tros*	81	41	59	28	47	13	12	0,32	0,48	−0,05	0,87	123651
Zn03**	81	41	59	31	46	10	13	0,36	0,53	0,11	0,95	72510
Ry20*	79	40	60	32	42	7	18	0,33	0,52	0,42	1,20	124534
COSMO	81	41	59	32	46	9	13	0,38	0,56	0,17	0,97	140979
AnUN	83	40	60	32	47	8	13	0,40	0,58	0,02	0,78	142960

Таблица 12

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 54 ч
в период с мая 2010 г. по март 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	83	36	64	21	56	16	8	0,30	0,44	−0,22	0,71	141085
NCEP	80	37	63	31	44	6	19	0,33	0,54	0,18	0,91	141538
DWD	79	37	63	27	48	10	15	0,31	0,49	—	—	135103
JAPA	82	36	64	23	53	13	10	0,32	0,47	−0,66	0,71	140228
T85	78	37	63	21	53	15	11	0,27	0,41	0,29	1,20	141526
T169	78	37	63	24	51	13	12	0,30	0,46	0,55	1,34	135103
PLAV	81	37	63	27	48	10	15	0,31	0,49	−0,03	0,84	141963
Zari*	79	37	63	31	41	6	22	0,29	0,49	0,18	0,97	112257
Zn03**	81	39	61	28	48	10	14	0,34	0,51	0,02	0,88	55926
Ry20*	80	36	64	29	44	7	20	0,29	0,49	0,04	0,87	123853
COSMO	80	36	64	27	50	9	14	0,35	0,53	0,29	1,01	136764
AnUN	82	37	63	29	48	8	15	0,35	0,54	0,11	0,85	141307

Таблица 13

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 24 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	1,31	1,99	1,63	2,17	2,50	21	129212
NCEP	1,05	1,83	1,46	2,01	2,34	15	127490
JAPA	−0,37	1,70	1,22	1,59	2,03	11	129212
PLAV	0,65	1,78	1,36	1,89	2,29	17	130953
Zn03**	1,88	2,56	2,09	2,64	3,06	33	85441
Ry20*	1,86	2,57	2,06	2,61	3,07	32	111102
COSMO*	1,37	2,21	1,70	2,28	2,79	22	119683
AnNJ*	0,07	2,09	1,18	1,61	2,43	10	115384

Таблица 14

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 36 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	0,83	1,91	1,46	2,29	2,70	25	128762
NCEP	0,45	1,77	1,32	2,15	2,58	21	127033
JAPA	−1,29	2,24	1,67	2,14	2,64	22	128762
PLAV	0,56	1,88	1,42	2,30	2,73	25	130502
Zn03**	2,01	2,86	2,30	3,20	3,69	49	73818
Ry20*	1,85	2,70	2,18	3,08	3,54	46	110594
COSMO*	1,20	2,44	1,75	2,68	3,33	33	119619
AnNJ*	−0,59	2,35	1,45	2,04	2,79	19	114835

Таблица 15

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 48 ч
в период с июня 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%>3	N
UKMO	1,34	2,08	1,69	2,29	2,63	24	129158
NCEP	1,04	1,88	1,50	2,12	2,46	18	127419
JAPA	-0,38	1,74	1,25	1,67	2,11	12	128723
PLAV	0,69	1,91	1,46	2,04	2,48	21	130889
Zn03**	1,93	2,69	2,18	2,84	3,31	38	60319
Ry20*	1,94	2,79	2,18	2,81	3,35	36	111019
COSMO*	1,44	2,32	1,80	2,47	2,96	27	117883
AnNJ*	-0,07	2,08	1,17	1,63	2,44	11	115324

Таблица 16

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 24 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,56	3,69	2,37	0,68	37	61	75	25	90581
NCEP	0,59	2,71	1,91	0,55	40	66	81	19	88416
JAPA	1,61	3,96	2,65	0,76	35	57	71	29	90581
PLAV	-0,62	3,21	2,50	0,71	26	49	68	32	90581
Zn03**	0,90	3,25	2,27	0,64	36	61	75	25	64679
Ry20*	0,54	3,11	2,22	0,64	35	60	76	24	76688
COSMO	0,68	2,86	2,03	0,58	38	64	79	21	87980
AnUN	0,09	2,78	1,95	0,56	38	64	80	20	90581

Таблица 17

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 36 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,32	3,04	2,16	0,50	35	61	77	23	89859
NCEP	1,33	2,96	2,19	0,50	35	59	74	26	87688
JAPA	1,24	3,34	2,38	0,55	33	57	73	27	89859
PLAV	0,49	2,92	2,25	0,52	31	55	73	27	89859
Zn03**	1,33	3,20	2,35	0,52	32	56	72	28	54720
Ry20*	1,35	3,06	2,28	0,52	33	56	73	27	75955
COSMO	0,70	2,70	1,99	0,46	37	62	78	22	87687
AnUN	0,10	2,61	1,86	0,43	37	64	81	19	89859

Таблица 18

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 48 ч
в период с сентября 2010 г. по март 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	0,69	3,30	2,34	0,50	34	58	73	27	90568
NCEP	0,659	2,97	2,11	0,46	37	62	77	23	88402
JAPA	1,73	4,29	2,94	0,63	31	53	67	33	90568
PLAV	-0,46	3,54	2,75	0,59	24	46	64	36	90568
Zn03**	1,12	3,68	2,60	0,55	32	55	70	30	45319
Ry20*	0,64	3,43	2,47	0,54	32	56	71	29	76679
COSMO	0,86	3,27	2,32	0,50	34	58	74	26	86255
AnUN	0,11	2,99	2,12	0,46	35	60	76	24	90568

Таблица 19

Таблица сопряженности для оценки прогнозов осадков

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с осадками	без осадков	
С осадками	k_{11}	k_{12}	k_{10}
Без осадков	k_{21}	k_{22}	k_{20}
Сумма	k_{01}	k_{02}	k_{00}

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ОСАДКОВ
С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТРЕХ ГРАДАЦИЯХ
(от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более)
НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12 И 24 Ч**

Испытания метода прогноза осадков проводились в ФГБУ «Гидрометцентр России» в теплый период года с 16 мая по 15 сентября 2009–2010 гг. Прогнозы рассчитывались в исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ (ЦФО) России, с заблаговременностью 12 и 24 ч. Расчет прогнозов осуществлялся в рамках единого программного комплекса прогноза опасных конвективных явлений на ЭВМ ИТАНИУМ, т.е. в едином программном комплексе сначала рассчитывалась региональная гидродинамическая модель метеоэлементов с шагом по горизонтали 75 км, а затем – модель конвекции и физико-статистический прогноз конвективных явлений. Прогноз осадков рассчитывался с ежечасной дискретностью, затем на основе ежечасных прогнозов давался прогноз осадков в градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на полусутки. В блоке расчета одномерной стационарной модели конвекции рассчитывались параметры конвекции. В блоке прогноза явлений дополнительно вычислялись необходимые предикторы и рассчитывались прогностические уравнения. Прогнозы передавались потребителю в виде автоматизированных карт.

Следует заметить, что территории областей различаются по площади. Так, например, территории Калужской и Липецкой областей включают в себя по пять узлов сетки модели, а Костромской и Тверской – 13 и 15 соответственно (Московская область – 8 узлов). Отметим, что страхование ущерба от опасных явлений (ОЯ) в ЦФО осуществляется по областному принципу, поэтому принцип оценки прогнозов ОЯ по областям уместен. Кроме того, данный принцип оценки прогнозов опасных конвективных явлений оправдан по причине редкой сети наблюдений за такими явлениями, в силу чего даже при таком подходе к оценке немалое количество явлений остается не замеченными официальной сетью наблюдений Росгидромета. Для оценки прогнозов осадков привлекались данные измерений осадков за

один срок: в 06 или 18 ч ВСВ за 12-часовой интервал с осадками от 11 мм/12 ч и более в соответствии с заблаговременностью прогноза. Кроме того, привлекались данные о количестве осадков из донесений с мест о происшедших опасных явлениях погоды. Прогноз считался оправдавшимся, если хотя бы в одном узле сетки модели, попадающем в рассматриваемую область, прогнозировалось явление соответствующей градации, и оно действительно наблюдалось в этой области хотя бы на одной станции или отмечалось в донесении из этой области. Но если хотя бы в одном узле модельной сетки, попадающем в рассматриваемую область, явление соответствующей градации прогнозировалось, но фактически не наблюдалось ни на одной станции и не отмечалось в донесении, то прогноз по данной области считался не оправдавшимся. Оценка проводилась по одинаковой методике: за 2009 год – вручную (из-за отсутствия прогнозов осадков в базе данных), а за 2010 год – автоматизированно. По этой же методике для сравнения была проведена оценка прогнозов сильных осадков (от 11 мм/12 ч и более) на 12 ч вперед за сезон 2010 года по моделям PLAV, COSMO-RU07 и региональной модели REGION, для исходного срока 00 ч ВСВ.

Основы метода прогноза осадков

Прогноз осадков является результатом комплексирования результатов двух методов прогноза: метода прогноза максимального количества осадков – основы прогноза во всех градациях; и альтернативного метода прогноза ливней градации ОЯ – уточняющего для градации 50 мм/12 ч и более.

Эмпирическая зависимость для прогноза смешанных (ливневых и обложных) осадков $Q_{\max 1}$, мм/12 ч:

$$Q_{\max 1} = 4,36 \cdot K_0 \cdot W_m, \quad (1)$$

где $K_0 = f(\sigma_{850})$ – коэффициент генерации осадков; σ_{850} – вертикальная скорость крупномасштабных движений (гПа/12 ч); W_m – максимальная конвективная скорость (м/с).

Эмпирическая зависимость для прогноза ливневых осадков $Q_{\max 1}$, мм/12 ч:

$$Q_{\max 1} = c \cdot W_m, \quad (2)$$

где c – эмпирический коэффициент, зависящий от влажности в слое 850–700 гПа и вертикальных крупномасштабных движений на поверхности 850 гПа.

Для расчета осадков средней интенсивности $Q_{\max 2}$ (мм/12 ч) в выше приведенные эмпирические зависимости введен коэффициент на интенсивность конвекции $l = f(W_m)$.

Окончательно эмпирическая зависимость для прогноза максимального количества осадков $Q_{\max}$ имеет вид:

$$Q_{\max} = Q_{\max 1} \cdot \lambda + Q_{\max 2} \cdot (1 - \lambda), \quad (3)$$

где λ – плотность конвективных струй.

Для прогноза осадков в градации 50мм/12 ч и более дополнительно применяется уточняющая дискриминантная функция L

$$L = f(W_m, T_d, \Delta P, d_{8-7}), \quad (4)$$

где T_d – температура точки росы у поверхности Земли; ΔP – лапласиан приземного давления (гПа/300 км²); d_{8-7} – средний дефицит точки росы в слое 850–700 гПа.

Примеры карт прогноза осадков с детализацией трех градаций приведены на рис. 1 и 2.

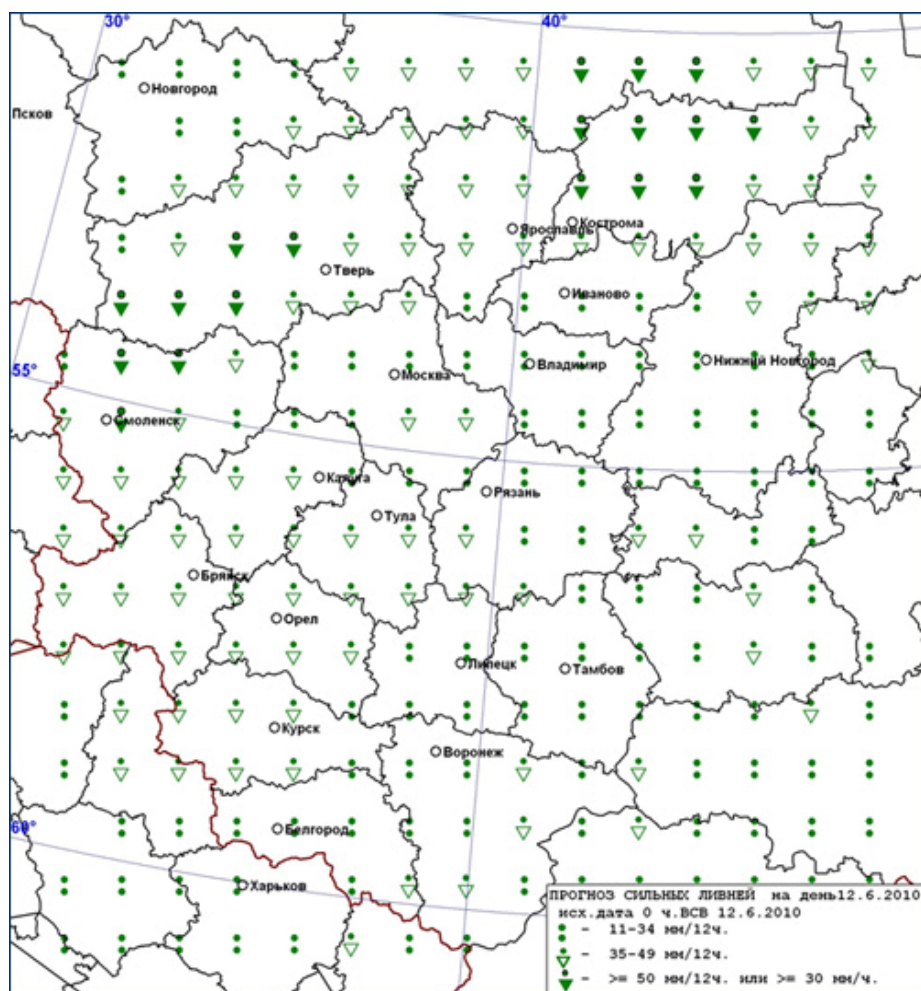
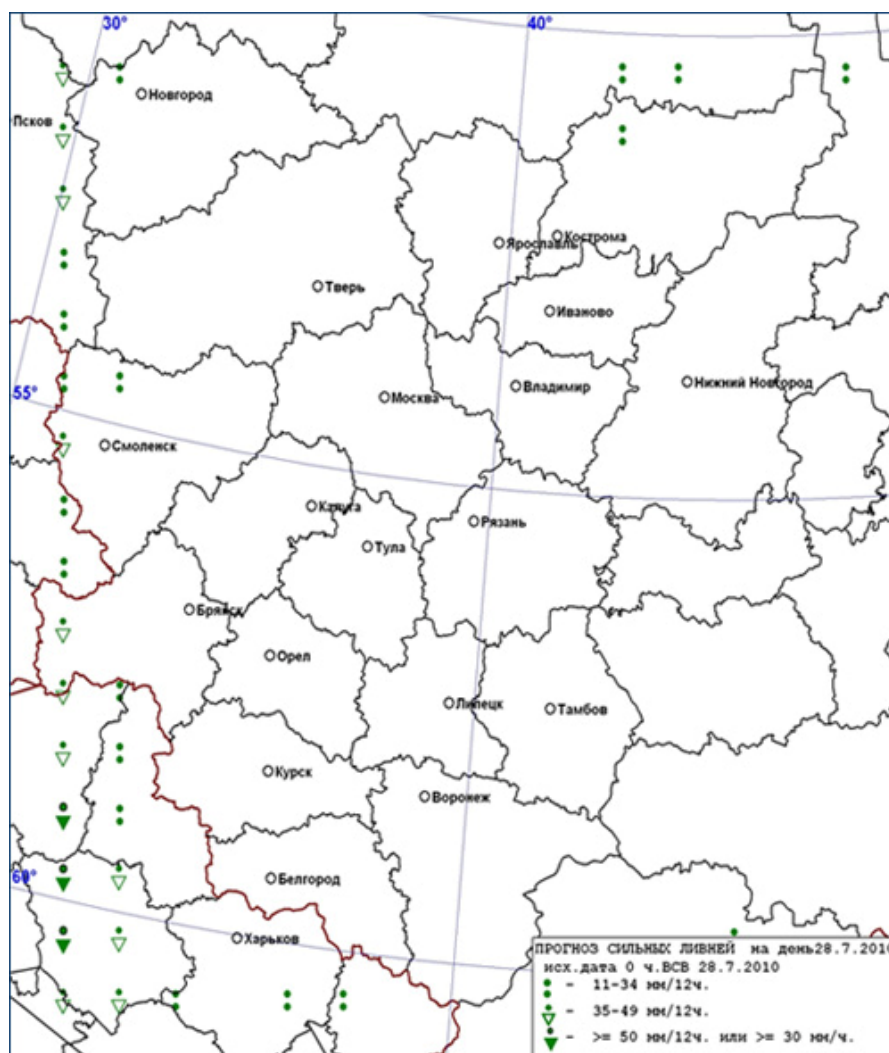


Рис. 1. Карта прогноза сильных ливней на день (период с 06 до 18 ч ВСВ)
12.06.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.



**Рис. 2. Карта прогноза сильных ливней на день (период с 06 до 18 ч ВСВ)
 28.07.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

В первом случае (12.06.2010 г.) осадки прогнозировались практически на всей территории ЦФО. Во втором случае (28.07.2010 г.) – лишь на западе рассматриваемого региона.

Фактически 12.06.2010 г. сетью наблюдений зафиксированы дневные полусуточные осадки: Костромская область – 39 мм, Ивановская область – 11 мм с градом диаметром 3–5 см, Ярославская область – 34 мм, Наро-Фоминск Московской области (данные из Интернета) – 14 мм с градом.

Фактически 28.07.2010 г. сетью наблюдений зафиксированы дневные полусуточные осадки: Брянская область – 30 мм.

Оценки успешности прогнозов ливней за летний период 2009–2010 гг.

Показатели успешности прогнозов ОЯ рассчитываются с помощью таблицы сопряженности (табл. 1).

Таблица 1

Таблица сопряженности

Прогноз	Фактическое количество случаев		Сумма
	с ОЯ	без ОЯ	
С ОЯ	k_{11}	k_{12}	k_{10}
Без ОЯ	k_{21}	k_{22}	k_{20}
Сумма	k_{01}	k_{02}	k_{00}

где k_{11} – явление прогнозировалось и наблюдалось;

k_{22} – явление не прогнозировалось и не наблюдалось;

k_{12} – явление прогнозировалось, но не наблюдалось («ложные тревоги»);

$k_{10} = k_{11} + k_{12}$ – общее число случаев, когда прогнозировалось явление;

k_{21} – явление не прогнозировалось, но наблюдалось («пропуск цели»);

$k_{20} = k_{21} + k_{22}$ – общее число случаев с прогнозом отсутствия явления;

$k_{01} = k_{11} + k_{21}$ – общее число случаев с наличием явления;

$k_{02} = k_{12} + k_{22}$ – общее число случаев с отсутствием явления;

$k_{00} = k_{01} + k_{02}$ или $k_{10} + k_{20}$ – общее число случаев.

Показатели успешности прогнозов рассчитываются по формулам:

– оправдываемость явления U_r , %

$$U_r = \frac{k_{11}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (5)$$

– предупрежденность явления P_r , %

$$P_r = \frac{k_{11}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (6)$$

– предупрежденность случаев без явления P_{or} , %

$$P_{or} = \frac{k_{22}}{k_{02}} \cdot 100; \quad (7)$$

– «ложные тревоги» с явлением LT_r , %

$$LT_r = \frac{k_{12}}{k_{10}} \cdot 100; \quad (8)$$

– «пропуск цели» PC_r , %

$$PC_r = \frac{k_{21}}{k_{01}} \cdot 100; \quad (9)$$

– критерий Пирси-Обухова T :

$$T = \frac{k_{11}}{k_{01}} - \frac{k_{12}}{k_{02}} \quad (10)$$

Показатели успешности прогнозов ливней рассматриваемым методом в градациях 11–34, 35–49 и ≥ 50 мм/12 ч за летний период 2009-2010 гг. представлены в табл. 2.

Результаты сравнительной оценки ливней в градации ≥ 11 мм/12 ч с заблаговременностью 12 ч от исходного срока 00 ч ВСВ по испытываемому методу, моделями PLAV, REGION и COSMO представлены в табл. 3. В матрице – количество областей.

Причины ложных тревог по испытываемому методу

1. Недостаточная для таких явлений, как сильный ливневой дождь, сеть наблюдений. Большая часть фактически осуществленных явлений, особенно не в жилых районах (лес, поле), не отражены в донесениях.

2. Плохо организованный обмен имеющейся информацией об ОЯ с другими ведомствами (например МЧС, страховые компании).

3. До сих пор в России нет базы данных ОЯ, пригодной для автоматизированной оценки прогнозов. Главной причиной непригодности имеющейся информации в донесениях об ОЯ для автоматизированной обработки является отсутствие точных данных о месте осуществления ОЯ (географических координат). В донесениях часто не указываются даже пункты осуществления ОЯ, ограничиваясь при этом перечислением нескольких областей (регионов ответственности), в которых местами осуществлялись ОЯ.

4. Начальными данными для региональной модели являются данные объективного анализа в достаточно грубой сетке (1.25°). В результате, на наш взгляд, в нескольких узлах модельной сетки метеорологические данные в тропосфере мало отличаются друг от друга,

т.е. они сглажены в результате принятых тех или иных приемов интерполяции. Поэтому уже на стадии объективного анализа метеорологические поля сглажены, особенно это важно для влажности, площадные особенности распределения которой в приземном слое в значительной степени влияют на образование опасных конвективных явлений.

5. Привязка прогнозируемых модельных полей по площади не всегда точна, т.е. в отдельных случаях прогнозируемые процессы (центры циклонов, антициклонов, особенности барических образований) несколько смещены по площади относительно фактических процессов. В результате этого бывают случаи, когда сильные ливни прогнозируются в соседних по отношению к факту областях.

6. Модельные прогнозы интенсивности процессов также сглажены по времени. Как показали оперативные испытания, опасные конвективные процессы наблюдаются на фронтах только в моменты максимального развития конвекции. А согласно прогнозу на основе модели такие явления прогнозируются и в соседних районах, где фронт проходил не в момент максимального развития конвекции. Поэтому при использовании прогнозов сильных ливней для консультации рекомендуется привязывать прогнозируемые зоны к линии фронта, проведенного синоптиком на основе анализа синоптической ситуации по всей доступной информации, а интенсивность прогнозируемого явления уточнять, учитывая момент максимального развития конвекции.

7. Отметим, что вся оценка велась по 17 областям ЦФО, что заметно огрубляет результаты оценки и делает ее не универсальной. В принципе такую оценку следует вести по узлам сетки прогноза (шаг сетки в данном случае 75 км) с привлечением наблюдений на станциях из некоторой окрестности узла (40 км). Однако в этом случае часть узлов (до 35 %) не будет включена в оценку, т.к. даже на этой хорошо освещенной территории в окрестности узла может не найтись ни одной станции.

8. В перспективе метод можно усовершенствовать. Усовершенствование необходимо как региональной модели, так и подходу к прогнозу явления.

Для этого необходимо:

- повысить пространственное разрешение региональной модели для прогноза конвективных явлений в ближайшее время до 25 км. Такое пространственное разрешение близко к размерам суперячейковых облаков и конвективных комплексов, с которыми связано возникновение опасных конвективных явлений. На данном этапе уже разработана новая версия региональной модели с пространственным разрешением 25 км, которая основные метеорологические поля прогнозирует с сопоставимой с зарубежными моделями точностью. Для использования данного варианта модели при прогнозе опасных конвективных явлений

необходимо решить проблему погашения коротковолновых осцилляций в полях вертикальных токов. Второй ближайшей задачей усовершенствования модели является переход к непосредственному расчету приземной влажности в комплексной модели;

– при усовершенствовании подходов к прогнозу явлений необходим более точный учет рельефа подстилающей поверхности, переход на использование модельной приземной влажности. Кроме того, необходимы дополнительные исследования причин «лишних тревог».

Таблица 2

Показатели успешности прогнозов ливней в грациях

11–34 мм/12 ч (1), 35–49 мм/12 ч (2) и ≥ 50 мм/12 ч (3) за теплый период 2009-2010 гг.

Градации осадков, мм/12 ч		Исходный срок прогноза (BCB)	Заблаговременность прогноза, ч (время суток)	U_r	P_r	P_{or}	PC_r	LT_r	T
Без разделения	≥ 11 (1,2,3)	00 ч	12 (день)	17	94	48	6	83	0,42
	≥ 35 (2,3)	00 ч	12 (день)	3	89	74	11	97	0,63
Строго по грациям	11-34 (1)	00 ч	12 (день)	11	52	59	48	88	0,11
	35-49 (2)	00 ч	12 (день)	2	62	79	38	98	0,40
	≥ 50 (3)	00 ч	12 (день)	2	47	92	53	98	0,39
Без разделения	≥ 11 (1,2,3)	12 ч	12 (ночь)	13	91	53	9	87	0,44
	≥ 35 (2,3)	12 ч	12 (ночь)	3	85	78	15	97	0,63
Строго по грациям	11-34 (1)	12 ч	12 (ночь)	10	57	63	43	90	0,19
	35-49 (2)	12 ч	12 (ночь)	2	73	79	27	98	0,52
	≥ 50 (3)	12 ч	12 (ночь)	1	18	96	82	99	0,14
Без разделения	≥ 11 (1,2,3)	00 ч	24 (ночь)	14	92	55	8	86	0,47
	≥ 35 (2,3)	00 ч	24 (ночь)	2	82	73	18	98	0,55
Строго по грациям	11-34 (1)	00 ч	24 (ночь)	9	45	69	55	90	0,13
	35-49 (2)	00 ч	24 (ночь)	1	54	77	46	99	0,31
	≥ 50 (3)	00 ч	24 (ночь)	2	42	92	58	98	0,34
Без разделения	≥ 11 (1,2,3)	12 ч	24 (день)	17	94	48	6	83	0,42
	≥ 35 (2,3)	12 ч	24 (день)	2	77	72	23	98	0,49
Строго по грациям	11-34 (1)	12 ч	24 (день)	12	49	62	51	88	0,11
	35-49 (2)	12 ч	24 (день)	1	48	79	52	99	0,26
	≥ 50 (3)	12 ч	24 (день)	2	56	89	44	98	0,45

**Результаты сравнительной оценки прогнозов ливней в градации ≥ 11 мм/12 ч
с заблаговременностью 12 ч от исходного срока 00 ч ВСВ по испытываемому методу и
моделями PLAV, REGION, COSMO за теплый период 2010 г.**

Способ прогноза и модели	Матрица случаев прогноза	U_r	P_r	P_{or}	PC_r	LT_r	T
Испытываемый метод	179 972 1151 19 921 940 198 1893 2091	15	90	49	10	84	0,39
PLAV	26 11 37 141 1896 2037 167 1907 2074	15	16	99	84	30	0,15
REGION	27 25 52 140 1882 2022 167 1907 2074	14	16	99	84	48	0,15
COSMO	30 46 76 137 1861 1998 167 1907 2074	14	18	98	82	61	0,16

Рекомендации о внедрении

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) **отмечает:**

– в ФГБУ «Гидрометцентр России» разработан метод прогноза осадков с детализацией интенсивности по 3-м градациям (от 11 до 34, от 35 до 49 и 50 мм/12 ч и более), использующий выходные данные региональной модели атмосферы с горизонтальным разрешением 75 км и включающий расчет параметров конвекции с помощью одномерной стационарной модели конвекции и прогноз осадков с применением физико-статистического подхода;

– прогнозы осадков рассчитываются с заблаговременностью 12 и 24 ч два раза в сутки (исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ), в автоматизированном режиме наносятся на карты в условных обозначениях градаций, которые передаются потребителю, в условных цифрах записываются в базу данных;

– оперативные испытания метода проводились для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ России (ЦФО), в теплый период (с 16 мая по 15 сентября) 2009-2010 гг.;

– для оценки прогнозов осадков по территории областей привлекались данные измерений осадков на метеорологических станциях за 12-часовой интервал в сроки 06 ч ВСВ

(ночное время) и 18 ч ВСВ (дневное время), и, кроме того, значения сильных осадков из донесений с мест о наблюдавшихся опасных явлениях погоды;

- прогнозы осадков в 2009 году оценивали вручную, в 2010 году – с помощью специально созданной автоматизированной технологии, включающей данные наблюдений на метеорологических станциях, а также использовали информацию из присланных донесений об ОЯ;

- число случаев с осадками количеством ≥ 50 мм/12 ч составило 11–17, что менее 0,5 % общей выборки, поэтому результаты испытаний прогнозов в градации ОЯ оказались статистически не обеспечены;

- анализ полученных результатов испытаний показал, что метод прогнозирует отсутствие ОЯ с оправдываемостью 92–98 %, предупрежденность случаев наличия ОЯ колеблется в пределах от 50–90 %, а значения критерия качества Пирси-Обухова, равные 0,4–0,6, свидетельствуют о практической значимости данных прогнозов, при этом отмечено значительное количество «ложных тревог», что является основным недостатком метода;

- сравнение показателей успешности прогнозов осадков количеством ≥ 11 мм/12 ч, рассчитанных на основе данного метода и гидродинамических моделей атмосферы (COSMO, PLAV и REGION) в летний сезон 2010 г., показало, что метод и модели имели невысокие (около 15 %) оправдываемости прогнозов с осадками, однако предупрежденность выпадения осадков, а также величины критерия качества Пирси-Обухова у испытываемого метода были существенно выше (90 % и 0,39), чем у рассмотренных гидродинамических моделей атмосферы (16–18 % и 0,15–0,16);

- в целях развития методики оценки качества методов прогнозирования опасных явлений погоды и самих методов необходимо усовершенствовать технологию сбора данных наблюдений за ОЯ с привлечением максимального количества источников информации (включая другие ведомства) с обязательным указанием географических координат.

ЦМКП рекомендует:

- ФГБУ «Гидрометцентр России» внедрить в оперативную технологию автоматизированный метод прогноза осадков с детализацией интенсивности в двух градациях (от 11 до 34 и ≥ 35 мм/12 ч) с заблаговременностью 12 и 24 ч и обеспечить передачу прогнозов в летний период в прогностические организации Центрального и Центрально-Черноземного УГМС;

- прогностическим организациям Центрального и Центрально-Черноземного УГМС использовать в оперативной практике данные прогнозы в качестве фоновых для последующего их уточнения на текущих материалах.

ЦМКП рекомендует авторам метода:

- подготовить описание метода с результатами оперативных испытаний и рекомендациями о практическом использовании; материалы разместить на сайте Методического кабинета Гидрометцентра России;
- продолжить работу по развитию метода прогноза осадков в градации опасных явлений погоды, в том числе с использованием информации доплеровского МРЛ, с целью повышения успешности прогнозов.

Список литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е.* Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. – С. 147–159.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МЕТОДА ПРОГНОЗА ШКВАЛОВ
С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ В ТРЕХ ГРАДАЦИЯХ
(от 20 до 24, от 25 до 32, 33 м/с и более)
НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12 И 24 Ч**

Испытания метода прогноза шквалов проводились в ФГБУ «Гидрометцентр России» в теплый период года (с 16 мая по 15 сентября) 2009–2010 гг. Прогнозы рассчитывались в исходные сроки 00 и 12 ч ВСВ для 17 областей, входящих в Центральный федеральный округ (ЦФО) России, с заблаговременностью 12 и 24 ч. Расчет прогнозов осуществлялся в рамках единого программного комплекса прогноза опасных конвективных явлений на ЭВМ ИТАНИУМ, включающего расчет полей метеорологических элементов оперативной региональной моделью Гидрометцентра России с шагом по горизонтали 75 км, параметров конвекции – одномерной стационарной моделью конвекции и шквалов – физико-статистическим подходом на основе модельных данных. Прогноз шквалов рассчитывался с ежечасной дискретностью. На основе ежечасных прогнозов формировался прогноз шквалов градаций (от 20 до 24, от 25 до 32 (градация опасных явлений – ОЯ), 33 м/с и более (градация «ураган»)) на полусутки. Прогнозы с заблаговременностью 12 и 24 ч рассчитывались, записывались в базу данных (БД) Гидрометцентра России, автоматизированно визуализировались в виде карт и передавались потребителю два раза в сутки. Прогнозы шквалов записывались в БД в условных цифрах, при визуализации использовались принятые для обозначения значки. Условные цифры: 0 – отсутствие в прогнозе явления, 1 – шквал со скоростью ветра 20–24 м/с, 2 – шквал со скоростью ветра 25–32 м/с, 3 – шквал ураганной скорости ветра (33 м/с и более).

Оценка прогнозов шквалов по областям аналогична оценке прогнозов осадков по принципу, изложенному в статье А.А. Алексеевой и др. настоящего сборника [2]. При оценке прогнозов шквалов использовались данные измерений о ветре на метеорологических станциях. Напомним, что направление и скорость ветра на станциях измеряются с помощью

анемометра на высоте 10 м с автоматическим осреднением данных за 10 мин, предшествующих сроку наблюдения – это и есть «средний» ветер. Кроме того, анемометр регистрирует и порывы ветра, как в срок наблюдения, так и между сроками. Станция обязана передавать сведения о сильных порывах ветра (≥ 18 м/с) в дополнительной группе кода КН–01.

Таким образом включались, как правило, данные о порывах ветра между сроками, которые сообщаются метеорологическими станциями в виде дополнительной информации о погоде (выбирались случаи со скоростью ветра 18 м/с и более). Для оценки брались данные за 4 срока подряд. Например, при прогнозе на дневное время привлекались данные о порывах ветра за сроки 09, 12, 15 и 18 ч ВСВ, при прогнозе на ночь – за сроки 21, 00, 03 и 06 ч ВСВ. Кроме того, привлекались значения скорости ветра из донесений с мест о наблюдавшихся опасных явлениях погоды. В этом случае скорость ветра определялась по произведенным разрушениям и повреждениям (шкала Бофорта), приблизительно определялись и координаты осуществления явления. Данные о ветре из донесений в выборке за один летний сезон составили 10 % всех случаев, это, как правило, данные о шквалах градации ОЯ и «ураган». По этой причине результаты испытаний прогнозов шквалов в градации ОЯ, тем более в градации «ураган», оказались статистически не обеспечены. Прогноз считался оправдавшимся, если хотя бы в одном узле области прогнозировалось явление соответствующей градации, и оно действительно наблюдалось в этой области хотя бы на одной станции или отмечалось в донесении из этой области. Но если хотя бы в одном узле области прогнозировалось явление соответствующей градации, но оно не наблюдалось ни на одной станции и не отмечалось в донесении, то прогноз по данной области считался не оправдавшимся. Оценка прогнозов проводилась по одинаковой методике: в 2009 году вручную (из-за отсутствия прогнозов в БД), а в 2010 году – с использованием автоматизированной технологии.

Основы метода прогноза шквалов

Метод был разработан по принципу «идеального прогноза». Прогноз шквалов в трех градациях является результатом комплексирования двух методов: прогноза скорости ветра при шквалах и альтернативного прогноза шквалов в градации ОЯ. Шквалы с ураганной скоростью ветра прогнозируются при условии одновременного прогнозирования шквала в градации опасных явлений альтернативным способом и скорости максимальных порывов ветра не менее 33 м/с. Если же альтернативным способом шквал в градации ОЯ не

прогнозируется, то «ураган» прогнозируется, если прогнозируемая скорость порывов ветра составляет 40 м/с и более. Шквалы в градации ОЯ прогнозируются при условии их прогноза альтернативным способом и при этом прогнозируемая скорость ветра составляет 25–32 м/с. Если же альтернативный способ не прогнозирует шквалы в градации ОЯ, то они прогнозируются, если прогнозируемая максимальная скорость ветра 35–40 м/с. Шквал в градации от 20 до 24 м/с прогнозируется, если рассчитанная скорость ветра 20–24 м/с.

Прогноз максимальной скорости ветра V , м/с, при сильных шквалах рассчитывается с помощью уравнения регрессии

$$V = a \cdot W_m^{\frac{1}{n}} \cdot [(|\bar{v}| + b) \cdot (\Delta P + c)]^{\frac{1}{m}} + d \cdot (|\bar{v}| + g)^{\frac{1}{k}} + f \cdot |\bar{v}| - C, \quad (1)$$

где W_m – максимальная конвективная скорость, м/с; $|\bar{v}|$ – модуль средней векторной скорости ветра в слое 700-500 гПа, м/с; ΔP – лапласиан приземного давления, приведенного к уровню моря (гПа/300 км²); b, c, g – отклонения параметров от их оптимальных для шквала значений; a, d, f, C – эмпирические коэффициенты.

С целью уменьшения относительной ошибки прогноза максимальной скорости ветра при шквалах используется линейная комбинация нелинейных предикторов. Прогноз шквалов в градации ОЯ дополнительно осуществляется по дискриминантной функции

$$L = f(W_m, \Delta P). \quad (2)$$

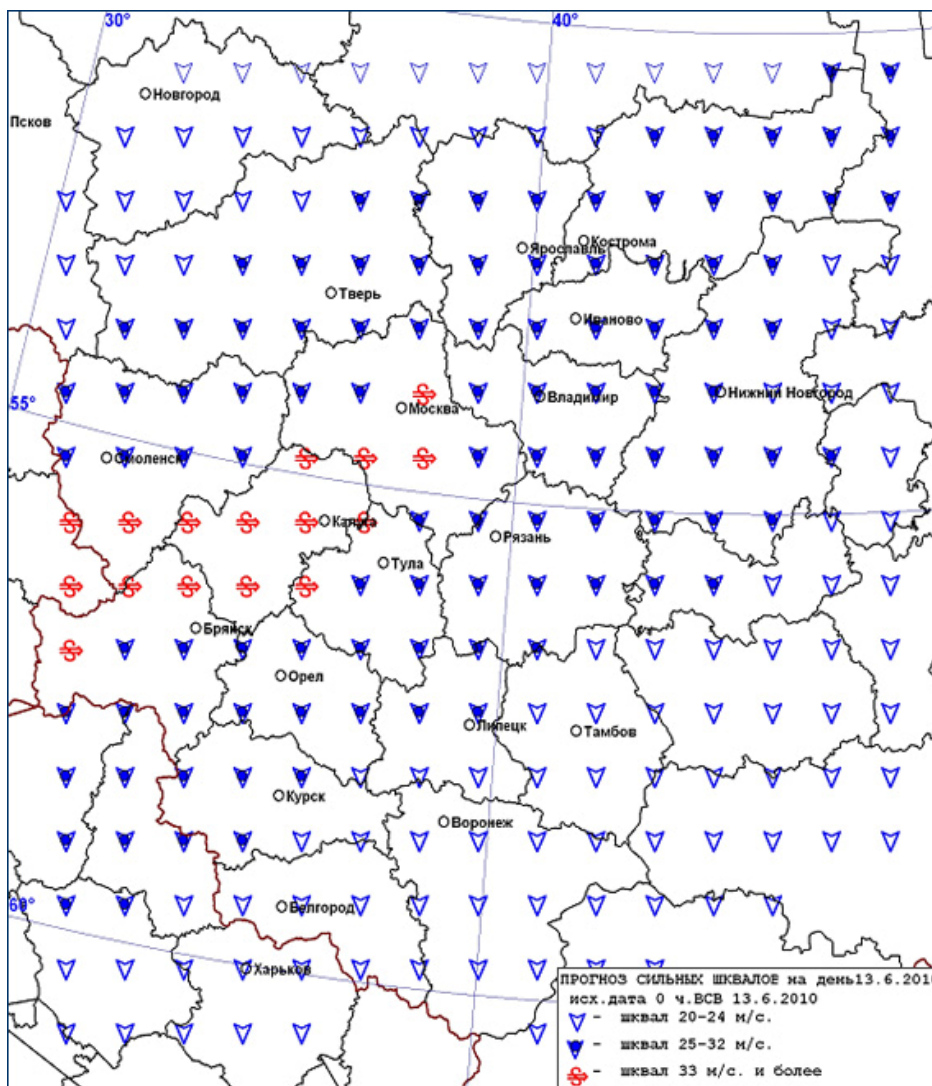
Дискриминантная функция для прогноза шквалов в градации ОЯ является функцией от максимальной конвективной скорости и лапласиана давления, приведенного к уровню моря.

На рис. 1 в качестве примера приведен прогноз сильных шквалов на день 13.06.2010 г., рассчитанный по исходному сроку 00 ч ВСВ.

Фактически днем 13.06.2010 г. шквалы наблюдались в Ивановской (30 м/с с ущербом), Рязанской (26 м/с), Московской, Владимирской (24 м/с), Орловской, Тульской (20 м/с), Смоленской, Курской (18 м/с), Липецкой, Костромской (16 м/с), Калужской областях (15 м/с).

На рис. 2 в качестве примера приведен прогноз сильных шквалов на день 28.08.2010 г., рассчитанный по исходному сроку 00 ч ВСВ.

Фактически 28.08.2010 г. наблюдались шквалы в Белгородской (22 м/с) с сильной грозой, Воронежской (20 м/с), Московской (18 м/с) с сильной грозой и градом, Курской (22 м/с) с ущербом, Липецкой (17 м/с), Тамбовской, Орловской области (16 м/с).



**Рис. 1. Результаты прогноза сильных шквалов на день 13.06.2010 г.
с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.**

Для расчета показателей успешности прогнозов шквалов используется таблица сопряженности (табл. 1 в [2] настоящего сборника). Там же представлен расчет всех показателей успешности прогнозов.

Показатели успешности прогнозов шквалов рассматриваемым методом в градациях 20-24, 25-32, ≥ 33 м/с за летний период 2009-2010 гг. с учетом допуска по градации представлены в таблице.

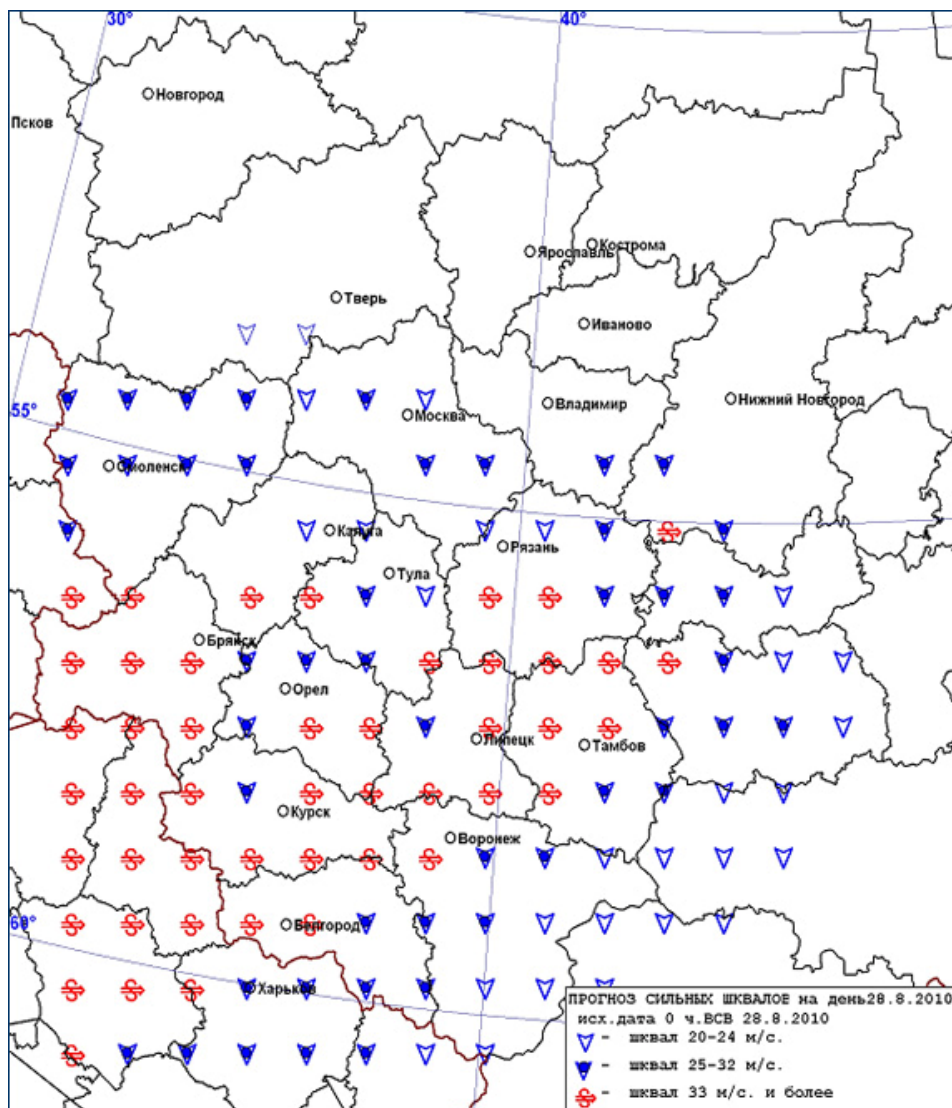


Рис. 2. Результаты прогноза сильных шквалов на день 28.08.2010 г. с заблаговременностью 12 ч. Исходный срок 00 ч ВСВ.

Анализ результатов испытаний показал, что метод прогноза сильных шквалов прогнозирует отсутствие сильного ветра с оправдываемостью 91–98 %, предупрежденность случаев наличия сильного ветра составляет 55–75 %, а значения критерия качества Пирси-Обухова, равные 0,30–0,45, подтверждают практическую значимость данных прогнозов. Основным недостатком метода является значительное количество «ложных тревог».

Наличие части «ложных тревог» можно объяснить недостаточно плотной сетью наблюдений за шквалами (есть несоответствие между точечной фиксацией шквалов на станциях наблюдений, а также косвенной их фиксацией по ущербу – согласно шкале Бофорта – и их площадным прогнозом). Также оказалось, что довольно заметная часть станций ЕТР (около 15 %) за последние три года (2009–2011 гг.) никогда за все 8 сроков наблюдений в сутки не отметила ни одного порыва ветра (≥ 18 м/с), что в природе очень

маловероятно. Эти странности будут выясняться. Другие возможные причины «ложных тревог» сильных шквалов совпадают с причинами «ложных тревог» сильных осадков, изложенных в статье А.А. Алексеевой и др. настоящего сборника [2]. Кроме того, выяснилось, что разработанное уравнение регрессии систематически завышает расчетную скорость ветра при шквале примерно на 6 м/с.

Таблица

**Показатели успешности прогнозов шквалов ≥ 18 , ≥ 22 м/с,
в градациях 20-24 м/с (1), 25-32 м/с (2), и ≥ 33 м/с (3) за теплый период 2009-2010 гг.**

Градации шквалов, м/с		Исходный срок прогноза (ВСВ)	Заблаговременность прогноза, ч (время суток)	U_r	P_r	P_{or}	PC_r	LT_r	T
Без разделения	≥ 18 (1,2,3)	00 ч	12 (день)	10	75	63	25	90	0,38
	≥ 22 (2,3)	00 ч	12 (день)	6	49	92	51	94	0,41
Строго по градациям	20-24 (1)	00 ч	12 (день)	3	55	66	46	97	0,21
	25-32 (2)	00 ч	12 (день)	2	42	92	58	98	0,34
	≥ 33 (3)	00 ч	12 (день)	0	0	100	100	100	0,00
Без разделения	≥ 18 (1,2,3)	12 ч	12 (ночь)	5	64	71	36	95	0,35
	≥ 22 (2,3)	12 ч	12 (ночь)	3	10	50	90	97	0,08
Строго по градациям	20-24 (1)	12 ч	12 (ночь)	2	61	73	39	98	0,34
	25-32(2)	12 ч	12 (ночь)	0	0	95	100	100	0,00
	≥ 33 (3)	12 ч	12 (ночь)	0	0	100	100	0	0,00
Без разделения	≥ 18 (1,2,3)	00 ч	24 (ночь)	5	67	71	33	95	0,38
	≥ 22 (2,3)	00 ч	24 (ночь)	4	44	93	56	96	0,38
Строго по градациям	20-24 (1)	00 ч	24 (ночь)	1	34	75	66	99	0,09
	25-32 (2)	00 ч	24 (ночь)	2	38	93	62	98	0,31
	≥ 33 (3)	00 ч	24 (ночь)	0	0	100	100	100	0,00
Без разделения	≥ 18 (1,2,3)	12 ч	24 (день)	9	70	63	30	91	0,33
	≥ 22 (2,3)	12 ч	24 (день)	5	45	91	55	95	0,37
Строго по градациям	20-24 (1)	12 ч	24 (день)	3	57	67	43	97	0,24
	25-32 (2)	12 ч	24 (день)	2	37	91	63	98	0,28
	≥ 33 (3)	12 ч	24 (день)	0	0	100	100	100	0,00

Необходимо отметить стабильность показателей успешности прогнозов при увеличении их заблаговременности с 12 до 24 ч.

Таким образом, усовершенствование рассматриваемого метода прогноза сводится, в основном, к решению проблемы уменьшения «ложных тревог» при сохранении достигнутых успехов (высоких показателей оправдываемости прогнозов без явлений и предупрежденности явлений). В рамках доработки метода необходимо совершенствование и региональной модели, от выходных данных которой зависит качество прогноза шквалов физико-статистическим подходом.

Рекомендации о внедрении

ЦМКП Росгидромета в своем решении от 2 марта 2011 г. рекомендовала:

– ФГБУ «Гидрометцентр России» внедрить в оперативную технологию автоматизированный метод прогноза шквалов с детализацией интенсивности по градациям (от 20 до 24, ≥ 25 м/с) с заблаговременностью 12 и 24 ч и обеспечить передачу указанных прогнозов в летний период в прогностические организации Центрального и Центрально-Черноземного УГМС;

– оперативно-прогностическим организациям Центрального и Центрально-Черноземного УГМС использовать в практической работе данные прогнозы в качестве фоновых с целью последующего их уточнения.

Авторам метода поручено продолжить работу по развитию метода прогноза сильных и очень сильных шквалов, в том числе с использованием информации доплеровских МРЛ.

Список литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Васильев Е.В., Никифорова А.Е.* Прогноз развития зон активной конвекции с особо опасными явлениями на основе региональной модели Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. – М.: ТРИАДА ЛТД, 2010. – С. 147–159.

2. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н.* Результаты испытаний автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 39. (см. наст. сборник).

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ
ПРОГНОЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПОГОДЫ
НА ОСНОВЕ РЯДА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ
МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА
(в период с апреля по сентябрь 2011 года)**

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов на 2010 и 2011 гг. в ФГБУ «Гидрометцентр России» в период с мая 2010 г. по сентябрь 2011 года были продолжены оперативные испытания прогнозов метеоэлементов на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба.

В статье [2] настоящего сборника представлены оценки, относящиеся к периоду с мая 2010 г. по март 2011 года. В настоящей статье приведены результаты сравнения за период с апреля по сентябрь 2011 года. Сравнение проводилось по тем же моделям и по той же методике [2].

Оценка проводилась по ~ 430 станциям Европейской территории России (45–65° с.ш., 27–57° в.д.) по исходным данным 00 ч ВСВ. Как и в предыдущий период проверки, у некоторых мезомodelей имелся значительный пропуск прогнозов по техническим и технологическим причинам; поэтому модели Zag1 и Ry20 не фигурируют при сравнении. Ввиду длительности расчета прогнозов по модели Zn03 (WRF-ARW-Zn03), исходным сроком прогноза для нее являлся 12 ч ВСВ предыдущего дня, оценка же проводилась на общих основаниях с другими моделями, стартовавшими от 00 ч ВСВ.

В качестве начальных и граничных условий для расчета экспериментальных мезомасштабных прогнозов использовались данные NCEP (США), а для модели COSMO-RU07 – данные DWD (ФРГ).

Отметим, что модель COSMO-RU07 решением ЦМКП Росгидромета от апреля 2011 г. была признана базовой мезометеорологической моделью ФГБУ «Гидрометцентр России».

В табл. 1–16 приведены результаты сравнения прогнозов давления на уровне моря, приземной температуры воздуха, осадков, «среднего» ветра и влажности (температуры точки росы).

Впервые летом 2011 года дополнительно была проведена оценка прогнозов порывов

ветра по моделям NCEP, COSMO-RU07 км и Zn03. Кроме обычных прогнозов полей составляющих «среднего» ветра, модели NCEP, COSMO-RU07 и Zn03 начали давать прогноз поля порывов (скорости) ветра. Точный прогноз этого опасного явления весьма важен для синоптиков. Проверка проводилась для прогнозов с заблаговременностью 12 ч за исходный срок 00 ч ВСВ в теплый период с 16 мая по 15 сентября 2011 года (всего 104 случая; 19 случаев исключены из-за отсутствия того или иного прогноза).

Напомним, что направление и скорость ветра на станциях измеряется с помощью анемометра на высоте 10 м с автоматическим осреднением данных за 10 мин, предшествующих сроку наблюдения. Это и есть «средний» ветер. Кроме того, анемометр регистрирует и порывы ветра, как в срок наблюдения, так и между сроками. Синоптические станции обязаны передавать сведения о сильных порывах ветра (≥ 18 м/с) в дополнительной группе кода КН-01.

Проверка велась для тех же ~ 430 станций Европейской территории России. При проверке прогностическое значение порыва ветра на станции получалось путем билинейной интерполяции для прогноза NCEP (шаг поля $0,5^\circ$ по широте и долготе); для моделей COSMO-RU07 и Zn03 привлекалось значение в ближайшем к станции узле сетки. В качестве фактических данных на станции бралось максимальное значение порыва ветра за 09, 12, 15 и 18 ч ВСВ в срок наблюдения или между сроками. При этом оказалось, что на части станций ($\sim 15\%$) за период 2009, 2010 гг. и 9 месяцев 2011 года никогда не отмечалось ни одного порыва ветра ни в какой из 8 сроков наблюдения или между сроками. Причины этого надо выяснять отдельно. Эти станции были исключены из проверочной выборки (заметим также, что передача информации о порывах ветра с автоматических станций в настоящее время не предусматривается).

Показатели успешности прогнозов рассчитывались с помощью таблицы сопряженности для порывов ветра и по формулам, приведенным в статье [1] настоящего сборника. При этом прогноз считался оправдавшимся, если на станции наблюдался порыв ветра ≥ 18 м/с, и в прогнозе было значение ≥ 18 м/с. Матрицы сопряженности представлены в табл. 17; в них фигурирует количество станций.

Результаты проверки можно признать малоудовлетворительными: модели NCEP и Zn03 правильно спрогнозировали, соответственно, только 4 и 8 % случаев с порывами ветра (предупрежденность явления P_r в [2]), а модель COSMO-RU07 – 17 %, но при этом оказалось значительное число «ложных тревог». Заметим, что методически правильной было бы брать не значение ветра в ближайшем к станции узле сетки прогноза, а максимальное значение порыва ветра в некоторой окрестности (25–30 км) вокруг станции.

Результаты сравнения показали следующее:

- экспериментальные мезомасштабные модели при сравнении с отечественными глобальными моделями общей циркуляции атмосферы показали меньшие абсолютные ошибки прогноза приземной температуры воздуха на 0,3–0,8 °С;
- прогнозы осадков по модели COSMO-RU07 оказались наиболее успешными среди всех рассматриваемых моделей (включая зарубежные);
- прогнозы давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и «среднего» ветра по модели COSMO-RU07 пока недостаточно успешны;
- прогнозы давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и «среднего» ветра по модели Zn03(WRF-ARW-Zn03) оказались несколько лучше, чем по модели COSMO-RU07 (особенно в летний период 2011 г.), а прогнозы осадков – несколько хуже;
- прогнозы порывов ветра по всем трем моделям (NCEP, COSMO-RU07, Zn03) пока не достаточно успешны;
- как и ранее, при прогнозировании приземной температуры воздуха и осадков наилучшие результаты показали экспериментальные прогнозы на основе ансамблевого подхода (UKMO, NCEP, JAPA, COSMO-RU07).

Решение ЦМКП Росгидромета от 21.10.2011 г.:

Одобрить работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по выполнению сравнительной оценки модельных прогнозов различного пространственного разрешения и отметить важность полученных результатов.

Рекомендовать ФГБУ «Гидрометцентр России»:

- продолжить работу по развитию отечественных и зарубежных экспериментальных мезомасштабных моделей атмосферы с целью повышения качества прогнозов, а также для возможности прогнозирования опасных природных гидрометеорологических явлений и резких изменений погоды;
- продолжить дальнейшую сравнительную оценку краткосрочных прогнозов метеорологических величин на основе модельных прогнозов различного масштаба, обращая главное внимание на оценку прогнозов порывов ветра и сильных осадков;
- провести расширенный мониторинг поступления информации о порывах ветра со станций, включая автоматические метеостанции, выполнить детальный их анализ и результаты анализа представить в УГТР Росгидромета (В.М. Трухину).

Список литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н.* Результаты испытаний автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник № 39 (см. наст. сборник).

2. *Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В.* Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник № 39 (см. наст. сборник).

Таблица 1

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 36 ч в период с апреля по сентябрь 2011 года

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	-0,32	1,19	0,93	0,20	64	92	98	2	80014
NCEP	-0,16	1,24	0,96	0,20	64	91	98	2	78671
JAPA	-0,78	1,47	1,17	0,25	52	85	96	4	79572
PLAV	-1,16	2,00	1,60	0,34	39	70	88	12	77776
Zn03	0,16	1,48	1,13	0,26	56	85	96	4	64400
COSMO	-1,03	2,03	1,59	0,34	41	70	87	13	75529

Таблица 2

Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 24 ч в период с апреля по сентябрь 2011 года

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	1,03	2,16	1,66	0,69	42	69	85	15	80197
NCEP	-0,62	2,19	1,74	0,72	36	66	84	16	80195
DWD	1,12	2,55	2,00	0,83	34	60	78	22	79746
JAPA	1,30	2,72	2,05	0,85	37	61	76	24	72646
T85	-0,28	2,46	1,94	0,81	34	61	79	21	80199
T169	-0,20	2,63	2,02	0,84	34	60	78	22	73488
PLAV	1,17	3,28	2,58	1,07	26	49	66	34	80199
Regi	1,29	2,40	1,87	0,78	36	63	80	20	80199
MM5K	-0,10	2,15	1,67	0,69	41	68	85	15	80199
Tros	0,73	2,56	1,92	0,81	38	64	80	20	75702
Zn03	-0,46	2,22	1,75	0,73	37	65	83	17	66746
COSMO	1,54	2,84	2,21	0,91	32	56	73	27	75714
AnUNJ	0,05	1,64	1,28	0,53	50	80	93	7	80589

Таблица 3

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 36 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	-0,24	2,21	1,64	0,19	43	71	86	14	79765
NCEP	-0,03	2,43	1,82	0,21	39	67	83	17	80212
DWD	-0,43	2,62	1,91	0,22	39	66	81	19	76164
JAPA	-0,40	2,32	1,81	0,21	36	64	83	17	72643
T85	-0,35	3,10	2,41	0,28	28	51	70	30	80214
T169	-1,84	3,68	3,01	0,35	20	39	56	44	73509
PLAV	1,09	2,91	2,24	0,26	31	55	74	26	80214
Regi	0,04	2,42	1,81	0,21	40	67	82	18	79763
MM5K	-1,77	3,15	2,57	0,30	22	45	65	35	80214
Tros	0,14	2,33	1,76	0,21	39	68	84	16	75725
Zn03	-0,69	2,59	1,93	0,22	37	64	81	19	64986
COSMO	0,00	2,79	2,11	0,25	34	59	76	24	76181
AnUNJ	0,00	1,89	1,41	0,16	48	77	90	10	80639

Таблица 4

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 48 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	1,12	2,31	1,79	0,60	38	65	82	18	80651
NCEP	-0,57	2,28	1,81	0,60	36	64	83	17	80201
DWD	1,02	2,60	2,04	0,68	33	58	77	23	79306
JAPA	1,47	2,88	2,19	0,74	34	58	73	27	72644
T85	-0,31	3,03	2,40	0,80	27	51	69	31	80207
T169	0,16	2,67	2,12	0,71	31	56	75	25	73506
PLAV	1,41	3,51	2,76	0,93	25	46	63	37	80207
Regi	1,33	2,51	1,96	0,66	34	60	78	22	79311
MM5K	-0,18	2,33	1,82	0,61	37	64	82	18	80207
Tros	0,82	2,65	2,01	0,67	36	61	78	22	75711
Zn03	-0,42	2,31	1,82	0,61	36	64	82	18	57350
COSMO	1,50	2,96	2,32	0,77	30	53	70	30	76160
AnUNJ	0,06	1,77	1,38	0,46	47	77	92	8	80587

Таблица 5

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 60 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	−0,20	2,51	1,88	0,22	38	65	81	19	79758
NCEP	0,13	2,74	2,05	0,24	35	61	78	22	79754
DWD	−0,42	2,87	2,15	0,25	34	60	76	24	78406
JAPA	−0,22	2,63	2,03	0,24	33	60	78	22	72632
T85	−0,36	3,63	2,84	0,33	24	45	62	38	80204
T169	−1,98	3,99	3,26	0,37	19	36	52	48	73491
PLAV	1,24	3,31	2,55	0,30	26	49	68	32	80204
COSMO	0,04	3,19	2,45	0,29	29	52	70	30	74376
AnUNJ	0,03	2,21	1,66	0,19	42	70	86	14	80173

Таблица 6

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 72 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	1,15	2,48	1,93	0,59	35	61	79	21	79662
NCEP	−0,49	2,44	1,92	0,58	34	61	80	20	79662
DWD	0,98	2,78	2,19	0,67	30	55	74	26	76079
JAPA	1,60	3,09	2,37	0,72	31	54	70	30	72563
T85	−0,28	3,62	2,87	0,87	23	44	61	39	80110
T169	−0,06	2,99	2,37	0,72	28	51	70	30	73395
PLAV	1,62	3,77	3,00	0,91	22	42	58	42	80110
COSMO	1,50	3,16	2,48	0,76	28	50	67	33	72067
AnUNJ	0,06	1,94	1,53	0,46	43	72	89	11	80024

Таблица 7

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12ч) на 18 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	78	33	67	32	39	2	28	0,29	0,53	0,18	1,13	77443
NCEP	79	33	67	30	43	3	24	0,32	0,56	0,25	1,21	77867
DWD	80	33	67	26	51	8	16	0,34	0,53	0,08	1,26	77871
JAPA	85	34	66	23	58	11	8	0,40	0,56	−0,89	0,95	70923
T85	82	33	67	17	59	16	8	0,28	0,41	−0,48	1,06	78306
T169	83	33	67	20	59	14	7	0,33	0,48	−0,12	1,19	71783
PLAV	77	33	67	28	46	6	21	0,30	0,51	0,24	1,28	78306
Regi	81	33	67	23	52	10	14	0,31	0,49	−0,05	1,18	78306
MM5K	81	33	67	26	53	8	14	0,36	0,56	0,34	1,34	78306
Tros	81	34	66	30	47	4	19	0,36	0,59	0,17	1,17	73963
Zn03*	82	32	68	24	56	8	12	0,39	0,57	0,25	1,35	62203
COSMO	83	33	67	25	55	8	12	0,39	0,58	−0,07	1,11	73944
AnUNC	85	33	67	28	53	5	14	0,43	0,64	−0,20	0,92	78297

Таблица 8

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12ч) на 30 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	83	27	73	23	54	4	19	0,34	0,59	0,09	0,88	78106
NCEP	82	27	73	23	53	5	19	0,32	0,56	0,06	0,94	78111
DWD	82	27	73	19	56	8	16	0,28	0,48	-0,08	0,98	78105
JAPA	86	28	72	19	62	9	10	0,37	0,55	-0,72	0,77	71133
T85	83	27	73	14	63	13	9	0,26	0,39	-0,16	0,99	78544
T169	83	27	73	17	62	10	11	0,31	0,47	0,35	1,27	71993
PLAV	84	27	73	18	61	9	12	0,32	0,50	-0,21	0,85	78544
Regi	81	27	73	21	54	7	19	0,28	0,59	0,08	1,05	78544
MM5K	81	27	73	21	54	6	10	0,29	0,51	0,10	1,04	78544
Tros	83	28	72	21	56	6	16	0,33	0,55	0,00	0,93	74208
Zn03*	85	26	74	18	62	8	12	0,34	0,54	-0,11	0,88	64576
COSMO	85	28	72	18	63	9	9	0,37	0,54	0,03	0,98	74194
AnUNC	87	27	73	20	63	7	9	0,41	0,60	-0,20	0,73	78410

Таблица 9

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12ч) на 42 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	76	34	66	32	37	2	29	0,26	0,50	0,29	1,26	77876
NCEP	78	34	66	30	43	4	23	0,30	0,53	0,20	1,27	77877
DWD	76	34	66	26	49	9	17	0,30	0,49	—	—	70482
JAPA	84	34	66	23	56	11	9	0,37	0,54	-0,89	0,96	70927
T85	79	34	66	20	54	14	13	0,25	0,40	-0,18	1,27	78311
T169	79	33	67	22	54	12	13	0,29	0,45	0,23	1,51	71813
PLAV	76	34	66	27	45	6	21	0,28	0,43	0,21	1,38	78311
Regi	79	34	66	22	51	12	15	0,26	0,43	-0,13	1,26	78311
MM5K	79	33	67	24	51	9	15	0,31	0,50	0,27	1,43	77434
Tros	77	34	66	30	43	4	23	0,31	0,53	0,29	1,35	73975
Zn03*	79	32	68	25	51	7	17	0,32	0,52	0,29	1,47	60913
COSMO	82	34	66	24	55	10	11	0,36	0,54	-0,10	1,18	74417
AnUNC	83	34	66	28	51	5	15	0,40	0,61	-0,19	0,99	78301

Таблица 10

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12ч) на 54 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	NN
UKMO	85	27	72	15	64	12	8	0,30	0,44	-0,41	0,80	78051
NCEP	81	28	72	22	53	6	19	0,29	0,52	0,00	1,01	77621
DWD	79	28	72	18	56	10	16	0,24	0,41	—	—	69823
JAPA	84	28	72	18	60	10	11	0,32	0,49	-0,73	0,80	70723
T85L	80	28	72	15	59	13	14	0,22	0,36	0,00	1,18	78051
T169	79	27	73	17	57	11	15	0,24	0,40	0,52	1,54	71568
PLAV	82	28	72	18	58	10	15	0,27	0,45	-0,22	0,96	78051
Zn03*	83	25	75	16	62	9	13	0,29	0,47	-0,14	1,00	51166
COSMO	83	28	72	17	63	11	119	0,31	0,48	0,00	1,08	73280
AnUNC	83	28	72	21	57	7	169	0,32	0,54	-0,12	0,90	77543

Таблица 11

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 24 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	1,26	1,84	1,54	2,04	2,30	15	53	84	16	77193
NCEP	1,20	1,81	1,50	2,04	2,31	15	53	85	15	76330
JAPA	-0,12	1,41	1,05	1,43	1,76	40	79	92	8	77193
PLAV	0,48	1,61	1,24	1,71	2,07	32	66	87	13	75465
Zn03*	1,24	2,10	1,71	2,23	2,58	15	48	78	22	64594
COSMO	1,46	2,22	1,72	2,28	2,75	13	49	79	21	73738
AnNJ	0,34	1,99	1,02	1,47	2,32	36	79	93	7	67925

Таблица 12

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 36 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,63	1,78	1,40	2,36	2,73	14	46	73	27	77883
NCEP	0,44	1,73	1,34	2,32	2,72	16	48	74	26	77013
JAPA	-1,49	2,22	1,74	2,29	2,70	16	49	75	25	77453
PLAV	0,40	1,79	1,39	2,43	2,82	14	45	71	293	76146
Zn03*	1,18	2,71	2,21	3,33	3,79	7	25	48	52	63110
COSMO	1,23	2,40	1,83	2,92	3,48	10	34	60	40	74415
AnNJ	-0,53	1,59	1,19	2,03	2,42	22	58	81	19	68574

Таблица 13

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 48 ч
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	1,30	1,92	1,60	2,15	2,42	14	49	81	19	77196
NCEP	1,19	1,84	1,52	2,13	2,42	14	50	82	18	76758
JAPA	-0,13	1,44	1,08	1,49	1,83	37	77	91	9	77196
PLAV	0,47	1,69	1,30	1,82	2,21	30	63	84	16	75457
Zn03*	1,21	2,15	1,74	2,32	2,70	15	46	75	25	55501
COSMO	1,46	2,23	1,75	2,38	2,81	12	45	76	24	73725
AnNJ	0,32	1,95	1,05	1,54	2,33	33	77	92	8	67941

Таблица 14

**Показатели успешности прогнозов точки росы (°C) на 24 ч по ЕТР
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	-1,08	2,67	1,92	0,79	40	65	80	20	77175
NCEP	-0,33	2,08	1,57	0,64	44	72	87	13	75879
JAPA	-0,50	2,40	1,81	0,74	39	66	82	18	77175
PLAV	-1,77	3,47	2,79	1,14	23	43	61	39	75011
Zn03*	0,09	2,05	1,54	0,64	44	73	88	12	64152
Ry20	0,31	2,04	1,55	0,65	44	73	88	12	45537
COSMO	0,10	2,47	1,84	0,75	39	65	81	19	72409
AnNJ	-0,18	1,92	1,39	0,57	48	77	91	9	73515

Таблица 15

**Показатели успешности прогноза точки росы (°C) на 36 ч по ЕТР
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,07	2,60	1,95	0,60	37	63	79	21	77294
NCEP	0,74	2,96	2,27	0,70	31	55	72	28	76018
JAPA	0,25	3,24	2,45	0,76	29	53	69	31	77294
PLAV	0,86	3,79	3,00	0,92	22	42	59	41	75133
Zn03*	1,22	2,97	2,28	0,71	31	55	72	28	62202
COSMO	-0,95	3,36	2,55	0,78	28	51	68	32	72966
AnNJ	-0,12	2,29	1,77	0,54	38	66	83	17	73239

Таблица 16

**Показатели успешности прогноза точки росы (°C) на 48 ч по ЕТР
в период с апреля по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	-1,07	2,80	2,06	0,67	36	62	77	23	77161
NCEP	-0,31	2,22	1,68	0,54	41	69	85	15	76291
JAPA	-0,67	2,482	2,10	0,68	35	61	76	24	77161
PLAV	-2,10	4,04	3,22	1,04	21	39	55	45	74989
Zn03*	0,18	2,25	1,69	0,56	41	69	85	15	55072
COSMO	-0,35	2,94	2,15	0,69	35	60	76	24	72815
AnNJ	-0,20	2,04	1,53	0,49	43	73	88	12	73501

Таблица 17

**Матрицы сопряженности для оценки порывов ветра
с 16 мая по 15 сентября 2011 года**

NCEP			COSMO-RU07			Zn03		
9	8	17	38	255	293	17	55	72
214	37313	37527	185	37066	37251	206	37226	37472
223	37321	37544	223	37321	37544	223	37321	37544
$P_r = 4 \quad LT_r = 47$			$P_r = 17 \quad LT_r = 87$			$P_r = 8 \quad LT_r = 76$		

**ПРОГНОЗ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ, ВЕТРА И ОСАДКОВ
ДЛЯ 17 ОБЛАСТНЫХ ГОРОДОВ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 84 Ч**

Отдел гидродинамических краткосрочных прогнозов погоды ФГБУ «Гидрометцентр России» ежедневно осуществляет выпуск и распространение оперативных гидродинамических прогнозов метеозадающих элементов (минимальная и максимальная температура воздуха, направление и скорость ветра, порывы ветра и осадки) с 3-х часовой детализацией с заблаговременностью до 48 часов по 17 областным городам Центрального федерального округа (ЦФО), включая Москву, на основе полушарной модели и технологии, описанной в [2–5].

Результаты оперативных испытаний гидродинамических прогнозов погоды для Москвы позволили распространить такие прогнозы для оперативного метеорологического обеспечения всех областных городов ЦФО. В отличие от синоптических, они представляют возможность расчета суточного хода всех основных метеовеличин с любой требуемой для потребителя дискретностью по времени, т.е. обладают значительно большей детальностью [4].

Успешность указанных гидродинамических прогнозов представлена в [5].

Исследования по дальнейшему совершенствованию гидродинамических прогнозов погоды привели к созданию методики комплексного прогноза метеовеличин в пунктах ЦФО. Результативность прогнозов, достигнутая при авторских испытаниях, послужила основанием для проведения оперативных испытаний с 1.10.2010 г. 30.09.2011 года исходного срока прогнозов 00 ч ВСВ.

Прогноз приземной температуры, ветра и осадков для 17 областных городов ЦФО основан на комплексном использовании результатов гидродинамических прогнозов ряда отечественных и зарубежных прогностических моделей.

В перечень прогностических моделей входят:

- полусферная модель (Mod 1, Mod 21) в различной конфигурации (разрешение, физическое наполнение, начальные данные и др.) (автор – Л.В. Беркович);

- ETA-модель (США) для Европейской территории России в 2 вариантах (ETA 0, ETA 12);
- WRF-модель (США, отв. – К.Г. Рубинштейн);
- модель UKMO (Великобритания);
- модель NCEP (США).

Прогностические поля по моделям UKMO и NCEP используются непосредственно, т.е. в том виде, в каком поступают по каналам связи; прогнозы WRF берутся также в готовом виде из базы супер-компьютера SGI Altix 4700, по исходному сроку 12 ч ВСВ предыдущего дня; прогнозы по остальным моделям рассчитываются в основном на оперативном персональном компьютере с использованием полей оперативного объективного анализа ФГБУ «Гидрометцентр России».

Результаты комплексных прогнозов получаются путем осреднения прогнозов по различным моделям с учетом статистической коррекции для различных сезонов, городов, метеорологических величин и заблаговременностей прогнозов. Ниже приведен один из возможных вариантов представления результатов комплексных прогнозов температуры и осадков для Москвы по исходным данным для составления прогноза 00 ч ВСВ 4.10.2011 г. (табл. 1).

Таблица 1

Результаты комплексного прогноза для Москвы на 84 ч

Исходные данные: 00 ч ВСВ 4.10.2011 г.

а) Прогноз приземной температуры (°С)

Модель	Т 12	Т 24	Т 36	Т 48	Т 60	Т 72	Т 84
ETA 0	11.7	10.8	16.3	7.0	11.9	8.6	12.1
WRF	11.5	10.5	13.1	9.3	10.9	7.5	12.3
UKMO	10.1	10.6	12.7	8.1	11.8	6.9	13.5
NCEP	10.9	9.6	12.0	6.3	11.3	7.4	12.7
Mod 1	9.2	7.5	11.8	7.9	9.3	6.4	11.3
ETA 12	11.3	10.4	14.3	10.2	12.3	8.7	13.4
Mod 21	10.6	8.4	16.8	8.5	10.4	6.7	12.7
Среднее	11.4	9.7	14.6	8.0	10.7	6.8	12.0

б) Прогноз осадков (мм/ 12 ч)

Модель	Ос 18	Ос 30	Ос 42	Ос 54	Ос 66	Ос 78
ETA 0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2
WRF	0.8	0.4	0.4	0.7	0.1	0.4
UKMO	0.8	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0
NCEP	0.5	1.0	0.1	0.2	0.0	0.0
Mod 1	0.0	0.4	1.8	1.0	0.0	0.5
ETA 12	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3
Mod 21	0.0	0.2	0.6	0.0	0.1	0.1
Среднее	0.4	0.6	0.5	0.4	0.0	0.1

Время готовности комплексных прогнозов ~ 4.30 ч ВСВ.

При проведении оперативных испытаний проводилась сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды испытываемым комплексным методом (Berk) с аналогичными прогнозами отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба среди которых: четыре зарубежные глобальные модели: UKMO (Великобритания), NCEP (США), DWD (ФРГ) и JAPA (Япония); три глобальных модели Гидрометцентра России (T85, T169 и PLAV); региональная модель Regi; шесть мезомасштабных моделей в различных вариантах конфигурации, реализованных и используемых в научной и оперативной работе в Гидрометцентре России, а также ансамблевый прогноз AnUNJ (авторы – А.Н. Багров, В.А. Гордин, ФГБУ «Гидрометцентр России»).

Оценки успешности прогнозов проводились по 17 областным городам ЦФО. В табл. 2–6 представлены показатели успешности прогнозов приземной температуры; в табл. 7–10 – прогнозов осадков за тот же период; в табл. 11–13 – показатели успешности прогнозов «среднего» ветра с октября 2010 г. по март 2011 года.

Обозначения в таблицах, методика испытаний и перечень мезомоделей см. в [1, 6].

С 1 декабря 2011 года информация комплексных прогнозов поступает в отдел краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений ФГБУ «Гидрометцентр России» в 8.30 ч МСК в виде табл. 14.

Испытания показали довольно высокое качество прогнозов «срочной» температуры воздуха по представленному методу, как на ночное, так и на дневное время. Качество прогнозов осадков по факту их выпадения испытываемым методом примерно соответствует среднему качеству таких прогнозов других испытываемых моделей, а по количеству осадков – несколько лучше средних показателей.

Векторная ошибка при прогнозе «среднего» ветра по предложенной методике соответствует точности прогнозов ветра глобальных моделей, но меньше ошибок мезометеорологических моделей.

Технологическая линия расчетов прогнозов функционирует в отделе гидродинамических краткосрочных прогнозов погоды ФГБУ «Гидрометцентр России» более 3 лет.

На основе результатов оперативных испытаний комплексного прогноза температуры, осадков и ветра для 17 областных городов ЦФО Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) от 21 октября 2011 г. рекомендовала использование данного метода прогноза в оперативной

работе лаборатории прогнозов по ЦФО отдела краткосрочных прогнозов погоды и опасных явлений ФГБУ «Гидрометцентр России» в качестве консультативного метода.

Таблица 2

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 24 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,41	2,09	1,56	0,56	45	72	87	13	5963
NCEP	-1,31	2,45	1,92	0,69	33	61	81	19	6029
DWD	-0,17	2,68	2,04	0,73	34	61	78	22	5859
JAPA	1,34	2,83	2,00	0,71	41	65	78	22	5638
T85	-0,39	3,12	2,42	0,87	28	52	70	30	5927
T169	-1,32	3,22	2,36	0,85	32	57	73	27	5658
PLAV	-0,66	3,23	2,61	0,94	23	45	64	36	5978
Regi	0,71	2,24	1,71	0,62	41	68	84	16	5810
Berk	-0,55	2,09	1,59	0,57	42	71	87	13	5843
MM5K	0,17	2,56	1,92	0,69	38	64	79	21	5944
Tros	-0,02	2,66	1,97	0,71	37	63	80	20	5673
Zn03	-0,53	2,71	2,01	0,74	35	62	79	21	4663
Ry20	1,21	2,88	2,13	0,76	33	60	76	24	4390
COSMO	0,50	2,63	2,03	0,73	35	60	77	23	5792
AnUNJ	0,01	1,77	1,34	0,48	49	78	92	8	6063

Таблица 3

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 36 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	-0,55	2,31	1,72	0,26	42	69	84	16	5841
NCEP	-0,65	2,43	1,84	0,28	39	65	82	18	5992
DWD	-1,14	3,00	2,23	0,34	34	59	75	25	5772
JAPA	0,32	2,32	1,78	0,27	39	66	83	17	5602
T85	-0,17	3,19	2,51	0,37	26	49	67	33	5917
T169	-2,16	4,03	3,10	0,46	23	41	58	42	5637
PLAV	-0,30	3,11	2,39	0,36	28	53	71	29	5958
Regi	-0,18	2,35	1,77	0,26	40	67	83	17	5771
Berk	0,52	2,50	1,89	0,28	37	64	80	20	5805
MM5K	-1,10	3,07	2,47	0,37	25	48	68	32	5924
Tros	0,16	2,61	2,02	0,30	34	60	78	22	5637
Zn03	-0,51	2,54	1,93	0,27	37	63	80	20	4215
Ry20	-0,72	2,66	2,07	0,33	32	58	77	23	4370
COSMO	-0,33	2,89	2,19	0,33	32	58	75	25	5806
AnUNJ	-0,01	1,84	1,40	0,21	48	77	91	9	6043

Таблица 4

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 48 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,49	2,31	1,74	0,49	41	67	83	17	5977
NCEP	-1,33	2,68	2,06	0,58	32	59	78	22	5978
DWD	-0,15	2,80	2,16	0,61	32	57	75	25	5844
JAPA	1,51	3,05	2,19	0,61	37	60	75	25	5620
T85	-0,44	3,72	2,89	0,81	24	44	60	40	5926
T169	-0,84	3,28	2,49	0,70	28	52	68	32	5659
PLAV	-0,42	3,35	2,70	0,76	28	45	63	37	5977
Regi	0,74	2,45	1,86	0,52	37	63	81	19	5774
Berk	-0,22	2,28	1,73	0,49	39	68	84	16	5842
MM5K	0,29	2,83	2,11	0,59	35	60	76	24	5943
Tros	0,14	2,86	2,13	0,60	35	59	77	23	5656
Zn03	-0,35	2,86	2,10	0,59	34	60	78	22	3623
Ry20	-1,24	3,13	2,29	0,63	32	58	74	26	4375
COSMO	0,64	2,82	2,19	0,61	32	56	73	27	5743
AnUNJ	0,01	1,95	1,48	0,42	45	75	89	11	6028

Таблица 5

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 60 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	-0,54	2,63	1,97	0,28	36	63	79	21	5791
NCEP	-0,63	2,75	2,08	0,30	34	60	76	24	5924
DWD	-1,04	3,22	2,43	0,35	30	54	71	29	5788
JAPA	0,42	2,66	2,02	0,29	35	60	78	22	5602
T85	-0,17	3,65	2,87	0,41	24	44	61	39	5907
T169	-2,19	4,21	3,30	0,47	21	37	54	46	5638
PLAV	-0,18	3,44	2,63	0,37	26	49	67	33	5958
Berk	-0,63	2,64	2,00	0,28	35	62	78	22	5816
Ry20	-0,77	2,88	2,28	0,35	29	53	72	28	4317
COSMO	-0,27	3,24	2,49	0,35	28	52	69	31	5474
AnUNJ	0,01	2,15	1,64	0,23	42	70	85	15	5975

Таблица 6

**Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха (°C) на 72 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,54	2,61	1,98	0,51	36	61	79	21	5592
NCEP	-1,39	3,03	2,29	0,58	31	55	73	27	5841
DWD	-0,25	3,18	2,43	0,62	29	53	71	29	5654
JAPA	1,51	3,24	2,37	0,60	34	57	71	29	5535
T85	-0,43	4,27	3,32	0,85	22	40	55	45	5841
T169	-0,96	3,66	2,79	0,70	25	46	63	37	5574
PLAV	-0,36	3,74	2,99	0,76	21	41	58	42	5892
Berk	-0,23	2,50	1,89	0,49	37	63	81	19	5703
Ry20	-1,37	3,43	2,53	0,62	28	52	70	30	4254
COSMO	0,69	3,15	2,45	0,65	29	52	69	31	4864
AnUNJ	0,02	2,27	1,73	0,44	39	67	85	15	5892

Таблица 7

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 18 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	80	49	51	45	30	4	21	0,34	0,51	0,13	0,89	5957
NCEP	79	49	51	45	29	4	22	0,32	0,49	0,21	0,98	6042
DWD	80	49	51	38	39	11	12	0,37	0,54	0,06	1,06	5957
JAPA	82	50	50	32	45	18	5	0,37	0,54	-0,81	0,84	5706
T85	77	49	51	22	46	27	4	0,22	0,36	-0,37	0,95	6026
T169	80	49	51	27	46	22	6	0,29	0,45	-0,13	0,91	5737
PLAV	79	49	51	35	39	14	12	0,30	0,47	-0,02	0,95	6042
Regi	79	49	51	35	38	14	13	0,29	0,45	-0,01	0,98	5924
Berk	79	49	51	45	25	4	25	0,26	0,42	-0,19	0,87	5924
MM5K	81	49	51	42	36	7	15	0,39	0,56	0,33	1,11	6026
Tros	82	49	51	39	38	10	12	0,38	0,55	0,06	0,92	5757
Zn03	81	48	52	34	43	13	10	0,37	0,54	0,19	1,10	4504
Ry20	81	50	50	42	36	9	14	0,37	0,54	0,17	0,90	4385
COSMO	83	49	51	39	41	10	9	0,44	0,61	-0,04	0,88	5874
AnUN	84	49	51	41	40	8	11	0,44	0,61	-0,13	0,76	6076

Таблица 8

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	82	43	57	38	39	5	18	0,38	0,57	0,15	0,77	5953
NCEP	81	43	57	38	38	6	18	0,36	0,55	0,12	0,81	6004
DWD	81	43	57	33	43	10	14	0,34	0,52	-0,07	0,80	5936
JAPA	82	44	56	29	48	15	7	0,36	0,52	-0,71	0,74	5684
T85	78	44	56	22	49	22	7	0,24	0,38	0,05	0,99	6005
T169	79	44	56	27	48	17	9	0,31	0,46	0,44	1,12	5719
PLAV	82	43	57	31	46	13	11	0,35	0,52	-0,20	0,71	6022
Regi	79	43	57	32	40	11	17	0,28	0,44	0,10	0,88	5905
Berk	80	44	56	41	31	3	26	0,29	0,48	-0,20	0,72	5905
MM5K	79	44	56	36	38	8	18	0,32	0,49	0,10	1,87	6026
Tros	82	44	56	35	42	9	14	0,37	0,55	0,06	0,81	5757
Zn03	82	41	59	31	47	10	12	0,37	0,54	-0,02	0,82	4383
Ry20	81	46	54	38	38	8	16	0,35	0,53	0,01	0,83	4375
COSMO	82	44	56	34	46	10	10	0,43	0,61	0,14	0,87	5818
AnUN	84	43	57	34	46	9	10	0,43	0,60	-0,07	0,67	6054

Таблица 9

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 42 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	78	48	52	44	29	4	23	0,30	0,47	0,21	1,00	5872
NCEP	78	49	51	45	29	4	22	0,31	0,48	0,23	1,08	6026
DWD	78	50	50	40	37	10	13	0,37	0,54	—	—	5585
JAPA	81	50	50	32	43	17	7	0,35	0,51	-0,81	0,86	5706
T85	75	49	51	28	41	21	10	0,24	0,38	0,17	1,31	6026
T169	76	49	51	33	41	16	10	0,31	0,47	0,46	1,42	5737
PLAV	78	49	51	37	37	12	14	0,31	0,48	0,07	0,12	6043
Regi	77	49	51	35	37	14	14	0,27	0,43	0,00	1,14	5924
Berk	75	49	51	46	20	3	31	0,19	0,33	-0,08	1,02	5924
MM5K	79	49	51	41	35	9	15	0,35	0,52	0,20	1,11	5992
Tros	79	49	51	41	35	8	16	0,36	0,53	0,22	1,11	5739
Zn03	78	46	54	36	39	10	15	0,34	0,51	0,24	1,37	3941
Ry20	79	51	49	43	33	8	16	0,34	0,51	1,18	1,05	4387
COSMO	80	50	50	39	40	11	10	0,40	0,57	0,02	1,05	5874
AnUN	83	49	51	41	38	8	13	0,40	0,57	-0,10	0,84	6059

Таблица 10

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 54 ч
в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 года**

Модель	U	Noc	Nbo	Foc	Fbo	PC	LT	ETS	PIR	BIAS	ABS	N
UKMO	81	43	57	23	50	20	7	0,28	0,42	-0,40	0,70	5972
NCEP	79	44	56	37	37	7	19	0,32	0,51	0,10	0,91	5072
DWD	78	44	56	33	40	11	15	0,31	0,48	—	—	5501
JAPA	81	44	56	28	47	16	9	0,33	0,48	-0,71	0,75	5653
T85	75	44	56	27	44	17	12	0,24	0,38	0,47	1,39	5972
T169	75	44	56	31	42	14	14	0,29	0,45	0,80	1,56	5693
PLAV	80	44	56	32	43	12	13	0,33	0,50	-0,10	0,86	5989
Berk	76	44	56	38	29	6	27	0,22	0,38	-0,24	0,87	5874
Zn03	80	39	61	28	47	11	14	0,32	0,50	-0,03	0,97	3118
Ry20	79	47	53	37	36	9	17	0,31	0,48	0,00	0,91	4350
COSMO	79	44	56	33	44	11	13	0,36	0,54	0,24	1,06	5673
AnUN	81	44	56	35	41	9	15	0,36	0,54	0,02	0,85	5972

Таблица 11

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 24 ч
в период с октября 2010 г. по февраль 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	1,26	1,99	1,60	2,20	2,51	15	49	78	22	2477
NCEP	0,82	1,71	1,37	1,87	2,14	20	60	87	13	2528
DWD	0,87	1,69	1,35	1,92	2,20	19	58	86	14	24448
T85	0,35	1,57	1,25	1,82	2,09	21	63	89	11	2460
PLAV	0,58	1,74	1,37	1,93	2,25	22	57	83	17	2528
Berk	-1,19	2,25	1,69	2,10	2,56	24	58	78	22	2460
MM5K	2,51	3,37	2,67	3,40	4,00	8	26	52	48	2494
Tros	1,99	2,70	2,17	2,67	3,11	12	40	66	34	2208
Zari	3,21	3,90	3,27	3,82	4,35	5	19	40	60	2260

Таблица 12

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 36 ч
в период с октября 2010 г. по февраль 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	%≤1	%≤2	%≤3	%>3	N
UKMO	0,97	1,83	1,45	2,22	2,54	15	49	76	24	2443
NCEP	0,39	1,57	1,23	1,89	2,18	21	60	86	14	2494
DWD	0,55	1,57	1,24	1,97	2,28	21	56	83	17	2427
T85	-0,15	1,50	1,18	1,91	2,19	21	59	85	15	2427
PLAV	0,48	1,68	1,34	2,05	2,34	17	54	81	19	2494
Berk	-1,42	2,41	1,88	2,56	2,98	14	42	67	33	2426
MM5K	2,39	3,33	2,62	3,51	4,13	8	27	49	51	2460
Tros	2,19	2,91	2,36	3,05	3,49	9	29	55	45	2173
Zari	2,91	3,72	3,04	3,79	4,36	6	21	40	60	2223

Таблица 13

**Показатели успешности прогнозов ветра (м/с) на 48 ч
в период с октября 2010 г. по февраль 2011 года**

Модель	BIAS	RMS	ABS	Vek.os	RMSv.os	% ≤ 1	% ≤ 2	% ≤ 3	% > 3	N
UKMO	1,20	2,00	1,62	2,25	2,56	15	46	76	24	2477
NCEP	0,80	1,76	1,41	2,00	2,27	17	55	84	16	2528
DWD	0,95	1,80	1,45	2,11	2,41	16	53	81	19	2393
T85	0,47	1,72	1,37	2,14	2,46	16	52	80	20	2460
PLAV	0,64	1,83	1,46	2,12	2,46	19	51	78	22	2528
Berk	-1,32	2,43	1,84	2,45	2,94	18	47	69	31	2460
MM5K	2,52	3,51	2,75	3,58	4,25	7	25	49	51	2494
Tros	2,07	2,93	2,33	2,96	3,45	9	32	60	40	2208
Zari	3,41	4,17	3,48	4,13	4,70	4	16	35	65	2259

Таблица 14

**Оперативный прогноз приземной температуры и осадков
по исходным данным 00 ч ВСВ 5.12.2011 г. для 17 областных городов ЦФО**

	Температура							Осадки					
	12 ч	24 ч	36 ч	48 ч	60 ч	72 ч	84 ч	18 ч	30 ч	42 ч	54 ч	66 ч	78 ч
Смоленск	4,4	2,2	2,2	0,0	0,6	-1,5	-1,6	5,6	2,1	0,2	0,1	0,1	0,0
Брянск	6,4	5,5	3,8	-0,4	1,0	-1,4	-0,6	0,7	4,2	0,7	0,1	0,0	0,1
Ярославль	2,5	3,7	1,3	-1,1	-0,1	-1,1	-0,2	1,2	5,0	1,2	0,1	0,1	0,1
Кострома	2,5	3,6	1,3	-1,5	-0,1	-1,0	-0,1	1,6	5,7	1,5	0,1	0,3	0,1
Иваново	3,6	3,9	2,5	-1,5	0,2	-1,5	0,1	2,2	5,0	1,4	0,1	0,2	0,1
Тверь	2,2	3,1	0,8	-0,1	-0,3	-2,3	-2,5	1,9	4,6	0,5	0,0	0,7	0,1
Владимир	4,0	4,5	2,5	-1,1	0,5	-1,6	0,1	2,6	3,5	1,6	0,1	0,2	0,0
Москва	3,9	5,1	2,2	-1,0	0,8	-1,4	-0,6	2,3	3,9	1,2	0,1	0,0	0,0
Калуга	5,2	5,4	1,6	-1,0	1,1	-1,3	-0,4	1,5	3,7	1,2	0,1	0,1	0,1
Тула	5,6	5,4	2,4	-1,2	0,8	-1,4	-0,1	0,4	3,3	1,6	0,1	0,2	0,1
Рязань	5,3	5,2	2,6	-1,0	0,6	-1,2	-0,9	1,0	1,8	1,8	0,2	0,3	0,0
Орел	6,4	5,7	3,8	-1,9	1,3	-1,4	-0,1	0,1	3,6	1,7	0,0	0,1	0,1
Липецк	6,5	5,6	5,5	2,9	1,3	-1,2	0,5	0,2	1,8	2,4	1,1	0,3	0,0
Тамбов	5,9	4,7	6,0	3,1	1,6	-1,0	0,8	0,4	1,5	3,0	5,7	1,7	0,1
Курск	7,4	5,8	5,3	-1,2	2,0	-1,3	0,2	0,1	2,6	2,3	0,1	0,1	0,1
Воронеж	6,9	5,7	6,4	3,4	1,9	-0,5	0,6	0,2	1,2	2,8	3,1	0,3	0,8
Белгород	7,9	5,9	6,8	2,5	1,9	-0,9	0,4	0,1	2,1	3,3	0,6	0,1	0,3

Список литературы

1. *Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н.* результаты испытаний автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч // Информационный сборник 39 (см. наст. сборник).
2. *Беркович Л.В., Белоусов С.Л., Ткачева Ю.В.* Краткосрочный гидродинамический прогноз метеорологических величин в пунктах на территории России и прилегающих стран // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 4. – С. 18–32.
3. *Беркович Л.В., Белоусов С.Л., Ткачева Ю.В., Калугина Г.Ю.* Оперативный гидродинамический краткосрочный прогноз метеовеличин и характеристик погоды в пунктах // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 2. – С. 14–26.
4. *Беркович Л.В., Ткачева Ю.В.* Оперативный гидродинамический краткосрочный прогноз погоды в пунктах // Метеорология и гидрология. – 2010. – № 4. – С. 45–52.
5. *Беркович Л.В., Ткачева Ю.В.* Оперативный гидродинамический краткосрочный прогноз погоды в пунктах и его успешность // Метеорология и гидрология. – 2010. – №12. – С. 36–41.
6. *Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В.* Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний // Информационный сборник 39 (см. наст. сборник).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ОСАДКОВ И ШКВАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГИДРОМЕТЦЕНТРА РОССИИ С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 12 И 24 Ч ПО ТЕРРИТОРИИ ЦЧО

В Курском ЦГМС-Р в летние периоды 2009 и 2010 гг. (с 15 мая до 15 августа) проводились оперативные испытания двух методов:

– автоматизированного альтернативного прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49 и 50 мм/12ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч (авторы – А.А. Алексеева, В.М. Лосев), далее – **методический прогноз осадков**;

– автоматизированного метода альтернативного прогноза шквалов с детализацией интенсивности в трех градациях (от 20 до 24, от 25 до 32 (градация опасных явлений – ОЯ), 33 м/с и более (ураганы)) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч (авторы – А.А. Алексеева, В.М. Лосев, Б.Е. Песков.), далее – **методический прогноз шквалов**.

Методические прогнозы рассчитывались для территории деятельности Центрально-Черноземного УГМС: Курской, Брянской, Белгородской, Орловской, Липецкой, Тамбовской и Воронежской областей.

Для сравнительного анализа успешности указанных методических прогнозов использованы синоптические прогнозы ливней с заблаговременностью 12 и 24 ч и прогнозы ливней, рассчитанные по методу П.Г. Пантелеева [1] с заблаговременностью 12 ч (исходный срок расчетов – 00 ч ВСВ), а также синоптические прогнозы шквалов с заблаговременностью 12 и 24 ч и прогнозы шквалов, рассчитанные по методу Г.Д. Решетова [2], с заблаговременностью 12 ч (исходный срок – 00 ч ВСВ) по Курской области.

Синоптический прогноз дается на основе анализа всей имеющейся информации: синоптических карт, спутниковой информации, расчетных, внедренных на сети ранее методов, а также прогностической информации центров Брекнелл, Рединг, Москва и Вашингтон (ГИС МЕТЕО, МИТРА, информация ФГБУ «Гидрометцентр России», в т.ч. модели COSMO), из Интернет).

Прогнозы ливней П.Г. Пантелеева и шквалов Г.Д. Решетова рассчитываются вручную, при необходимости вводятся корректировки к прогнозам, выявленные синоптическим путем.

Испытания в 2009 году проводились в соответствии с рекомендациями [3, 4], в 2010 году – в соответствии с [3, 5], а также в соответствии с Программой испытания автоматизированных методов прогноза.

Оценка проводилась только для количественных характеристик метеопараметров. Если фактически выпавшие осадки (выбиралось максимальное их количество по каждой области) соответствовали прогностической градации осадков, их оправдываемость и предупрежденность принимались равной 100 %, если соответствовали соседним градациям – оправдываемость принималась за 50 %, предупрежденность – 0 %. В остальных случаях оправдываемость и предупрежденность принимались равными 0 %.

При проведении испытаний в 2010 г. сравнение синоптических и методических прогнозов осадков в градации 11–34 мм/12 ч стало менее объективным и показательным, поскольку в соответствии с [5] количество осадков в градациях 11–34 и 35–49 мм/12 ч оценивалось в одной градации 15–49 мм/12 ч.

При оценке прогнозов шквалов учитывался допуск в 2 м/с. Оправдываемость и предупрежденность принимались равными 100 %, если фактический ветер соответствовал прогнозируемой градации с допуском ± 2 м/с. В остальных случаях показатели успешности принимались равными 0 %.

Для оценки прогнозов шквалов и осадков использовались данные наблюдений всех метеорологических станций и постов территории деятельности ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС», а также сообщения, поступавшие от территориальных органов МЧС России, и данные, полученные в результате обследования районов чрезвычайных ситуаций по запросам потребителей для возмещения нанесенного ущерба при неблагоприятных погодных условиях, при опросе различных организаций. При этом методические прогнозы шквалов и осадков считались оправдавшимися при наличии подобной информации.

В табл. 1 приведены осредненные по градациям и по территории деятельности ФГБУ «Центрально-Черноземное УГМС» показатели успешности методического прогноза осадков, в табл. 2 – методических прогнозов шквалов для заблаговременностей 12 и 24 ч за 2009–2010 гг.

В табл. 3 и 4 для Курской области проведено сравнение успешности методических прогнозов с синоптическими прогнозами и с прогнозами, рассчитанными по применяемым в оперативной работе методам аналогичного прогноза П.Г. Пантелеева (сильные ливни) и Г.Д. Решетова (шквалы).

Таблица 1

**Показатели успешности методических прогнозов осадков
по Центрально-Черноземному УГМС в 2009-2010 гг.**

Исходный срок		Оправдываемость прогнозов			Предупрежденность		
		с явлен.	без явлен	средняя	с явлен.	без явлен	средняя
Заблаговременность 12 ч							
00 ч ВСВ	2009 г.	37	85	61	59	49	54
	2010 г.	16	80	48	30	47	39
	средняя	27	83	55	45	48	47
12 ч ВСВ	2009 г.	38	85	62	71	63	67
	2010 г.	18	80	49	27	50	38
	средняя	28	83	56	49	57	53
Заблаговременность 24 ч							
00 ч ВСВ	2009 г.	32	84	58	58	57	58
	2010 г.	13	80	46	16	47	31
	средняя	23	82	52	37	52	45
12 ч ВСВ	2009 г.	32	83	57	43	44	43
	2010 г.	17	80	49	35	50	42
	средняя	25	82	53	39	47	43

Таблица 2

**Показатели успешности методических прогнозов шквалов
по Центрально-Черноземному УГМС в 2009-2010 гг.**

Исходный срок		Оправдываемость прогнозов			Предупрежденность		
		с явлен.	без явлен.	средняя	с явлен.	без явлен.	средняя
Заблаговременность 12 ч							
00 ч ВСВ	2009 г.	11	79	45	95	71	83
	2010 г.	7	79	43	72	69	71
	средняя	9	79	44	84	70	77
12 ч ВСВ	2009 г.	3	77	40	100	77	88
	2010 г.	7	79	43	90	78	84
	средняя	5	78	42	95	78	86
Заблаговременность 24 ч							
00 ч ВСВ	2009 г.	2	77	40	88	73	80
	2010 г.	8	79	44	77	76	77
	средняя	5	78	42	83	75	79
12 ч ВСВ	2009 г.	7	78	42	88	69	78
	2010 г.	9	78	43	87	75	81
	средняя	8	78	43	88	72	80

Сравнение успешности прогнозов осадков по Курской области в 2009-2010 гг.

Исходный срок 00 ч ВСВ

Метод прогноза		Оправдываемость прогнозов			Предупрежденность		
		с явлен.	без явлен.	средняя	с явлен.	без явлен.	средняя
Заблаговременность 12 ч							
Методический	2009 г.	38	100	69	64	51	57
	2010 г.	13	98	56	13	50	31
	средняя	26	99	62	38	50	44
Синоптический	2009 г.	68	98	83	60	93	76
	2010 г.	60	98	79	29	93	61
	средняя	64	98	81	44	93	69
П.Г. Пантелеева	2009 г.	57	97	77	30	96	63
	2010 г.	50	97	74	0	97	49
	средняя	54	97	75	15	97	56
Заблаговременность 24 ч							
Методический	2009 г.	34	99	67	58	59	58
	2010 г.	16	100	58	0	52	26
	средняя	25	100	62	29	56	42
Синоптический	2009 г.	50	96	73	18	93	56
	2010 г.	67	100	83	100	97	98
	средняя	58	98	78	59	95	77

За период оперативных испытаний всего синоптических прогнозов и прогнозов по методам Г.Д. Решетова и П.Г. Пантелеева составлено 248, методических прогнозов ливней и шквалов для каждой области – по 245 с заблаговременностью 12 ч и по 247 с заблаговременностью 24 ч.

Несмотря на некоторую некорректность сравнения (о причинах было сказано выше), приведенные данные пока говорят о преимуществе синоптического метода.

В течение всего периода оперативных испытаний методические прогнозы поступали стабильно. Информация отсутствовала в 2009 году только в трех случаях с заблаговременностью 12 ч, и в одном случае с заблаговременностью 24 ч.

Средняя по градам оправдываемость методических прогнозов осадков по региону за весь период составила 62 % на 12 и 24 ч, предупрежденность случаев с осадками – 44 и 42 % соответственно. Критерий Пирси-Обухова для градации 50 мм/12 ч и более на 12 и 24 ч составил 0,30, что свидетельствует о практической значимости методических прогнозов осадков в указанной градации.

Средняя по градам оправдываемость методических прогнозов шквалов по региону за весь период составила на 12 ч – 56 %, на 24 ч – 54 %, предупрежденность случаев со

шквалами – 72 и 73 % соответственно. Критерий Пирси-Обухова для градации ОЯ (25 м/с и более), в том числе ураганов (33 м/с и более), на 12 и 24 ч составил 0,35.

Анализ результатов испытаний методических прогнозов по Центрально-Черноземному УГМС показал, что по-прежнему наиболее низким показателем успешности является оправдываемость прогнозов с явлением (23–28 % для осадков и 5–9 % - для шквалов), что говорит о большом числе «ложных тревог». При этом для осадков предупреденность случаев с явлением тоже достаточно низка (37–49 %). Для шквалов предупреденность случаев с явлением существенно выше – 83–95 %.

Сравнительный анализ результатов испытаний для Курской области показал, что синоптические методы прогноза осадков и шквалов, в основном, оправдываются лучше, чем прогнозы по испытываемым методам и по методам Г.Д. Решетова и П.Г. Пантелеева.

Оправдываемость случаев с явлением на 12 и 24 ч составила для синоптического метода 64 и 58 % соответственно, для методического – 26 и 25 % соответственно. Средняя оправдываемость у методических прогнозов на 12 и 24 ч – 62 %, у синоптических – 81 и 78 % соответственно.

Таблица 4

Сравнение успешности прогнозов шквалов по Курской области в 2009-2010 гг.

Исходный срок 00 ч ВСВ

Прогноз		Оправдываемость прогнозов			Предупреденность		
		с явлен.	без явлен.	средняя	с явлен.	без явлен.	средняя
Заблаговременность 12 ч							
Методический	2009 г.	17	97	57	80	65	72
	2010 г.	14	98	56	75	67	71
	средняя	15	97	56	78	66	72
Синоптический	2009 г.	57	99	78	80	97	89
	2010 г.	75	99	87	94	95	95
	средняя	66	99	83	87	96	92
Г.Д. Решетова	2009 г.	27	99	63	50	95	72
	2010 г.	25	96	60	38	92	65
	средняя	26	97	62	44	94	69
Заблаговременность 24 ч							
Методический	2009 г.	3	100	51	50	70	60
	2010 г.	11	100	56	100	74	87
	средняя	7	100	54	75	72	73
Синоптический	2009 г.	20	100	60	100	97	98
	2010 г.	50	100	75	100	95	97
	средняя	35	100	68	100	96	98

Исключение составляет оправдываемость прогнозов осадков без явления, где оправдываемость методических прогнозов оказалась на 1–2 % выше, чем у синоптических прогнозов (99 и 98 % соответственно в прогнозе на 12 ч, и 100 и 98 % соответственно – на 24 ч). Вместе с тем предупрежденность по всем градациям значительно выше у синоптического метода.

В целом сравнение синоптических и методических прогнозов показало наличие у последних большего числа «ложных тревог» при недостаточно точной детализации прогноза ОЯ по территории распространения. Причем в 2010 году количество «ложных тревог» существенно увеличилось по сравнению с 2009 г., что можно объяснить ошибками в подборе параметров конвекции при аномально жарком лете. В течение всего периода испытаний прослеживается недостаточный учет влияния параметров при мезо- и микропроцессах.

В качестве примера предложен для рассмотрения прогноз на день 28 августа 2010 г. Автоматизированные методы прогнозировали осадки и шквалы в градациях ОЯ и КМЯ (комплекс метеорологических явлений) от 00 ч 28 августа 2010 г. по всем областям Центрального Черноземья. Прогнозировались очень сильные дожди количеством более 50 мм/12 ч и очень сильный ветер в градациях «ураган».

Синоптическая ситуация фактически складывалась следующим образом. В средней тропосфере над территорией региона располагалась центральная часть высотной фронтальной зоны, поэтому скорость перемещения барических образований, расположенных на более низких уровнях (циклон прослеживался до высоты 3 км) была очень большой. Приземный циклон за 12 ч (с 00 до 12 ч ВСВ 28 августа) сместился с запада Республики Беларусь на Смоленскую область и углублялся на 5 гПа у поверхности Земли и на 2–5 гПа на высоте изобарических поверхностей 850 и 700 гПа. Помимо поступательного движения, в циклоне с большой скоростью разворачивались атмосферные фронты – сначала фронт окклюзии в теплом секторе, затем один за другим два холодных фронта с волнами. Прохождение основных фронтов в Белгородской, Тамбовской и Воронежской областях наблюдалось в период с 16 до 22 ч 28 августа, т.е. во время максимального развития конвекции. Через остальные области фронтальные разделы переместились в первой половине дня. В Белгородской области днем местами прошли дожди количеством 15–21 мм, отмечался ветер 18–22 м/с, местами выпал град величиной 5–6 мм. В Воронежской и Тамбовской областях прохождение основного фронта пришлось на вечер 28 августа, а поскольку срок действия прогнозов в этих областях начинается в 15 ч ВСВ (19 ч МСК), то по данным наблюдений дожди в отдельных районах количеством 15–36 мм и ветер скоростью 15–20 м/с вошли в период

действия прогноза на ночь 29 августа (на ночь 29 августа 2010 г. по территории Воронежской, Липецкой и Тамбовской областей прогнозировался дождь количеством 35–49 мм/12 ч и ветер порывами 25–32 м/с). В остальных областях местами отмечались небольшие и умеренные дожди и грозы.

Из примера видно, что синоптическая ситуация предусмотрена методическим прогнозом правильно, но детализация прогноза по территории рассматриваемых субъектов федерации оказалась недостаточно точной в виду недостаточно большого горизонтального разрешения региональной модели. Поэтому в зоне спрогнозированных явлений ОЯ оказались все области Центрально-Черноземного УГМС, и, кроме того, существенно завышены (практически на две градации) прогностические величины осадков и шквалов на день 28 августа 2010 г. Следовательно, с погрешностью оказалось рассчитано время прохождения и условия обострения фронтальных разделов на конкретной рассматриваемой территории.

О несовершенной детализации прогнозов по региону и в зависимости от синоптической ситуации в испытываемых методах говорит пример, приведенный в Программе испытаний: прогноз на день 13 июля 2007 г.

«...Примером удачного методического прогноза шквала может служить прогноз на день 13 июля 2010 г. по Курской области. В методическом прогнозе от 12 ч 12 июля 2010 г. заблаговременностью 24 ч в Курской, Белгородской и Брянской областях прогнозировался ветер в градации 25–32 м/с, в остальных областях явлений не ожидалось. В прогнозе от 00 ч 13 июля 2010 г. заблаговременностью 12 ч в Курской и Белгородской областях также ожидался ветер 25–32 м/с, в Брянской, Орловской и Воронежской областях ожидался ветер 20–24 м/с, в остальных областях – без явлений.

Фактически при активной грозовой деятельности в период максимального развития конвекции на западе Курской области (М-2 Рыльск с 18 ч 31 мин до 18 ч 45 мин МСК) был отмечен шквал с порывами ветра до 20 м/с). При этом между станциями ветер мог усиливаться до больших значений скорости, т.к. запросы о данных метеорологических наблюдений о ветре в связи со случаями нанесения существенного ущерба строениям поступали именно в указанный период времени. В этом случае в методическом прогнозе, хотя он и оказался недостаточно детализированным в пространстве (явления давались по нескольким областям, а были только по Курской), частичная детализация все же прослеживается – наиболее интенсивные явления прогнозировались в той части территории, где они и наблюдались в конечном итоге – на крайнем юго-западе Центрально-Черноземного региона.

Анализируя случаи с фактически наблюдавшимися ОЯ и КМЯ за исследуемый

период можно с уверенностью сказать, что одновременно по всем областям обслуживаемого региона конвективные явления градаций ОЯ или КМЯ (по шквалу или ливням) не достигали».

Выводы и предложения:

1. Проведенные оперативные испытания показали необходимость корректировки исходных модельных параметров, используемых в данных методах.

2. Учитывая то обстоятельство, что заблаговременность прогнозов конвективных осадков и шквалов в градации ОЯ и КМЯ является довольно значительной (12 и 24 ч), можно считать данные автоматизированные методы полезными и перспективными для практической деятельности. На данном этапе автоматизированные методы с учетом корректировок целесообразно использовать в качестве консультативных.

3. Низкая оправдываемость методических прогнозов конвективных осадков и шквалов может быть объяснима недостаточным учетом мезо- и микромасштабных процессов, с которыми часто связаны локальные конвективные ОЯ.

4. Для повышения успешности автоматизированных методов расчета конвективных осадков и шквалов, достижения точности районирования и, как следствие, улучшения качества обслуживания потребителей в субъектах РФ, особенно при ОЯ и КМЯ, предлагается увеличить дискретность расчетов до 3–6 ч, производя их с постепенным уменьшением заблаговременности, уточнением исходных параметров, а также с увеличением пространственного разрешения по горизонтали для выявления особенностей мезо- и микромасштабных процессов в пределах конкретных территорий.

Список литературы

1. *Пантелеев П.Г.* Особо опасные ливни в Молдавии и их прогнозирование // Сб. работ Кишинев. гидрометеорол. обсерватории. Вып.2. – Киев, 1967. – С. 118–130.

2. *Решетов Г.Д., Чернова В.Ф.* Способ прогноза шквала на 12-24 ч // Метеорология и гидрология. – 1976. – № 3. – С. 15–24.

3. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.

4. РД 52.88.629-2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

5. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА И ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТА
КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА,
ОСАДКОВ И ИНДЕКСА ПОЖАРООПАСНОСТИ
ПО АДМИНИСТРАТИВНЫМ РАЙОНАМ АЛТАЙСКОГО КРАЯ,
ТОМСКОЙ, КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТЕЙ И ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО
АВТОНОМНОГО ОКРУГА НА 1–5 СУТОК**

Автоматизированный метод прогноза элементов погоды по Западной Сибири разработан на базе интерпретации выходных данных глобальных моделей UKMO и ECMF. Температура воздуха, осадки и дефицит точки росы в комплексе позволяют оценить пожароопасность в лесах по индексу Нестерова. Расчетные показатели облегчают труд синоптика при составлении прогноза пожароопасности. Методика расчета, разработанная на базе данных пятилетних архивов объективных анализов указанных моделей, применяется с прогностическими полями (РР-концепция). Рабочие выборки построены так, что исключается сезонный и суточный ход метеопараметров. При расчете комплексного прогноза применяются алгоритмы дополнительной классификации внутри сезонов. Для классификации температуры воздуха и точки росы учитывается знак ожидаемого изменения приземного давления (в холодный период) или знак изменения температуры на поверхности 850 гПа (в теплый период). Для классификации осадков использован алгоритм DW распознавания образов, основанный на анализе соотношения условных вероятностей разных классов [5]. Значения предиктантов вычисляются по уравнениям, построенным по методу группового учета аргументов (МГУА) [4]. В качестве предикторов выступают модельные параметры, отражающие термобарическое состояние и увлажнение атмосферы. В базовый список также входят значения изменений, лапласианов, градиентов этих параметров.

Полная версия технологической линии, получившей название WSIBMZ, включает все необходимые для производства прогнозов этапы:

1. выборка исходных фактических данных из оперативных баз данных с подключением алгоритмов контроля и восстановления;
2. выборка данных гидродинамических моделей;
3. определение текущего периода года и выбор соответствующих методических алгоритмов;
4. расчет прогнозов;

5. форматирование выходной продукции для различных пользователей: таблицы, телеграммы, файлы для оценок;
6. представление результатов в ГИС;
7. оценки прогнозов.

В период проведения испытаний (в течение всего 2010 года) результаты прогнозов испытываемым методом ежедневно поступали в оперативном режиме в утренние часы. Прогностические и фактические данные метеопараметров для испытаний представлены по метеостанциям, относящимся к административным единицам территории: по Новосибирской – 37, Томской – 23, Кемеровской области – 21, Алтайскому краю – 32, Ханты-Мансийскому автономному округу – 27 станций. Ежемесячно автоматизировано рассчитывались оценки прогнозов согласно Наставлению [8] и Методическим указаниям [7].

Средняя оправдываемость прогнозов за весь период для минимальной и максимальной температур на первые сутки составляет 73 и 78 % соответственно. Если рассмотреть оценки по территориям в сравнении (рис. 1), то ниже всего они в Кемеровской области, где прогнозирование элементов погоды по всем имеющимся методам затруднительно из-за сложной орографии. Наиболее низкие оценки оправдываемости зимой (ниже 50 % в феврале), наиболее высокие – летом (до 88–90 %). Средняя арифметическая ошибка прогнозов показывает занижение температуры (до -3°C) по всей территории Сибири в январе и феврале, особенно сильное в Кемеровской области (до -5°C). Летом (в пределах 10°C) завышается дневная температура. В остальные периоды года систематическая ошибка мала.

Наибольший интерес представляют результаты сравнения качества прогнозов экстремальной температуры (минимальной и максимальной) испытываемым методом и по другим схемам: по схеме РЭП (ФГБУ «Гидрометцентр России»), по региональным разработкам, внедренным в оперативную практику ранее (авторы – И.Г. Храмцова [11], М.Я. Здерва [2, 3]).

Как видно из рис. 2, качество прогнозов минимальной температуры испытываемым методом выше, чем по более ранним разработкам ФГБУ «СибНИГМИ», но ниже, чем по схеме РЭП. Точность прогнозов максимальной температуры по испытываемому методу на первые трое суток уступает точности прогнозов по уже внедренным методам, однако на 4-5 сутки качество прогнозов выравнивается по всем подходам, испытываемый метод даже показывает более высокие показатели оправдываемости.

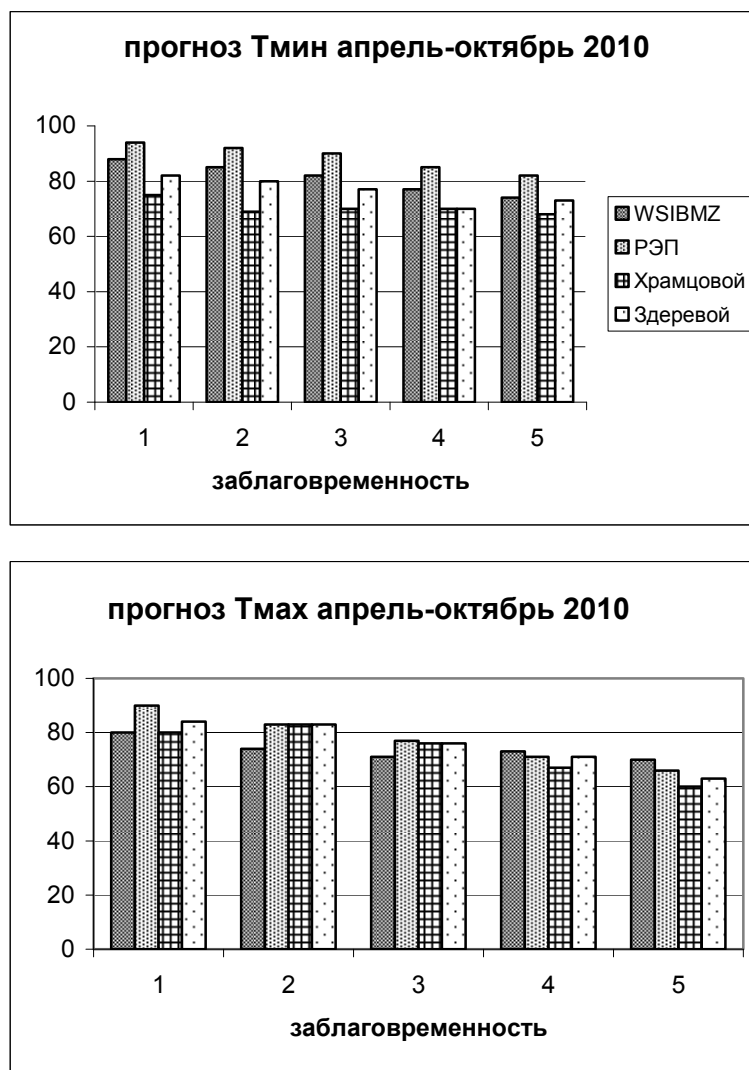


Рис. 2. Средняя оправдываемость прогнозов минимальной и максимальной температуры по Новосибирску.

За период испытания схемы WSIBMZ (в течение 2010 года) для каждой области (края) было произведено 345 расчетов прогнозов осадков заблаговременностью от 1 до 5 суток с детализацией по пунктам и по полусуткам. Качество прогнозов на 1–4-е сутки не изменяется в зависимости от заблаговременности и заметно снижается на 5 сутки, когда из базовой для прогноза информации исключаются данные УКМО (заблаговременность прогнозов до 96 ч). Минимальные оценки оправдываемости прогноза факта выпадения осадков на испытываемой территории получены в мае, в основном на уровне 60–66 %, а в Кемеровской области и в Алтайском крае еще ниже – 50–56 % (рис. 3). В зимние месяцы по всем областям средняя оправдываемость прогноза осадков максимальна. В январе в большинстве пунктов Новосибирской области и Алтайского края она близка к 100 %. В остальные месяцы оправдываемость прогнозов факта выпадения осадков варьирует в пределах 65–75 %, а по количеству осадков – в пределах 70–85 %. Сравнение результатов с прогнозами по

предыдущей региональной разработке (автор – И.Г. Храмцова) [9, 10] показало небольшое преимущество при прогнозировании ночных осадков (рис. 4). На первые сутки есть возможность оценить качество нового метода относительно расчетов по региональной гидродинамической модели (автор – В.М. Лосев). В испытываемом периоде средняя оправдываемость прогнозов по гидродинамической модели на 3–6 % выше. Сравнение прогнозов осадков испытываемым методом с оперативными прогнозами синоптиков по конкретным пунктам территории (Томск, Кемерово, Барнаул, Новосибирск) показало примерно равный уровень качества прогноза дневных осадков и более высокую (на 7–14 %) оправдываемость оперативных прогнозов синоптиков на ночное время, как по факту выпадения осадков, так и по количеству – на 2–6 %.

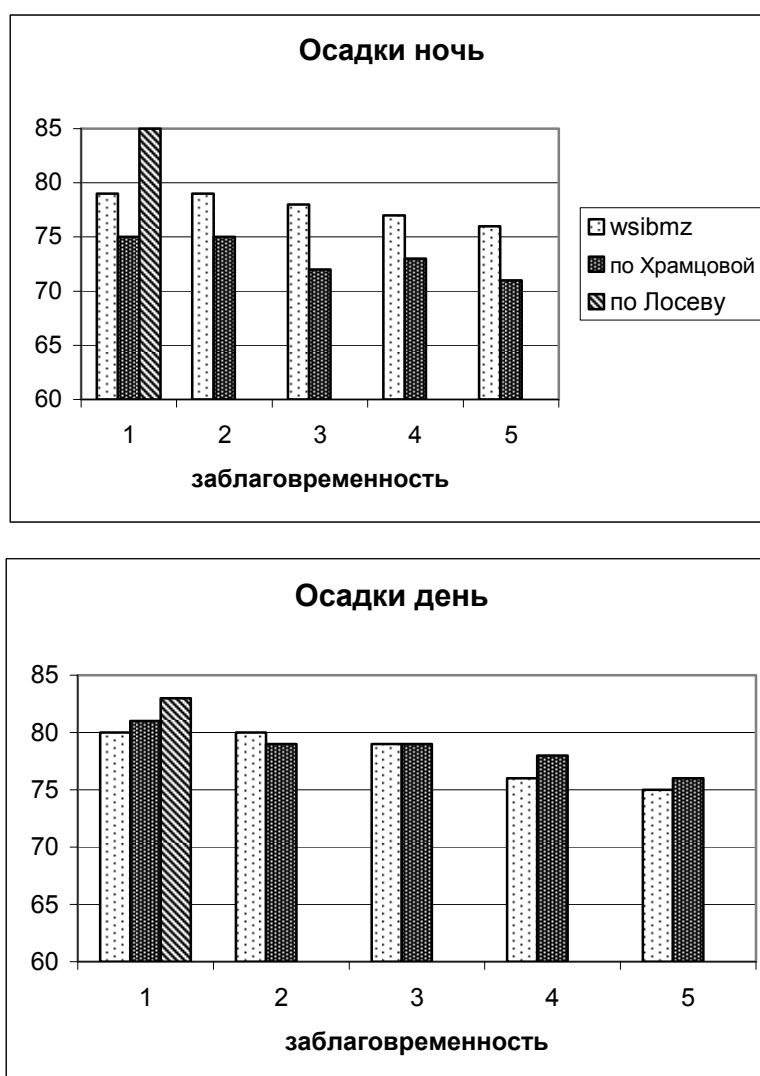


Рис. 4. Средняя оправдываемость прогнозов осадков по территории Западной Сибири за 2010 год.

Расчет прогностических значений показателя Нестерова (показателя пожароопасности) по станциям региона производился на базе прогнозов максимальной температуры воздуха, дефицита точки росы у поверхности Земли и осадков по схеме WSIBMZ [1]. Оценка прогнозов класса пожарной опасности осуществлялась по Методическим указаниям [6].

Все прогнозы класса пожарной опасности с заблаговременностью 1–5 суток оценивались по истечении срока их действия путем сравнения ожидавшегося и фактически наблюдавшегося классов пожарной опасности за каждый день. При совпадении ожидавшихся и наблюдавшихся классов пожарной опасности прогноз оценивался в 100 %, в случае расхождения прогнозируемой и наблюдавшейся пожарной опасности на один (смежный) класс, прогноз получал оценку 50 %, а при расхождении на два класса и более – 0 %.

Анализ качества прогнозов пожароопасности показал явную тенденцию его понижения с увеличением заблаговременности: от оправдываемости 83–84 % на первые сутки до 62–66 % на пятые сутки (рис. 5).

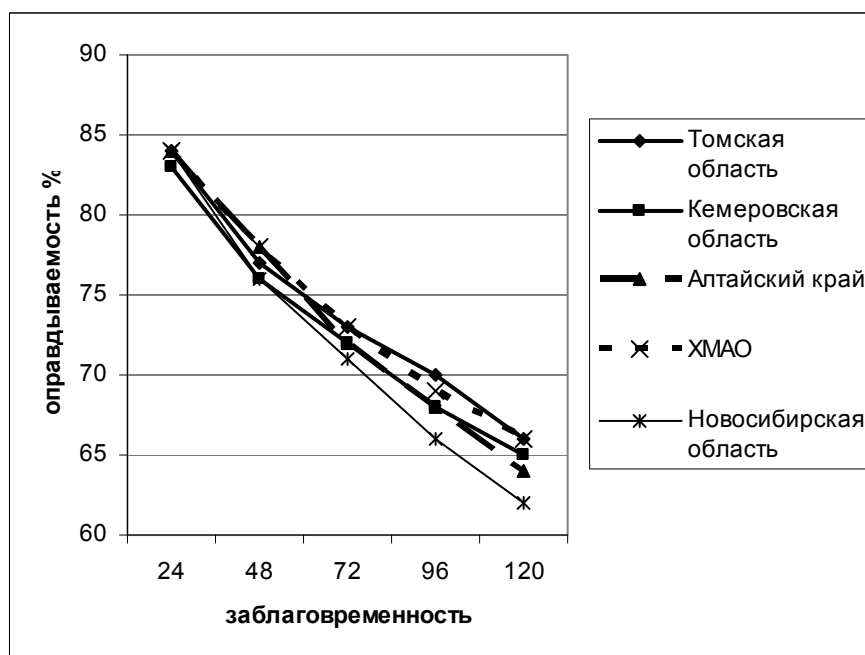
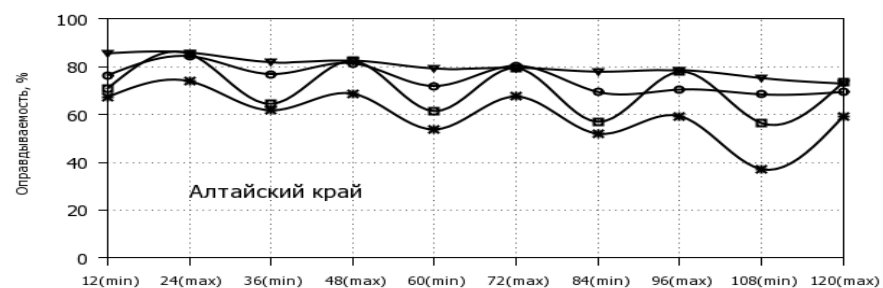
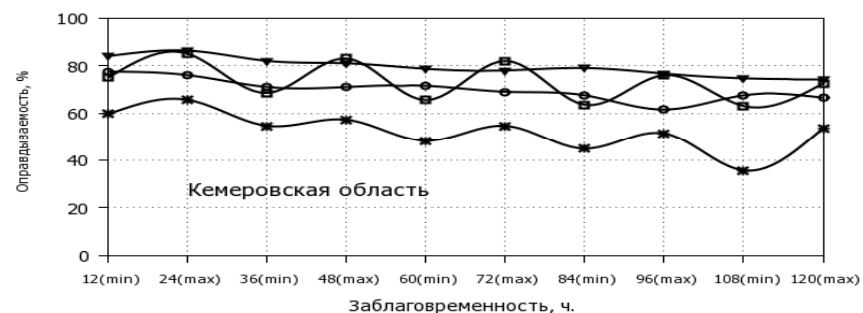
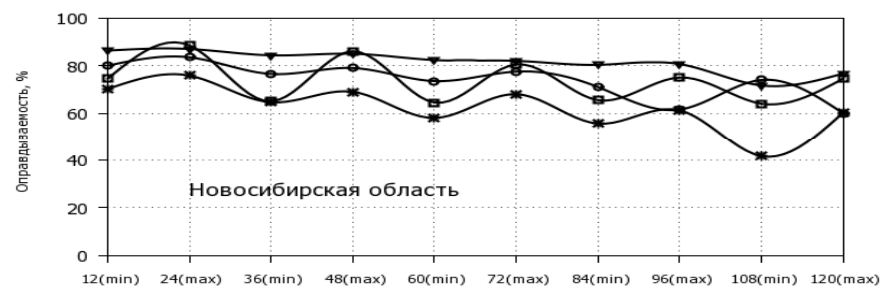
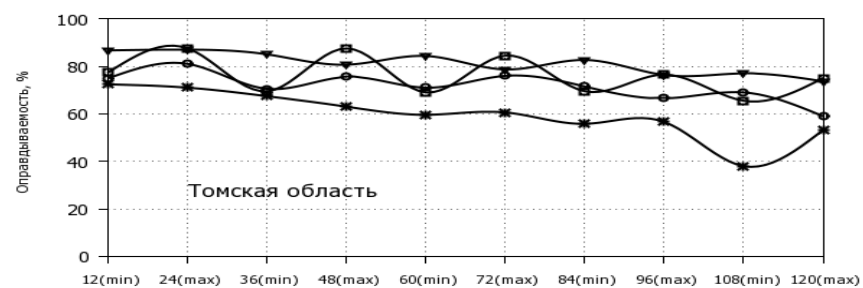
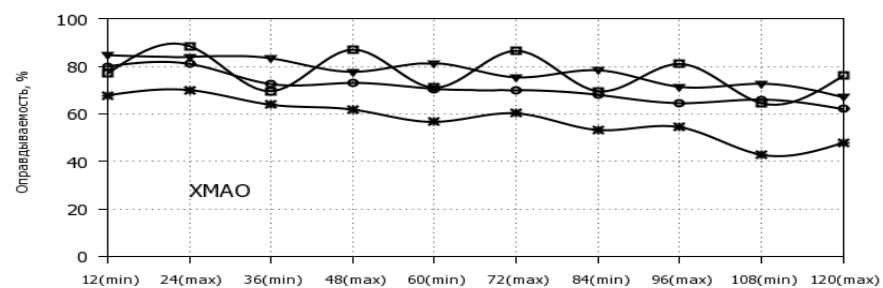


Рис. 5. Средняя оправдываемость прогнозов пожароопасности по областям региона Западная Сибирь за период май–октябрь 2010 года по схеме WSIBMZ.

Решением ЦМКП Росгидромета от 21 октября 2011 г. рекомендовано в ЦГМС региона использовать прогнозы экстремальной температуры и осадков, рассчитанные по схеме WSIBMZ, в качестве вспомогательного материала в холодный период года и как основные расчетные, включая показатели пожароопасности, в теплый период года.

Список литературы

1. Здерева М.Я., Виноградова М.В. Среднесрочный прогноз степени пожарной опасности в лесах по метеорологическим условиям // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 1. – С. 16–27.
2. Здерева М.Я., Токарев В.Г., Торубарова Г.П. О результатах испытания метода и технологии прогноза температуры воздуха по полусуткам пентады для административных районов Новосибирской области (Новосибирский ЦГМС-РСМЦ, СибНИГМИ) // Информационный сборник № 33. – 2006. – С. 54–66.
3. Здерева М.Я., Торубарова Г.П., Шустова Г.А. Физико-статистическая схема прогноза экстремальной температуры воздуха по станциям Новосибирской области на 1-5 суток // Труды СибНИГМИ. – 2006. – Вып. 105. – С. 40–46. http://sibnigmi.ru/documents/papers_v105.pdf
4. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.: Радио и связь, 1987. – 120 с.
5. Манохин А.Н. Алгоритм DW для распознавания образов: Пакет прикладных программ ОТЭКС. – Новосибирск: НГУ, 1981. – С. 3–30.
6. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – Гидрометслужба, 1975 г. – 15 с.
7. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.
8. РД 52.27.724-2009. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.
9. Храмцова И.Г., Прокопьева И.П., Здерева М.Я. Модель прогноза осадков на 1-5 дней в тёплое полугодие по территории Урала и Сибири // Труды СибНИГМИ. – 1992. – Вып. 100. – С. 167–178.
10. Храмцова И.Г., Прокопьева И.П., Здерева М.Я., Шустова Г.А. Прогноз осадков на 1–5 дней по южной половине Урала и Сибири в холодное полугодие // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1989. – Вып. 90. – С. 3–12.
11. Храмцова И.Г., Шустова Г.А. Схема прогноза температуры воздуха у земли на пять суток для районов Сибири // Труды ЗапСибНИИ Госкомгидромета. – 1986. – Вып. 79 – С.10–22.



Оправдываемость прогнозов температуры WSIBMZ по сезонам:

- Зима (IX-III) — * —
- Весна (IV-V) — o —
- Лето (VI-VIII) — v —
- Осень (IX-X) — □ —

Рис. 1. Средняя оправдываемость прогнозов температуры WSIBMZ по региону Западная Сибирь по сезонам года.

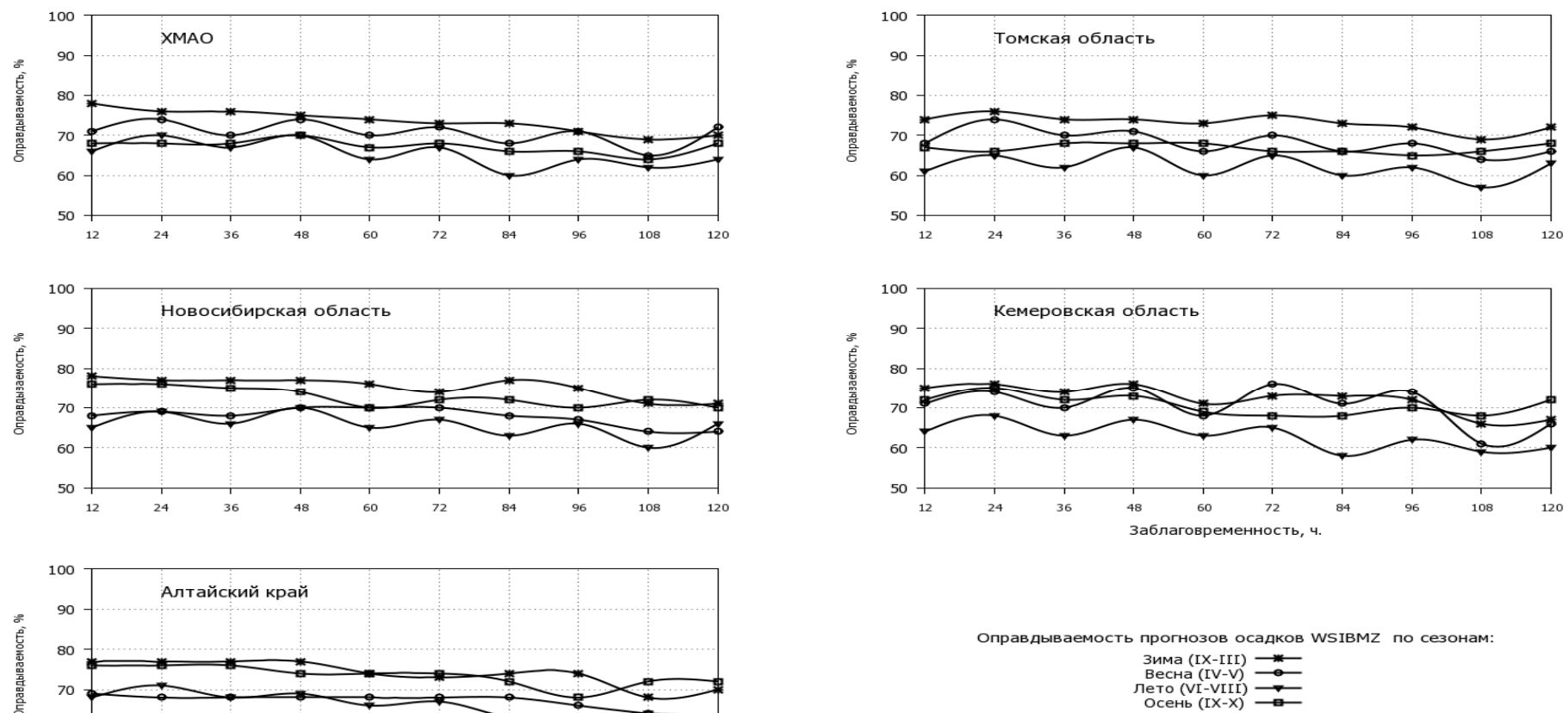


Рис. 3. Средняя оправдываемость прогнозов осадков WSIBMZ по региону Западная Сибирь по сезонам года.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПРИВОЛЖСКОМ, ВЕРХНЕ-ВОЛЖСКОМ, СЕВЕРО-КАВКАЗСКОМ УГМС И УГМС РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 1-2 МЕСЯЦА

Методы прогноза урожайности и валового сбора основных сельскохозяйственных культур нуждаются в усовершенствовании и обновлении. Необходимость обновления методов обусловлена изменением статистической отчетности Росстата (переход на учет урожайности в весе после доработки), сокращением объема агрометеорологических наблюдений, внедрением новых сортов и технологий возделывания культур.

В качестве теоретической основы при создании методов оценки условий вегетации и прогноза урожайности яровой пшеницы использовались методологические принципы моделирования воздействия условий внешней среды на продуктивность сельскохозяйственных культур, разработанные А.Н. Полевым [1–4]. Ключевым моментом при разработке новых методов прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур является создание базовой длиннопериодной модели продукционного процесса растений.

Продукционный процесс растений можно представить как взаимодействие совокупности физиологических процессов, конечным результатом которого является урожай. Формирование урожая рассматривается как развивающийся во времени процесс. В основу моделирования продукционного процесса положено описание «поведения основных физиологических процессов (фотосинтеза, дыхания, роста и распределения ассимилятов)» в зависимости от складывающихся метеорологических условий. Моделирование продукционного процесса сводится к определению прироста общей биомассы и биомассы отдельных органов растений за определенные интервалы времени.

Проведенный анализ чувствительности модели к входным параметрам и численные эксперименты по повышению чувствительности модели к условиям тепло- и влагообеспеченности позволили свести объем входной оперативной информации, закладываемой в модель, к двум элементам: средней декадной температуре воздуха и сумме осадков за декаду. Параметры модели определялись с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных культур и климатических особенностей субъектов Российской Федерации [5].

Структура модели модифицирована под задачу оценки средних областных условий формирования урожая сельскохозяйственных культур. Она удовлетворяет следующим условиям:

- описывает основные процессы жизнедеятельности растений (фотосинтез, дыхание, рост и распределение ассимилятов);
- учитывает влияние метеорологических факторов на формирование продуктивности посевов;
- предусматривает географическую изменчивость параметров модели;
- адаптирована к сокращенным объемам исходной информации практически без нарушения степени детализации математического описания основных процессов жизнедеятельности растений.

В ФГБУ «ВНИИСХМ» обновлены и внедрены в оперативную практику УГМС методы еженедельной оценки условий вегетации и прогноза урожайности озимой пшеницы, озимой ржи, ярового ячменя, картофеля, зерновых и зернобобовых культур в целом по всем субъектам Российской Федерации в установленные оперативные сроки.

Урожайность сельскохозяйственных культур определяется уровнем культуры земледелия, почвенно-климатическими и погодными условиями района возделывания. Временные ряды урожайности культур рассматриваются как сумма двух слагаемых – детерминированной составляющей и случайных отклонений от нее

$$Y_t = f(t) + \omega_t, \quad (1)$$

где $f(t)$ – некоторая неслучайная функция времени (тренд); ω_t – случайная составляющая временного ряда.

Тенденция урожайности является следствием постепенного улучшения культуры земледелия при среднем уровне почвенно-климатических условий. Ее уровень зависит от внедрения в практику достижений науки и техники. Изменение случайной компоненты временных рядов урожайности определяется в основном агрометеорологическими условиями вегетационного периода конкретных лет.

Прогнозирование урожайности осуществляется с учетом обеих составляющих временного ряда: тренда (путем экстраполяции по одному временному ряду) и отклонений урожайности от сложившейся тенденции (с помощью оценки агрометеорологических условий произрастания сельскохозяйственных культур). Сумма двух полученных таким способом прогнозов дает суммарный прогноз урожайности.

Прогностическое значение трендовой составляющей на прогнозируемый год

рассчитывается с помощью метода гармонических весов, описанного в [2].

Основная идея метода заключается в том, что более поздним значениям временного ряда урожайности присваиваются бóльшие веса. В результате влияние более поздних значений урожайности должно сильнее отражаться на прогнозируемой трендовой составляющей, чем влияние более ранних.

Расчёт количественной оценки агрометеорологических условий произрастания осуществляется с помощью динамической модели продукционного процесса. Модель описывает процессы фотосинтеза, дыхания и роста растений в зависимости от биологического времени, измеряемого суммами эффективных температур.

Начало периода расчёта по модели определяется самой ранней средней многолетней датой всходов сельскохозяйственных культур, а окончание – средней датой восковой спелости на территории области.

В используемой модели установлены функциональные зависимости параметров модели от текущих погодных условий, определяемых минимальным количеством оперативных данных наблюдений – температурой воздуха и суммой осадков.

Для прогнозирования урожайности $Y_{прогр}$ используется выражение

$$Y_{прогр} = Y_{t+1} \cdot C, \quad (2)$$

где Y_{t+1} – тенденция урожайности сельскохозяйственной культуры на прогнозируемый год; C – оценка степени отличия складывающихся (на дату составления прогноза) агрометеорологических условий формирования урожая культуры от многолетних, на фоне которых формируется тенденция урожайности.

В 2005–2007 гг. Т.И. Русаковой разработана прикладная динамико-статистическая модель формирования урожая яровой пшеницы и на ее основе созданы методы оценки условий вегетации и прогноза урожайности яровой пшеницы по субъектам Европейской территории России.

Прогнозы составляются в весенне-летний период вегетации с различной заблаговременностью до созревания яровой пшеницы: за два месяца – 20 июня, за один месяц – 20 июля. Прогнозы рассчитываются на следующий день после получения оперативной информации за декаду, предшествующую прогнозу.

Разработан автоматизированный прогностический комплекс, позволяющий рассчитывать ожидаемую урожайность яровой пшеницы по одному или нескольким субъектам Российской Федерации, а также оценивать оправданность прогнозов после получения данных Росстата о фактической урожайности яровой пшеницы в прогнозируемом

году.

Программное обеспечение методики прогноза реализовано в среде Windows. При разработке методики составления прогноза использовались следующие программные продукты:

Visual Fortran – на языке Фортран реализованы все прогностические программы;

Borland Builder C++ 5.0 – как среда разработки интерфейса программного комплекса.

Интерфейс пользователя обеспечивает успешную работу прогнозиста-агрометеоролога в среде ОС Windows. Основное меню программного комплекса показано на рисунке.

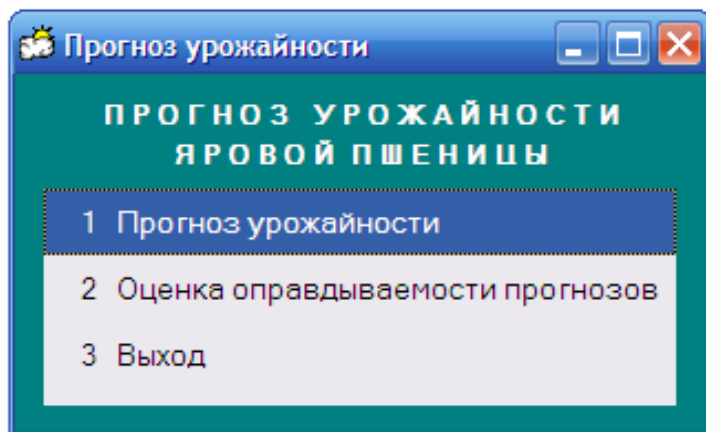


Рис. Основное меню программного комплекса.

Оценка качества испытываемого метода прогноза проводилось в соответствии с Методическими указаниями [6]. Заключение о целесообразности использования метода для оперативного обслуживания сформулировано на основании авторских и производственных испытаний путём сравнения результатов оценки прогнозов, составленных по новой методике, с инерционным и климатологическим прогнозами.

Оценка этих методов производится путем сравнения расчетных данных с фактическим значением урожайности яровой пшеницы. Заключение о качестве метода делается на материалах независимой выборки с помощью двух критериев: оправдываемости метода и ошибки метода.

Оправдываемость метода γ представляет собой выраженное в процентах отношение числа оправдавшихся прогнозов к числу всех прогнозов, составленных по данному методу:

$$\gamma = \frac{n_+}{N} \cdot 100, \quad (3)$$

где n_+ – число оправдавшихся прогнозов; N – общее число прогнозов.

Прогноз считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает допустимую

погрешность, рассчитанную на основании среднего квадратичного отклонения прогнозируемого элемента (σ) с учетом заблаговременности составления прогноза

Допустимой погрешностью для прогнозов урожайности яровой пшеницы с двухмесячной заблаговременностью является величина, равная $0,8 \sigma$, для прогнозов с заблаговременностью один месяц – $0,67 \sigma$.

Ошибка метода $\bar{P}$ представляет собой выраженную в процентах среднюю относительную ошибку оправдавшихся прогнозов

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n_+}, \quad (4)$$

где P_i – относительная ошибка в процентах оправдавшегося прогноза, имеющая вид

$$P_i = \frac{|y_\phi - y_n|}{\bar{y}_\phi} \cdot 100, \quad (5)$$

где y_n – прогнозируемое значение элемента; y_ϕ – фактическое значение; $\bar{y}_\phi$ – среднее арифметическое его значение за последние пять лет.

Для внедрения метода в оперативную практику необходимо, чтобы оправдываемость метода была выше оправдываемости инерционного и климатологического прогнозов при одной и той же допустимой ошибке, или ошибка метода должна быть наименьшей при одном и том же показателе оправдываемости.

Под инерционным прогнозом подразумевается прогноз, составленный на основании предположения, что прогнозируемое значение элемента будет таким же, как и в прошлом году. Под климатологическим подразумевается метод прогноза, при котором в качестве прогнозируемого значения принимается его значение по тренду. В качестве прогнозируемого значения элемента по тренду на год прогноза принимается среднее арифметическое из фактических наблюдений за последние пять лет.

Метод разрабатывался на средних многолетних значениях по данным агроклиматических справочников и на оперативной информации за период с 1995 по 2000 год. Авторские испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы проводились на независимом материале 2001–2007 гг. Результаты сравнительной оценки динамико-статистического метода прогноза, инерционного и климатологического представлены в табл. 1 и 2. Для всех представленных субъектов РФ оправдываемость испытываемого метода, как с заблаговременностью два месяца (табл. 1), так и с заблаговременностью месяц (табл. 2), превышает оправдываемость инерционного и климатологического методов прогноза.

Оправдываемость динамико-статистического, инерционного и климатологического методов прогноза урожайности яровой пшеницы на независимом материале (2001–2007 гг.) с заблаговременностью два месяца (авторские испытания: $\sigma_{\text{доп.}}=0,8\sigma$)

Субъект РФ	Метод прогноза					
	динамико-статистический		инерционный		климатологический	
	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
Приволжское УГМС						
Ульяновская область	100	5,0	85,7	11,7	85,7	15,2
Пензенская область	100	9,2	71,4	16,7	42,9	8,9
Самарская область	100	8,2	85,7	13,3	100	21,6
Саратовская область	100	10,7	100	19,0	85,7	19,1
Оренбургская область	100	7,1	100	14,3	100	16,9
Верхне-Волжское УГМС						
Кировская область	100	9,5	57,1	6,7	71,4	7,8
Нижегородская область	100	7,4	85,7	10,1	71,4	14,7
Республика Марий Эл	100	5,0	71,4	11,3	85,7	15,3
Республика Мордовия	100	5,2	71,4	15,9	71,4	11,9
Удмуртская Республика	100	7,3	71,4	1,9	42,9	14,1
Чувашская Республика	100	8,6	85,7	11,8	100	9,8
УГМС Республики Татарстан						
Республика Татарстан	100	3,0	85,7	5,9	57,1	5,0
Северо-Кавказское УГМС						
Волгоградская область	100	4,4	57,1	16,7	57,1	7,5

Производственные испытания данного метода проводилось в течение трех лет (2008–2010 гг.) в четырех УГМС: Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском и УГМС Республики Татарстан. Результаты оценки оправдываемости прогнозов урожайности яровой пшеницы за этот период, рассчитанных по испытываемому методу, представлены в табл. 3. В этой же таблице для сравнения приведены результаты оценки инерционного и климатологического прогнозов.

Оправдываемость динамико-статистического, инерционного и климатологического методов прогноза урожайности яровой пшеницы на независимом материале (2001–2007 гг.) с заблаговременностью месяц (авторские испытания: $\sigma_{\text{доп.}}=0,67\sigma$)

Субъект РФ	Метод прогноза					
	динамико-статистический		инерционный		климатологический	
	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %	Оправдываемость, %	Относительная ошибка оправдавшихся прогнозов, %
Приволжское УГМС						
Ульяновская область	100	8,2	85,7	11,7	71,4	11,0
Пензенская область	100	6,3	57,1	13,8	42,9	8,9
Самарская область	100	9,4	85,7	13,3	71,4	15,3
Саратовская область	100	9,2	85,7	17,3	85,7	19,1
Оренбургская область	100	7,1	100	14,3	100	16,9
Верхне-Волжское УГМС						
Кировская область	100	5,5	57,1	6,7	71,4	7,8
Нижегородская область	100	8,1	71,4	6,8	71,4	14,7
Республика Марий Эл	100	7,0	71,4	11,3	85,7	15,3
Республика Мордовия	100	5,8	57,1	13,7	71,4	11,9
Удмуртская Республика	100	5,8	71,4	1,9	28,6	13,0
Чувашская Республика	100	7,6	85,7	11,8	85,7	6,3
УГМС Республики Татарстан						
Республика Татарстан	100	2,5	85,7	5,9	57,1	5,0
Северо-Кавказское УГМС						
Волгоградская область	100	5,1	57,1	16,7	57,1	7,5

В 2008–2009 гг. производственные испытания показали, что испытываемый метод прогноза имеет высокие показатели оправдываемости прогнозов во всех четырех УГМС (табл. 3).

В 2010 году урожайность яровой пшеницы практически на всей Европейской территории России была экстремально низкой в связи с установившейся в центральной части России аномальной жарой. В теплый период года температура воздуха на 6–7 °С превышала норму. Другой особенностью периода вегетации 2010 года в средней полосе России являлась сильная засуха. В 2010 году прогноз по испытываемому методу оправдался лишь в одном

субъекте Северо-Кавказского УГМС (Волгоградской области) и в трех субъектах территории ответственности Верхне-Волжского УГМС (Кировской области, Республике Мари Эл и Удмуртской Республике).

Коллегия Приволжского УГМС от 13.04.2011 г. приняла решение: «Учитывая высокую оправдываемость методики в 2007–2008 гг., внедрить динамико-статистический метод прогноза урожайности яровой пшеницы в практику оперативной работы на территории всех областей Приволжского УГМС».

Коллегия Верхне-Волжского УГМС от 12.05.2011 г. отметила «необходимость использования в ФГБУ «Нижегородский ЦГМС-Р» и во всех ЦГМС территории деятельности Верхне-Волжского УГМС методики прогнозирования яровой пшеницы».

Технический совет ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» от 11.04.2011 г. по результатам производственных испытаний принял решение: производственные испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы (автор – Т.И. Русакова), проводившиеся в ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» в период 2001–2010 гг., показали, что оправдываемость прогнозов по испытываемому методу в девяти из десяти лет составляет 90–99 %. Не оправдался прогноз в аномальном 2010 году, когда на территории республики отмечалась жесточайшая засуха, не имеющая аналогов за весь ряд регулярных метеорологических наблюдений. Вышеуказанный метод можно применять для прогнозирования урожайности яровой пшеницы в течение вегетационного периода в годы без природных аномалий.

Технический совет Северо-Кавказского УГМС от 24.03.2011 г. принял решение:

«Рекомендовать использовать в оперативной работе предлагаемый метод прогноза урожайности яровой пшеницы по Волгоградской области».

Таким образом, во всех четырех УГМС метод прогноза урожайности яровой пшеницы с заблаговременностью 1–2 месяца внедрен в оперативную практику.

Список литературы

1. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 175 с.
2. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 320 с.
3. Полевой А.Н. Методическое пособие по разработке динамико-статистических методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 36 с.
4. Полевой А.Н., Русакова Т.И. и др. Прикладная динамическая модель формирования урожая

сельскохозяйственных культур // Сб. докладов: Гидрометеорологическое обеспечение агропромышленного комплекса страны. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 15–31.

5. Русакова Т.И. Разработка и внедрение новых методов агрометеорологических прогнозов урожайности сельскохозяйственных культур по территории РФ // Информационный сборник № 32. – 2006. – С. 65–78.

6. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов.

Таблица 3

**Средняя для двух сроков прогноза (два месяца и месяц) оправдываемость прогнозов
урожайности яровой пшеницы по динамико-статистическому, инерционному и климатологическому методам
за 2008-2010 гг. (производственные испытания)**

Субъект РФ	Оправдываемость прогнозов, %								
	Динамико-статистический метод			Инерционный метод			Климатологический метод		
	2008 год	2009 год	2010 год	2008 год	2009 год	2010 год	2008 год	2009 год	2010 год
Приволжское УГМС									
Ульяновская область	98	77,5	37	77	62	0	79	87	0
Пензенская область	72	76,5	24	59	82	0	80	83	27
Самарская область	93	80	17	66	0	77	70	0	0
Саратовская область	96	63	16	77	0	0	91	10	0
Оренбургская область	84,5	81,5	32	77	18	0	66	77	0
Верхне-Волжское УГМС									
Кировская область	86	97	89	79	80	75	86	71	94,5
Нижегородская область	95	94	37	79	89	25	90	84	44
Республика Марий Эл	98	93	94	70	82	38	87	89	76
Республика Мордовия	85	94	45	73	82	19	79	66	63,5
Удмуртская Республика	97	99	89	84	97	69	87	84	84,5
Чувашская Республика	96	96	22	80	94	5	81	79,5	32
УГМС Республики Татарстан									
Республика Татарстан	96,5	94	20	80	59	0	81	85	0
Северо-Кавказское УГМС									
Волгоградская область	98	92	96	33	0	19	87	0	73,5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ Р. ЕНИСЕЙ У Г. КЫЗЫЛ

Основы метода

В основу физико-статистической модели долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья положены результаты исследования, ранее полученные Л.Г. Шуляковским [1], показывающие возможность использования при решении данной задачи регрессионных моделей, учитывающих факторы, наиболее полно характеризующие условия формирования максимальных уровней воды.

Исследуемый бассейн р. Енисей представляет собой сложную систему чередующихся горных хребтов и межгорных котловин, характеризующихся большим контрастом ландшафтно-гидрологических характеристик. Климат рассматриваемой территории, находящейся в «дождевой тени» от хребтов Алтая, отличается резко выраженной континентальностью.

На Енисее и других реках изучаемой территории периодически наблюдаются наводнения, причиняющие значительные убытки экономике республики. В отдельных случаях они носят катастрофический характер. Сравнительно редко максимальные уровни воды у г. Кызыл связаны с заторами льда (в 25 % случаев). Наводнения заторного происхождения бывают в годы с неустойчивым ходом температуры воздуха в момент вскрытия Енисея. За все время инструментальных наблюдений в створе зарегистрированный максимальный уровень воды в Енисее (836 см в 1945 году) обусловлен именно заторным явлением.

Чаще всего повышенные уровни воды в Енисее формируются в результате снегодождевых паводков и наблюдаются в мае-начале июня, причем могут быть как при прохождении первой волны половодья, так и повторяющихся волн.

В первом случае половодье формируется при устойчивом юго-западном переносе воздушных масс. На высоту уровня воды влияют как зимние запасы воды в снеге, так и температура воздуха в мае.

Во втором случае максимальные отметки уровня воды Енисея обеспечены запасами воды в снеге и дождями. В горных условиях ливни, связанные с прохождением

атмосферных фронтов, вызывают интенсивное таяние снежного покрова. При этом талый сток без существенных потерь на испарение и инфильтрацию попадает в русловую сеть, формируя максимум уровня воды в замыкающем створе. Площадь снегового покрытия бассейна в такой момент может составлять 10 %.

Формирование максимальных уровней весеннего половодья особенно трудно описать определенным набором факторов в горных районах, т.к. снежный покров распределен неравномерно, значима разница температур воздуха на различных высотах и зонах, дополнительно налагается дождевая составляющая притока воды. Все это в совокупности приводит к неравномерному поступлению талых вод в речную сеть. Гидрографы рек многопиковые, трудно разделяющиеся по типам питания. Особенно трудно выявить максимальный уровень весеннего половодья в годы с повышенным летним дождевым стоком.

При разработке метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья сначала подбирались оптимальные уравнения регрессии для обобщенных показателей формирования таких уровней. Это линейные комбинации гидрометеорологических параметров гидросферы и атмосферы, измеряемых в пунктах наблюдений гидрометеорологической сети. К обобщенным показателям относятся:

- 1) характеристика толщины льда или ее изменения по длине участка реки;
- 2) показатель теплозапаса почвы;
- 3) показатели температуры воздуха в марте и апреле;
- 4) показатели влагообеспеченности (количество осадков) апреля или марта-апреля;
- 5) показатель снегонакопления;
- 6) характерные осенние и зимние уровни;
- 7) осенний сток.

Набор предикторов, входящих в прогностические уравнения для обобщенных показателей максимальных уровней воды, определяется из физических соображений и уточняется на основе анализа коэффициентов их корреляции с максимальными уровнями воды.

Рассмотрим используемые в прогностических уравнениях предикторы.

- Запасы воды в снеге в пунктах наблюдений характеризуют количество поступившей на водосбор талой воды.
- Температура воздуха в марте (декадная, месячная) косвенно характеризует тип весны. Например, при низкой температуре воздуха в марте более вероятны холодная погода в первой половине апреля и последующее интенсивное потепление в конце апреля-начале мая, ускоряющее начало весеннего половодья и

характеризующее его быстротечность. Теплое начало марта чаще сопровождается растянутым по времени половодьем.

- Температура почвы характеризует теплофизические процессы впитывания и повторного замерзания талой воды с возможным образованием запирающих слоев на открытых участках. Вертикальный градиент температуры в почвенном слое косвенно характеризует запас влаги в почве (чем меньше градиент, тем больше влагозапас).
- Температура воздуха в апреле характеризует интенсивность таяния снега и величину оставшегося в бассейне реки снегозапаса, переходящего на начало мая.
- Количество весенних осадков отражает дополнительное поступление воды и косвенно – влажность воздуха и потери воды на испарение.
- Осенний сток характеризует запасы влаги и льдистость почвы к моменту начала снеготаяния, либо водность реки в период замерзания и пропускную способность русла.
- Максимальная толщина льда указывает на его объем и прочность, а также предопределяет заторный характер половодья в период вскрытия реки.
- Уровень воды на дату появления ледовых образований или на дату установления ледостава, минимальный и максимальный уровни воды за зимний период, а также превышение максимального уровня над уровнем воды на момент установления ледостава – отражают ледовые условия, наличие зажоров льда в зимний период и пропускную способность русла.

Итак, линейные комбинации перечисленных предикторов отражают обобщенные показатели максимальных уровней воды. Весовые коэффициенты при предикторах определяются на основе множественной корреляции отобранных предикторов с максимальным уровнем воды. Вычисляются значения всех обобщенных показателей, а затем путем множественной регрессии устанавливаются линейные зависимости между обобщенными показателями и максимальными уровнями воды. Полученные зависимости являются прогностическими. Предложенный подход позволяет использовать преимущества физического подхода (на этапе «конструирования» обобщенных показателей) и объективного статистического анализа (на этапе получения прогностических уравнений).

Методика долгосрочного прогноза максимальных уровней воды

р. Енисей у г. Кызыл

Регрессионная зависимость, прогнозирующая максимальные уровни воды р. Енисей, учитывает характер снегонакопления в высоких зонах бассейна, метеорологическую обстановку и уровневый режим выше исследуемого створа.

Средняя дата наступления максимального уровня р. Енисей у г. Кызыл – 31 мая, ранняя – 29 апреля (1971 г.), поздняя – 23 июня (1989 г.). Учет только характера мартовского атмосферного процесса не дал требуемого результата точности прогноза уровня воды Енисея. Вместе с тем, учет синоптической ситуации в апреле-мае дает возможность предвычисления наиболее вероятного подъема уровня. Все составляющие регрессионного уравнения известны к концу мая. Следует отметить, что вклад майских осадков в расчетную величину уровня воды небольшой, отражается только при экстремальных величинах. Поэтому прогноз по предложенному уравнению регрессии составляется на конец апреля при средней заблаговременности прогноза 1 месяц. При использовании месячного прогноза погоды по территории Республики Тыва, предварительный расчет по уравнению регрессии может быть проведен в конце марта.

Прогноз максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл рассчитывается по уравнению регрессии:

$$H_{\max_Кызыл} = 0,842 \cdot S + 1,465 \cdot X1 - 7,346 \cdot T + 2,142 \cdot X2 + 1,996 \cdot \Delta H1 + \\ + 0,874 \cdot \Delta H2 + 1,262 \cdot H3 + 282.$$

Коэффициент множественной корреляции – 0,92.

Критерий качества S/σ – 0,39.

Оправдываемость на зависимой выборке (40 лет) – 95 %.

Описание входящих в уравнение регрессии предикторов и их линейных комбинаций представлено в табл. 1.

В качестве авторских испытаний на независимом материале проведен расчет максимального уровня воды в 2007 году. Испытания метода прогноза максимальных уровней воды проводились в оперативном режиме в течение 2008–2010 гг.

Результаты оперативных испытаний метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья у г. Кызыл представлены в табл. 2.

Средняя оправдываемость метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья у г. Кызыл за четыре года испытаний составила 100 %. Согласно действующим наставлениям по гидрологическим прогнозам, целесообразно использовать методику долгосрочного прогноза, оправдываемость проверочных прогнозов которой 70 % и более.

Таблица 1

Описание переменных и обобщенных показателей в уравнении прогноза

Обозначение	Смысловое значение	Т-статистика
<i>S</i>	Запас воды в снеге на 20 марта, по метеостанциям Тоора-Хем и Казыр с весовыми коэффициентами	7,5
<i>X1</i>	Сумма осадков за апрель, М Сарыг-Сеп	2,1
<i>T</i>	Средняя температура воздуха за апрель, М Эрзин	–3,8
<i>X2</i>	Сумма осадков за период январь-апрель, М Тоора-Хем	3,2
<i>ΔH1</i>	Разность между уровнями воды на 10 апреля и минимальным в марте, р. Большой Енисей – с. Кара-Хак	5,2
<i>ΔH2</i>	Разность между уровнями воды на 20 апреля и минимальным в марте, р. Енисей – г. Кызыл	5,0
<i>X3</i>	Сумма осадков в мае, М Тоора-Хем	2,5

Таблица 2

**Результаты долгосрочных прогнозов максимальных уровней воды
р. Енисей – г. Кызыл в 2007–2010 гг.**

Год	Наблюденный максимальный уровень, см	Предсказанный максимальный уровень, см	Погрешность расчета, см		Допустимая погрешность, см
2007	450	430	–20	+	56
2008	446	471	–25	+	
2009	496	455	–41	+	
2010	662	626	–36	+	

Рекомендации к внедрению

Учитывая положительные результаты оперативных испытаний метода долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл в 2007–2010 гг., Технический совет Среднесибирского УГМС в своем решении рекомендовал внедрить метод в оперативную практику гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ “Красноярский ЦГМС-Р” в качестве основного расчетного.

Список литературы

1. Шуляковский Л.Г., Ерёмкина В.А. К методике прогноза заторных уровней воды // Метеорология и гидрология. – 1952. – № 1. – С. 46–51.

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ЕЖЕДНЕВНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ Р. ОБЬ – С. АЛЕКСАНДРОВСКОЕ

Участок речной системы Нижнего Иртыша и Средней Оби ограничен нижним створом – с. Белогорье (р. Обь), и верхними створами – г. Тобольск (р. Иртыш), г. Колпашево (р. Обь). Суммарная площадь водосбора составляет 704000 км².

По условиям формирования стока и с учетом информационного гидрометеорологического обеспечения рассматриваемая территория разделена на 6 районов, названия которых даны по имени основных рек, впадающих в главные артерии: реки Обь и Иртыш (табл. 1).

Таблица 1

Районы исследуемого бассейна

Наименование района	Васюган	Кеть	Вах	Демьянка	Конда	Аган
Площадь, км ²	131515	148426	84404	130997	97162	111496

Почти вся исследуемая территория входит в состав зоны избыточного атмосферного увлажнения Западно-Сибирской лесоболотной провинции. Она является одним из наиболее заболоченных районов нашей планеты. Болота получили здесь широкое распространение не только на севере, но и на юге лесной зоны и в лесостепи.

Годовая норма атмосферных осадков на исследуемой территории составляет 500–650 мм. Она возрастает до 600 мм в средней и северной частях Обь-Иртышского междуречья, в бассейнах рек Большой Юган и Васюган. В долине р. Оби норма осадков снижается до 500–550 мм. В пределах правобережья Оби (бассейны рек Тым, Вах, Аган и др.) возрастает до 600–650 мм. Крайний юго-запад исследуемой территории попадает в зону атмосферного недоувлажнения южно-таежной Западно-Сибирской провинции. Здесь норма осадков составляет 500–550 мм.

Максимально возможное испарение, характеризующее радиационный баланс деятельной поверхности, плавно снижается с юга на север от 650–700 до 500–470 мм. Годовой слой стока возрастает в северо-восточном направлении от 75–100 до 225–250 мм, т.е. увеличивается примерно в три раза. Коэффициент годового стока, чутко реагирующий на соотношение тепла и влаги, увеличивается в северо-восточном направлении от 0,15 до 0,40. Таким образом, тепловлагообеспеченность рассматриваемой территории

существенно изменяется, возрастая в северо-восточном направлении.

В основу анализа структуры водного баланса весеннего половодья в лесной зоне Западно-Сибирской равнины положены результаты многолетних исследований, опубликованных в [1].

Ниже рассмотрим результаты исследований для замыкающего створа р. Обь – пос. Александровское. В этом случае участок речной системы включает два района: Васюган и Кеть. Входной створ участка: р. Обь – г. Колпашево.

При оценке снегозапасов в речных бассейнах исходим из следующих положений, подтвержденных анализом материалов снегомерных съемок [1]:

1. снегозапасы в лиственных и не очень густых смешанных лесах в болотных ландшафтах практически равны;
2. в бассейнах таежных рек, где лесистость и заболоченность в сумме превышают 85 %, запасы воды в речных бассейнах могут приравняться снегозапасам в лесах;
3. в лесостепных районах средние по территории бассейна снегозапасы S , мм, определяются с учетом различий снегонакопления в лесу S_l и на безлесных участках S_n :

$$S = S_l \cdot (f_l + f_b) + S_n \cdot (1 - f_l - f_b), \quad (1)$$

где f_l и f_b – лесистость и заболоченность в долях от единицы.

Средние за многолетний период снегозапасы в конце зимы увеличиваются в северо-восточном направлении от 100–110 до 220 мм.

Осадки x , выпадающие от момента наступления максимума снегозапаса до окончания таяния снега в лесах, составляют заметную долю в приходной части водного баланса. Среднее многолетнее количество этих осадков изменяется от 15 мм на юго-западе до 50 мм на востоке и северо-востоке.

В результате расчленения гидрографов стока половодья по типам водного питания определены три составляющие суммарного стока за период половодья (в мм слоя воды):

- 1) сток талых вод Y (формируется в результате таяния снега и поступления осадков периода снеготаяния);
- 2) дождевой сток Y_d (формируется осадками, выпадающими после схода снега);
- 3) подземный сток Y_{II} .

Суммарный сток половодья составляет:

- северная лесостепь и подзона осиново-березовых лесов 25–45 мм;

- подзона южной тайги 45–130 мм;
- подзона средней тайги 110–140 мм;
- подзона северной тайги 140–220 мм.

Расчеты показывают, что сток талых вод Y составляет 61–88 % суммарного весеннего стока. В подзоне осиново-березовых лесов доля талого стока равна в среднем 85 %, в зоне тайги она снижается до 79–61 %.

В южных районах рассматриваемой территории потери талого стока $P = (S + x) - Y$ возрастают с увеличением заболоченности и лесистости. Так, в заболоченных и лесистых бассейнах Северобарабинской низменности потери талого стока достигают 110–115 мм. В бассейне р. Вагай, где увеличивается доля безлесных и незаболоченных пространств, потери стока снижаются на 20–25 мм. Аналогичная картина характерна и для притоков Вагая (р. Балахлей и др.).

На юге Васюганья (р. Икса, Чая, Парабель) потери талого стока примерно такие же, как и в Северобарабинской низменности (110–120 мм). Севернее (р. Васюган, Демьянка, Б. Юган) потери несколько снижаются (90–100 мм), что объясняется большей увлажненностью и более интенсивным эрозионным расчленением этой территории. В возвышенных и лучше дренированных бассейнах Приуралья (р. Ница, Мучай) потери стока не превышают 90 мм. Близкая величина потерь отмечается в пределах возвышенности Люлин-Вор (бассейн р. М. Сосьва). Наименьшая величина потерь (77 мм) зафиксирована в бассейне р. Таза, чему способствует распространение в этом бассейне мореных возвышенностей, значительная расчлененность рельефа, вечная мерзлота.

Самые значительные потери талого стока приурочены к районам задровых и озерно-аллювиальных равнин, отличающихся плоским рельефом, высокой заболоченностью, повсеместным распространением озер. Это бассейны Лямина, Агана, Тром-Егана, Надыма, Кети, Тыма, где потери талого стока составляют 115–130 мм.

Одной из климатических характеристик, существенно влияющих на условия таяния снега, может считаться температура воздуха. С учетом широтной зональности температуры и других гидрометеорологических характеристик на типичных равнинах, какой является рассматриваемая территория, естественно вместо высотных зон здесь использовать широтные зоны. Зонирование по широтам было проведено с шагом 30' дуги. Всего бассейн Средней Оби разделён на 44 зоны.

Для оценки динамики площади снегового покрытия в районах и широтных зонах на основе спутниковой информации радиометра *MODIS* с КА *Terra* реализована автоматизированная система обработки и представления данных о площадях

заснеженности речных бассейнов. Система состоит из двух программ: «Служба мониторинга снежного покрова» и «Информационный сайт службы мониторинга снежного покрова» (автор – В.Ю. Ромасько). В совокупности они обеспечивают автоматизированную обработку данных о заснеженности речных бассейнов с суточной периодичностью, а также предоставляют доступ к полученной информации потребителям в любой точке земного шара и в любой момент времени посредством сети Интернет. Предоставляемая информация состоит из картосхем снежного покрова и облачности, табличной информации об относительных площадях заснеженности районов и зон бассейнов.

Равнинный характер ландшафтов и низкая лесистость приводят к относительно быстрому равномерному сходу снега, без существенных вариаций в течение всего периода снеготаяния. Снег начинает сходить в апреле (чаще во второй половине) и заканчивает сходить к концу мая (чаще к концу второй декады). Таким образом, период весеннего снеготаяния длится от 30 до 50 суток (чаще 30–35 суток). По спутниковым наблюдениям 2005–2010 гг., самая ранняя весна наблюдалась в 2009 году, самая поздняя – в 2006 году. Весны 2005 и 2010 гг. в бассейне Средней Оби по срокам близки к средним срокам.

Процессы стокообразования описываются в рассматриваемых нами моделях гидрологических прогнозов с помощью используемых в гидрологической практике понятий и расчетных зависимостей. Территориальное многообразие процессов стока учитывается путем выделения в бассейне ландшафтно-гидрологических районов. В горных условиях в каждом районе учитывается высотная поясность через выделение высотных зон, на равнине (в нашем случае) выделяются широтные зоны. Неравномерность распределения на водосборах запасов снега, емкостного поглощения воды и других факторов формирования стока учитывается с помощью распределений вероятности.

В Сибири, вследствие недостаточного информационного обеспечения гидрологических прогнозов, в оперативной практике реализованы концептуальные модели, использующие всю доступную оперативную информацию – наземную (температура воздуха, осадки, расходы и уровни воды в замыкающем створе и на речной системе) и спутниковую (динамика снегового покрытия территории водосбора). В обобщенном виде структура модели показана на рисунке, ее описание, последовательность оптимизации параметров приведены в [2–5].

Список пунктов наблюдений, используемых для реализации модели, представлен в табл. 2.

Для нахождения неизвестных параметров, входящих в расчетные уравнения модели, использованы материалы наблюдений Росгидромета с суточным разрешением за 1991–2010 гг. и спутниковая информация за 2005–2010 гг.



Рис. Общая структура модели формирования стока.

Таблица 2

Пункты наблюдений, используемые для реализации модели

Метеорологические характеристики		
Снегомерные съёмки	Ежедневные осадки	Температура воздуха
Средний Васюган	Бакчар	Александровское
Новый Васюган	Колпашево	Бакчар
Старица	Майск	Колпашево
Пудино	Напас	Майск
Полынянка	Пудино	Напас
Напас	Старица	Старица
	Усть-Озерное	Усть-Озерное
Гидрологические характеристики		
Ежедневные расходы	Уровни воды	
р. Обь – г. Колпашево	р. Обь – г. Колпашево	
	р. Васюган – с. Новый Васюган	
	р. Васюган – с. Средний Васюган	
	р. Кеть – д. Радионовка	
	р. Тым – с. Напас	
	р. Чая – с. Подгорное	
	р. Обь – с. Каргасок	
	р. Тым –с. Ванжиль-Кынак	
	р. Обь – с. Александровское	
Средние месячные расходы воды (характеристика осеннего увлажнения)		
р. Васюган – с. Новый Васюган		
р. Тым – с. Напас		

Оптимизация параметров отдельных блоков модели выполнена таким образом, чтобы было обеспечено возможное приближение по районам и широтным зонам «модельных» и наблюдаемых средних многолетних характеристик запасов снега, слоя стока за расчетный период, а также динамики снегового покрытия за отдельные годы по расчетной модели и спутниковой информации. Минимизировался критерий качества – средняя квадратичная ошибка расчета ежедневных уровней (расходов) воды за 1991–2010 гг.

Показатели точности метода по результатам оптимизации модели на зависимом материале представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Показатели точности метода расчета ежедневных уровней воды
р. Обь у с. Александровское на зависимом материале наблюдений**

Заблаговременность прогноза Δt , сутки	1	2	3	4	5	6	7
Средняя квадратичная ошибка прогноза σ_δ , см	6,6	10,5	13,7	16,1	18,8	21,9	27,1
Среднее квадратичное отклонение притока за период Δt σ , см	13,2	25,4	36,9	47,8	58,1	67,8	86,4
Критерий точности и эффективности методики прогноза σ_δ / σ	0,50	0,41	0,37	0,34	0,32	0,32	0,31

Метод дает возможность составлять прогнозы ежедневных уровней воды в весенне-летний период с заблаговременностью до 7 суток.

Оперативное составление прогнозов по методу проводилось в период апрель–август 2010 г. в отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра ФГБУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ». Заметим, что для вышеуказанного пункта метод прогноза ежедневных уровней воды в период весеннего половодья ранее не разрабатывался.

Оценка прогнозов проводилась в соответствии с Наставлением [7] и Методическими указаниями [6]. За период испытания было составлено по 131–137 прогнозов ежедневных уровней воды с заблаговременностью от 1 до 7 суток для р. Обь – с. Александровское. Средняя оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское за период испытания составила 94 %, оценка качества прогнозов $S/\sigma - 0,57-0,71$ (удовлетворительно).

Преимущества данного метода заключаются в том, что метод является автоматизированным и не требует существенных временных затрат на подготовку исходных данных.

Технический Совет ФГБУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» постановил: внедрить в оперативную работу отдела гидрологических прогнозов ГМЦ с апреля 2011 года «Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское» (ответственный исполнитель – Д.А. Бураков, ФГБУ «СибНИГМИ») в качестве основного.

Список литературы

1. Бураков Д.А. Основы гидрологических прогнозов объема и максимума весеннего половодья в лесной зоне Западно-Сибирской равнины // Вопросы географии Сибири. – 1978. – Вып. 11. – С. 3–49.
2. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 49–59.
3. Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегания // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 21–24.
4. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижней Тунгуски) // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 10. – С. 75–87.
5. Бураков Д.А., Адамович А.А. Учет весенних заморозков в гидролого-математической модели прогноза наводнений в бассейне Енисея // Труды VII научной конференции «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф». Том 1. – Красноярск, 2003. – С. 14–21.
6. РД 52.27.284-91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов
7. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Служба гидрологических прогнозов. Часть 1. – Ленинград, 1962. – 193 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА МЕСЯЧНОГО И КВАРТАЛЬНОГО ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ И КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС НА ВТОРОЙ И ТРЕТИЙ КВАРТАЛЫ

База данных гидролого-математической модели, применяемой для прогнозов стока сибирских рек (авторы – Д.А. Бураков, И.Н. Гордеев, Среднесибирское УГМС), включает не только информацию в пунктах гидрометеорологических наблюдений, но и спутниковую информацию о динамике площади снегового покрытия территории, что особенно важно в условиях ограниченного гидрометеорологического обеспечения прогнозов. Алгоритмическое описание модели рассмотрено в [1–10]. По сравнению с [9] в испытываемых методах усовершенствована база исходных данных, изменены некоторые алгоритмы расчетов, усовершенствован выбор аналогов на период заблаговременности.

Испытания метода проводились в оперативном режиме в течение второго и третьего кварталов 2009–2010 гг.

На начало каждого расчетного периода выпускался прогноз притока воды, базирующийся на данных прогноза погоды заблаговременностью шесть суток Красноярского Гидрометцентра. Синоптическая ситуация в конце периода прогноза дополнялась наиболее вероятным сценарием развития ситуации на основе месячных прогнозов погоды Иркутского Гидрометцентра, ФГБУ «Гидрометцентр России». Прогноз погоды по южным районам края интерпретировался в числовом выражении в количество осадков и температуру воздуха на станциях бассейна, включенных в территорию прогноза.

В конце марта и июня были выпущены долгосрочные прогнозы притока воды на второй и третий квартал. Использовались данные снегомерных съемок на 20 марта и показатель предзимнего увлажнения бассейна. Суточный ход температуры воздуха и осадков задавался по данным наблюдений лет-аналогов. Годы-аналоги апреля и июля выбирались на основе месячного прогноза погоды Иркутского Гидрометцентра. Прогноз, составленный испытываемым методом, основывается на предположении о близости развития гидрометеорологических процессов на территории Средней Сибири на период заблаговременности прогноза с погодой прошлых лет. Аналогии на остальные месяцы выбирались с привлечением долгосрочных прогнозов погоды ФГБУ «ААНИИ», ФГБУ

«Гидрометцентр России», а также сезонного прогноза погоды Красноярского Гидрометцентра.

В конце первой декады (для месячных прогнозов) и в конце первого месяца в квартале (для квартальных прогнозов) с учетом свежей информации, снова рассчитывали прогноз притока по модели (уточнение прогноза). При небольших отклонениях двух величин (в пределах 0–10 %) спрогнозированная ранее величина не корректировалась. При значимых отклонениях (более 10 %) принималась уточненная величина притока воды. При этом величина допустимой погрешности прогноза уменьшалась.

Результаты прогнозов притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС на второй и третий кварталы (прогнозы на месяц и квартал) 2009–2010 гг. за период открытого русла представлены в табл. 1–4. Оценка прогнозов осуществлялась на основе сравнения фактической и допустимой ошибок прогноза притоков воды.

Для Саяно-Шушенского водохранилища по гидролого-математической модели в 2009 году было выпущено шесть прогнозов притока воды на месяц (один не оправдался), в 2010 году из шести прогнозов также один не оправдался. За два года было выпущено четыре прогноза притока воды на квартал, один не оправдался (прогноз притока на третий квартал 2009 года).

Наиболее успешно рассчитаны долгосрочные прогнозы притока воды на месяц в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС в мае-июне и августе-сентябре 2009 г., а также в апреле и сентябре 2010 г. – допустимые ошибки прогноза не превышены в первичном прогнозе. Если сравнить прогнозы по годам, то в 2009 г. такие прогнозы были более успешными (более соответствовали фактической погоде). Прогнозы притока воды на квартал, как видно из табл. 1 и 2, можно с допустимой погрешностью рассчитать только после уточнения прогноза.

Для Красноярского водохранилища по гидролого-математической модели в 2009 году было выпущено аналогично 6 прогнозов притока воды на месяц (из них прогнозы за апрель и август не оправдались). В 2010 г. из шести прогнозов не оправдался один (в мае). За два года было выпущено 4 прогноза притока воды на квартал, все оправдались.

Таким образом, в целом оправдываемость прогнозов притока воды на месяц в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС составила 83 %. Качество прогнозов притока воды на месяц в Красноярское водохранилище несколько ниже – 67 %. Ошибки в прогнозе связаны со значительной вариацией притока воды в апреле-мае при небольшой допустимой ошибке прогноза. В это время прогноз температуры воздуха имеет огромное значение; гидрографы стока рек Саян определяются ходом температуры воздуха.

Аналогично долгосрочные прогнозы притока воды на квартал в водохранилище Красноярской ГЭС в трех случаях из четырех с допустимой погрешностью рассчитываются после уточнения, т.е. по истечении первого месяца квартала.

Оправдываемость прогноза притока воды в водохранилища обоих ГЭС на II и III квартал составила 88 %.

Таблица 1

**Результаты долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилище
Саяно-Шушенской ГЭС на II и III кварталы 2009 г.**

Месяц	IV	V	VI	II квартал	VII	VIII	IX	III квартал
Фактический приток, м ³ /с	1000	2970	4170	2710	3470	2780	2440	2900
Год-аналог	2008	2005	2007		2008	1995	2007	
Прогноз, м ³ /с	750 У 1200	3000	4420	3100 У 2860	2800 У 3180	2520	2170 У 2570	2300 У 2630
Фактическая ошибка прогноза	250 У 200	30	250	390 У 150	670 У 290	260	270 У 130	600 У 270
Допустимая ошибка	168	496	836	312	618	384	273	342
Допустимая ошибка при уточнении прогноза	120	350	600	250	450	270	200	250
Ошибка прогноза	–	+	+	+(У)	+(У)	+	+	–

Примечание (к табл. 1–4):

1. Даты выпуска прогноза на II квартал – 25 марта, на III квартал – 25 июня.
2. Для апреля и июля годы-аналоги приняты по месячному метеорологическому прогнозу Иркутского Гидрометцентра.
3. Для мая, июня, августа и сентября годы-аналоги приняты по долгосрочному метеорологическому прогнозу.
4. У – уточнение прогноза.

Таблица 2

**Результаты долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилище
Саяно-Шушенской ГЭС на II и III кварталы 2010 г.**

Месяц	IV	V	VI	II квартал	VII	VIII	IX	III квартал
Фактический приток, м ³ /с	672	3140	7060	3570	3390	3020	1760	2720
Год-аналог	1989	2005	2009		2006	1999	2001	
Прогноз, м ³ /с	770 У 550	4110 У 4270	8000 У 6820	3030 У 3500	6190 У 3350	2560 У 3080	1700 У 1710	3480 У 2730
Фактическая ошибка прогноза	98 У 122	970 У 1130	940 У 240	540 У 70	2800 У 40	460 У 60	60 У 50	760 У 10
Допустимая ошибка	168	496	836	312	618	384	273	342
Допустимая ошибка при уточнении прогноза	120	350	600	250	450	270	200	250
Ошибка прогноза	+	–	+(У)	+(У)	+(У)	+(У)	+	+(У)

Таблица 3

**Результаты долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилище
Красноярской ГЭС на II и III кварталы 2009 г.**

Месяц	IV	V	VI	II квартал	VII	VIII	IX	III квартал
Фактический приток, м ³ /с	2010	5600	4380	4000	2380	1880	1780	2010
Год-аналог	2008	2005	2007		2008	1995	2007	
Прогноз, м ³ /с	1350 У 2700	4310 У 5440	4000	4100	2010	1500	1125 У 1650	1350 У 1810
Фактическая ошибка прогноза	660 У 690	1290 У 160	380	100	370	380	655 У 130	660 У 300
Допустимая ошибка	349	631	894	380	427	319	316	256
Допустимая ошибка при уточнении прогноза	250	500	650	280	300	250	220	200
Ошибка прогноза	–	+(У)	+	+	+	–	+(У)	+(У)

Таблица 4

**Результаты долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилище
Красноярской ГЭС на II и III кварталы 2010 г.**

Месяц	IV	V	VI	II квартал	VII	VIII	IX	III квартал
Фактический приток, м ³ /с	1020	4215	6520	3910	2110	1470	840	1470
Год-аналог	1989	2005	2009		2006	1999	2001	
Прогноз, м ³ /с	1295 У 600	4940 У 5400	6550 У 6530	3430 У 3750	2920 У 2120	1780 У 1250	1210 У 1010	1750 У 1630
Фактическая ошибка прогноза	275 У 620	725 У 1185	30 У 10	480 У 160	810 У 10	310 У 220	370 У 170	280 У 160
Допустимая ошибка	349	631	894	380	427	319	316	256
Допустимая ошибка при уточнении прогноза	250	500	650	280	300	250	220	200
Ошибка прогноза	–	–	+	+(У)	+(У)	+	+(У)	+(У)

Следует заметить, что годы-аналоги для обеих ГЭС в период испытания выбраны за одни и те же годы, т.е. выбранные годы описывают прогнозное поведение погоды как в бассейнах Красноярского, так и Саяно-Шушенского водохранилищ. Критериями выбора аналога, как правило, являются средняя месячная температура воздуха и сумма осадков за месяц.

Рекомендации о внедрении

Основываясь на результатах оперативных испытаний, Технический совет Среднесибирского УГМС в своем решении от 22 декабря 2010 г. рекомендует использовать:

– метод прогноза квартального притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС в качестве основного расчетного метода в отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра Красноярского ЦГМС-Р;

– метод прогноза месячного притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС в качестве основного метода на период июнь-сентябрь; на период апрель-май – в качестве вспомогательного расчетного метода.

Технический совет Среднесибирского УГМС также рекомендует продолжить работу над усовершенствованием методов долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС с учетом модернизации гидрометеорологической сети.

Список литературы

1. Бураков Д.А. Предвычисление гидрографа весеннего половодья заболоченных рек в южной части лесной зоны Западно-Сибирской низменности // Метеорология и гидрология. – 1966. – № 1. – С. 42–46.
2. Бураков Д.А. К оценке параметров уравнений, аппроксимирующих кривую руслового добегания // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 21–24.
3. Бураков Д.А. Кривые добегания и расчет гидрографа весеннего половодья. – Томск: Томский госуниверситет, 1978. – 129 с.
4. Бураков Д.А. Математическая модель расчета гидрографа весеннего половодья для равнинных заболоченных бассейнов // Метеорология и гидрология. – 1978. – № 1. – С. 49–59.
5. Бураков Д.А., Авдеева Ю.В. Технология оперативных прогнозов ежедневных расходов (уровней) воды на основе спутниковой информации о заснеженности (на примере р. Нижней Тунгуски) // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 10. – С. 75–87.
6. Бураков Д.А., Адамович А.А. Учет весенних заморозков в гидролого-математической модели прогноза наводнений в бассейне Енисея // Труды VII научной конференции «Современные методы математического моделирования природных и антропогенных катастроф», том 1, Красноярск, 2003. – С. 14–21.
7. Бураков Д.А., Кашкин В.Б., Сухинин А.И., Ромасько В. Ю., Ратненко И.В. Методика определения заснеженности речного бассейна по спутниковым данным для оперативных прогнозов стока // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 8. – С. 100–109.

8. *Котляков В.М., Ходаков В.Г., Гринберг А.М.* Тепловое проявление снежно-ледовых объектов как метод количественной интерпретации аэрокосмической информации // Известия АН СССР, серия географическая. – 1981. – № 3. – С. 127–134.

9. *Бураков Д.А., Космакова В.Ф.* О результатах оперативных испытаний методов краткосрочного и долгосрочного прогноза притока воды в Саяно-Шушенское и Красноярское водохранилища в период открытого русла // Информационный сборник № 36. – 2009. – С. 122–142.

10. *Бураков Д.А., Гордеев И.Н.* Методика прогноза декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС (Саяно-Шушенское и Красноярское) в период открытого русла и результаты ее испытания // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 69–76.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Памяти Галины Ксенофоновны Веселовой</i>	3
<i>М.Д. Цырульников, П.И. Свиренко, В.Е. Горин, М.Е. Горбунов, А.Л. Ордин, А.Н. Багров.</i> Новая технология объективного анализа на основе схемы 3D-Var.....	7
<i>Г.С. Ривин, И.А. Розинкина, А.Н. Багров, Д.В. Блинов.</i> Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний.....	15
<i>А.А. Алексеева, В.М. Лосев, А.Н. Багров.</i> Результаты испытания автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч.....	43
<i>А.А. Алексеева, В.М. Лосев, Б.Е. Песков, А.Н. Багров.</i> Результаты испытания автоматизированного метода прогноза шквалов с детализацией интенсивности в трех градациях (от 20 до 24, от 25 до 32, 33 м/с и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч	54
<i>А.Н. Багров.</i> Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с апреля по сентябрь 2011 года).....	61
<i>Л.В. Беркович, А.Н. Багров.</i> Прогноз приземной температуры, ветра и осадков для 17 областных городов Центрального федерального округа с заблаговременностью до 84 ч.....	71
<i>Ю.Я. Черногубова, Г.В. Санникова.</i> Результаты испытания автоматизированных методов прогноза осадков и шквалов на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России с заблаговременностью 12 и 24 ч по территории ЦЧО	81
<i>М.Я. Здерева, Н.В. Аникина, М.В. Виноградова.</i> Результаты испытания метода и технологии расчета комплексного прогноза температуры воздуха, осадков и индекса пожароопасности по административным районам Алтайского края, Томской, Кемеровской областей и Ханты-Мансийского автономного округа на 1–5 суток.....	89
<i>В.М. Лебедева.</i> Результаты испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Приволжском, Верхнее-Волжском, Северо-Кавказском УГМС и УГМС Республики Татарстан с заблаговременностью 1-2 месяца.....	97

<i>Д.А. Бураков, В.Ф. Космакова, И.Н. Гордеев.</i> Результаты испытания физико-статистического метода долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл	107
<i>Д.А. Бураков, В.Ф. Богданова, В.Ю. Ромасько.</i> Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское.....	112
<i>Д.А. Бураков, И.Н. Гордеев.</i> Результаты испытания методов прогноза месячного и квартального притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС на второй и третий кварталы.....	119

УДК 551.509.323

Новая технология объективного анализа на основе схемы 3D-Var / Цырульников М.Д., Свиренко П.И., Горин В.Е., Горбунов М.Е., Ордин А.Л., Багров А.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 7–14.

Кратко излагается новая технология глобального объективного анализа (ОА) полей метеоэлементов. Технология разработана в ФГБУ «Гидрометцентр России» и основана на трехмерном вариационном усвоении метеорологических данных по методу 3D-Var. Она позволяет усваивать практически все виды существующих метеорологических наблюдений. При этом в каждый срок наблюдения усваивается свыше 1 миллиона разнообразных спутниковых данных, что примерно в 100 раз больше, чем в действующей технологии ОА. Приведены результаты оперативных испытаний в период с апреля по сентябрь 2011 года, т.е. результаты прогноза глобальной полулагранжевой модели атмосферы, стартующей от действующей и вновь разработанной схемы ОА. Проверка прогнозов проводилась по синоптическим и аэрологическим наблюдениям на территории Европы и показала преимущество новой технологии ОА.

ЦМКП решением от 21 октября 2011 г. рекомендовала внедрить новую технологию ОА в опытную оперативную эксплуатацию.

Ил. 3. Библ. 3.

УДК 551.509.32. 001.572

Мезомасштабная модель COSMO-RU07 и результаты ее оперативных испытаний / Ривин Г.С., Розинкина И.А., Багров А.Н., Блинов Д.В. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 15–42.

В статье рассмотрены сведения о консорциуме COSMO, дано описание математической основы модели COSMO, приведено описание технологии мезомасштабного моделирования COSMO-RU07 Гидрометцентра России, рассмотрены особенности и примеры ее выходной продукции.

Приведены результаты оперативных испытаний прогнозов элементов приземной погоды и принятое на их основании решение ЦМКП от 13 апреля 2011 г. о внедрении в оперативную практику ФГБУ "Гидрометцентр России" в качестве базовой мезомасштабной модели COSMO-RU07 и применении ее выходной продукции в практической работе оперативно-прогностических подразделений Росгидромета.

Ил. 8. Табл. 19. Библ. 9.

УДК 551.509.324.2

Результаты испытания автоматизированного метода прогноза осадков с детализацией интенсивности в трех градациях (от 11 до 34, от 35 до 49, 50 мм/12 ч и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч / Алексеева А.А., Лосев В.М., Багров А.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 43–53.

Дано краткое описание метода прогноза осадков (≥ 11 мм/12 ч) с детализацией по градациям на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России. Приводятся результаты оперативных испытаний метода с заблаговременностью 12 и 24 ч по территории Центрального федерального округа России и рекомендации о внедрении.

Ил. 2. Табл. 3. Библ. 1.

УДК 551.509.324.2

Результаты испытания автоматизированного метода прогноза шквалов с детализацией интенсивности в трех градациях (от 20 до 24, от 25 до 32, 33 м/с и более) на основе выходных данных региональной модели с заблаговременностью 12 и 24 ч / Алексеева А.А., Лосев В.М., Песков Б.Е., Багров А.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 54–60.

Дано краткое описание комплексного метода прогноза шквалов в трех градациях скорости ветра (20–24, 25–32, ≥ 33 м/с) на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России. Приводятся результаты оперативных испытаний метода с заблаговременностью 12 и 24 ч по территории Центрального федерального округа России и рекомендации о внедрении.

Ил. 2. Табл. 1. Библ. 2.

Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе ряда отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с апреля по сентябрь 2011 года) / Багров А.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 61–70.

В ФГБУ «Гидрометцентр России» продолжена начатая в 2007 году сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды (давления на уровне моря, температуры и влажности воздуха, ветра и осадков), рассчитанных на основе 12 отечественных и зарубежных моделей атмосферы (из них семь глобальных, одна региональная и четыре мезомасштабные). Заблаговременность сравниваемых прогнозов составляла до трех суток; исходный срок прогнозов – 00 ч ВСВ. Период проведения испытаний – апрель-сентябрь 2011 г. Оценка успешности прогнозов проводилась по данным наблюдений ~ 430 синоптических станций, расположенных на Европейской территории России.

Дополнительно оценивались прогнозы этих же метеозлементов (кроме давления на уровне моря) по методу многомодельного ансамбля. Выполненное сравнение выявило некоторое преимущество мезомодели COSMO-RU07 над всеми моделями при прогнозе осадков.

Табл. 17. Библ. 2.

Прогноз приземной температуры, ветра и осадков для 17 областных городов Центрального федерального округа с заблаговременностью до 84 ч / Беркович Л.В., Багров А.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 71–80.

Описана методика и результаты комплексного гидродинамического прогноза температуры, ветра и осадков для 17 областных городов Центрального федерального округа (ЦФО) на основе использования результатов гидродинамических прогнозов ряда отечественных и зарубежных прогностических моделей с заблаговременностью до 84 ч. Приведены статистические оценки успешности оперативных испытаний комплексного прогноза метеозлементов за период 12 месяцев 2010-2011 гг.

На основе полученных результатов испытаний ЦМКП в решении от 21 октября 2011 г. рекомендовала использовать данный метод оперативного комплексного прогноза температуры, осадков и ветра для 17 областных городов ЦФО в ФГБУ «Гидрометцентр России».

Табл. 14. Библ. 6.

УДК 551.509.324.2

Результаты испытания автоматизированных методов прогноза осадков и шквалов на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России с заблаговременностью 12 и 24 ч по территории ЦЧО / Черногубова Ю.Я., Санникова Г.В. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 81–88.

Приводятся результаты оперативных испытаний автоматизированных методов прогноза осадков и шквалов с заблаговременностью 12 и 24 ч на основе выходных данных региональной модели Гидрометцентра России по территории семи областей деятельности Центрально-Черноземного УГМС в летний период 2009 и 2010 гг.

Приводятся результаты сравнения успешности методических прогнозов с синоптическими прогнозами и аналогичными прогнозами по методам П.Г. Пантелеева (сильные ливни) и Г.Д. Решетова (шквалы) по Курской области.

Сравнение показало в основном преимущество синоптических прогнозов. Рекомендовано использование испытываемых методов прогнозов в качестве консультативных.

Табл. 4. Библ. 5.

УДК 551.509.313

Результаты испытания метода и технологии расчета комплексного прогноза температуры воздуха, осадков и индекса пожароопасности по административным районам Алтайского края, Томской, Кемеровской областей и Ханты-Мансийского автономного округа на 1-5 суток / Здерова М.Я., Аникина Н.В., Виноградова М.В. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 89–96.

На базе интерпретации выходных данных глобальных моделей UKMO и ESMF разработаны автоматизированные методы прогноза элементов погоды по пунктам Западной Сибири на 1–5 суток. Прогнозы температуры воздуха, осадков и дефицита точки росы в комплексе позволяют оценить ожидаемую пожароопасность в лесах по индексу Нестерова. Значения искомых величин вычисляются по уравнениям, построенным по методу группового учета аргументов (МГУА). Дополнительно применяются алгоритмы классификации синоптических ситуаций внутри сезонов. Для прогноза класса осадков использованы логические DW-деревья распознавания образов, построенные на анализе соотношения условных вероятностей событий разных классов. Полная версия технологической линии, получившей название WSIBMZ, включает все необходимые для производства и оценки прогнозов модульные блоки. Оперативные испытания методов в 2010 году показали низкие оценки качества прогнозов в холодный период года, при этом температуры воздуха на большинстве станций региона при наличии приземных инверсий были сильно занижены. В теплом периоде качество прогнозов сопоставимо и выше других автоматизированных методов.

Ил. 5. Библ. 11.

УДК 631.559:551.509.32

Результаты испытания метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском УГМС и УГМС Республики Татарстан с заблаговременностью 1-2 месяца / Лебедева В.М. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 97–106.

Представлены результаты производственных испытаний метода прогноза урожайности яровой пшеницы в Приволжском, Верхне-Волжском, Северо-Кавказском УГМС и УГМС Республики Татарстан с заблаговременностью 1–2 месяца (автор – Т.И. Русакова, ФГБУ «ВНИИСХМ»).

Методы разработаны на основе длиннопериодной динамико-статистической модели продуктивности сельскохозяйственной культуры. Структура базовой модели адаптирована к сокращенным объемам исходной оперативной информации, параметры модели определялись с учетом климатических особенностей субъектов РФ. Прикладные модели настраивались на получение среднего уровня урожайности по субъекту РФ и отлаживались на конкретных годах с учетом погодичных значений урожайности в доработанном весе.

Методы прогнозов урожайности яровой пшеницы успешно прошли испытания и внедрены во всех четырех территориальных УГМС.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 6.

УДК 556.532.2

Результаты испытания метода прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл / Бураков Д.А., Космакова В.Ф., Гордеев И.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 107–111.

Рассмотрены результаты производственных испытаний метода долгосрочного прогноза максимальных уровней воды весеннего половодья р. Енисей у г. Кызыл. В основу метода положены физико-статистические зависимости высоты весеннего половодья от факторов, его формирующих (запас воды в снеге, температура воздуха, весенние осадки, состояние подстилающей поверхности, показатели характера начального развития весны и пропускной способности русла). Представлен набор основных предикторов, используемых в процессе разработки метода. Прогностическое уравнение учитывает снегонакопление в пунктах наблюдений, метеорологическую обстановку и уровневый режим Енисея выше г. Кызыл. Представлены результаты авторских и производственных испытаний метода в 2007-2010 гг. Хорошее качество метода позволяет его использовать в оперативной гидрологической практике.

Табл. 2. Библ. 1.

Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское / Бураков Д.А., Богданова В.Ф., Ромасько В.Ю. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 112–118.

Математическая модель прогноза адаптирована для участка речной системы р. Оби от г. Колпашево до с. Александровское (Томская область) с площадью водосбора 279940 км². Вся исследуемая территория является одним из наиболее заболоченных районов нашей планеты. Территориальное многообразие процессов стока учитывается путем выделения в бассейне ландшафтно-гидрологических районов, в которых, в свою очередь, выделяются широтные зоны. Неравномерность распределения на водосборах запасов снега, емкостного поглощения воды и других факторов формирования стока учитывается с помощью распределений вероятности.

При отладке блока снеготаяния использована ретроспективная спутниковая информация радиометра *MODIS* о динамике площади снегового покрытия в районах и широтных зонах бассейна.

Оперативное составление прогнозов по методу проводилось в период апрель-август 2010 года в отделе гидрологических прогнозов ФГБУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ». Средняя оправдываемость прогнозов ежедневных уровней воды р. Обь – с. Александровское за период испытания составила 94 %. Метод краткосрочного прогноза ежедневных уровней воды внедрен в оперативную работу отдела в качестве основного.

Табл. 3. Ил. 1. Библ. 7.

Результаты испытания методов прогноза месячного и квартального притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС на второй и третий кварталы / Бураков Д.А., Гордеев И.Н. // Информационный сборник № 39. – 2012. – С. 119–124.

В статье рассмотрены результаты производственных испытаний метода долгосрочного прогноза притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС в период открытого русла. Метод основан на использовании математической модели формирования талого и дождевого стока. Метод учитывает фактическое распределение снежного покрова перед началом снеготаяния и величину осеннего увлажнения бассейнов. Метеорологическая ситуация на период заблаговременности задавалась по данным долгосрочных прогнозов погоды. Прогноз погоды (осадки, температура воздуха) интерпретировался в числовом выражении. Представлены результаты оперативных испытаний метода прогноза в 2009-10 гг. Качество прогнозов позволяет использовать данный метод в оперативной практике гидрологических прогнозов.

Табл. 4. Библ. 10.