

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК

№ 37

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

Под редакцией
канд. геогр. наук Г.К. Веселовой

2010

УДК 551.509:551.509.314

Информационный сборник № 37. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов / под ред. канд. геогр. наук Г.К. Веселовой. – М.; Обнинск: ИГ–СОЦИН, 2010. – 161 с.

Представлена прогностическая технология РЭП (расчет элементов погоды), разработанная в ГУ «Гидрометцентр России» для среднесрочного прогноза на основе статистической интерпретации результатов гидродинамических моделей атмосферы, приведены результаты ее оперативных испытаний; изложен метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации на основе технологии РЭП; помещены результаты сравнительной оценки прогнозов элементов погоды на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба за два последовательных периода (с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г. и с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г.), показавшие положительные тенденции в развитии мезомасштабных моделей атмосферы; представлены прогнозы приземной температуры воздуха и приземного ветра для регионов внетропической части Северного полушария на основе полулагранжевой модели с постоянным разрешением ПЛАВ-2005 заблаговременностью до 120 ч и результаты их оперативных испытаний; изложена методика и показана оправдываемость прогнозов декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС (Саяно-Шушенское и Красноярское) в период открытого русла; приведены сведения о результатах авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы; приведены результаты испытания долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС; описана технология контроля достоверности исторических данных высоты снежного покрова по постоянной рейке; помещены результаты проводимого ГУ «Гидрометцентр России» мониторинга успешности краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды, а также прогнозов полей метеорологических величин за 2008 год.

УДК 551.509:551.509.314

© Коллектив авторов, 2010
© ГУ «Гидрометцентр России», 2010

П.П. Васильев, Е.Л. Васильева, И.А. Горлач

СРЕДНЕСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ИСПЫТАНИЯ

Введение

Основы метода среднесрочного прогноза погоды на базе численной статистической интерпретации результатов интегрирования по времени и пространству гидродинамических моделей атмосферы (ГДМА) были сформулированы в [1]. В 2004–2006 гг. в ГУ «Гидрометцентр России» разработана, реализована на комплексе ЭВМ и внедрена в оперативную практику новая, усовершенствованная прогностическая технология (РЭП) численной интерпретации ГДМА. В период с августа 2007 г. по июль 2008 г. проводились оперативные испытания метода прогноза средней за декаду температуры воздуха и ее аномалии и метода прогноза экстремальной температуры воздуха детализировано по дням для территории России, реализованных на базе РЭП. Результаты испытаний доложены на ЦМКП 24.10.2008 г., где было принято решение о внедрении этих методов в качестве основных.

В настоящее время проблема прогноза погоды на средние сроки находится в состоянии интенсивного и успешного развития в связи с появлением мощных суперкомпьютеров и созданием совершенных гидродинамических моделей атмосферы. Такие модели обладают высоким пространственным разрешением и содержат современные схемы параметризации. Интервал их успешного интегрирования достигает порядка недели по анализу оправдываемости прогнозируемых полей циркуляции (например для Северного полушария в зимний период). Несмотря на это, прогностические значения элементов погоды у поверхности земли, полученные в ходе численного интегрирования ГДМА – «модельный» прогноз – не всегда обладают

достаточной оправдываемостью с точки зрения непосредственного использования в оперативной практике. Это связано чаще всего с несовершенством уравнений, решаемых на определенном шаге по времени относительно искомым элементов погоды для извлечения их из полей основных неизвестных, подвергающихся интегрированию по времени в рамках решения гидродинамической модели. Однако оправдываемость прогнозов повышается в случае построения уравнений для вывода из модели конкретного метеоэлемента на основе статистики (постпроцессинг с использованием статистической интерпретации).

При этом подходе можно осуществить расчет синхронных (статистических) связей между прогностическими полями, полученными по гидродинамической схеме (основными предикторами – левые части переопределенной системы уравнений множественной регрессии), и элементами погоды (предиктантами – правые части уравнений). Именно использование синхронных связей (применимых при хорошей оправдываемости современных ГДМА) и может обусловить успех объективного прогноза элементов погоды.

Естественно, что для успешной работы системы статистической интерпретации (статистического постпроцессинга) необходимо создание соответствующей базы данных – архива фактических значений прогнозируемых метеорологических элементов в пунктах прогноза, а также архивов полей объективного анализа и прогноза ГДМА за период порядка 10–15 лет.

Прогностическая технология РЭП программно реализует полностью адаптивный алгоритм – самообучающийся по исходной дате на текущий сезон, на дату прогноза по заблаговременности, на географический район прогнозирования (пункт прогноза) и на синоптический макропроцесс, спрогнозированный ГДМА. Для каждого из этих параметров статистическая модель строится и решается заново.

При создании технологии РЭП реализована методология построения адаптивных моделей для прогноза, разработан метод центрального типирования синоптических макропроцессов и алгоритмы автоматического формирования выборок с использованием метода аналогичности и с динамическим отбором предикторов на каждом этапе, создан алгоритм усвоения, контроля и восстановления данных метеорологических наблюдений (уровня II) и данных уровня III,

получаемых в коде ГРИБ, для их сбора и архивации в среднесрочной проблемно-ориентированной базе данных (СПОБД). Эта база данных разработана и реализована специально для постпроцессинга статистической интерпретации. СПОБД круглосуточно пополняется оперативными данными, поступающими по каналам связи в ГУ «ГРМЦ». Разработана и реализована справочно-информационная база (SNOB) для комплектации прогностической продукции и распространения ее пользователям, сформированы климатические архивы метеорологических данных на дисках (с использованием климатических данных ВМО и ГУ «ВНИИГМИ-МЦД»).

Прогностическая технология РЭП предусматривает возможность формирования выпускаемой продукции для потребителей по различным номенклатурам – по административным и экономическим районам страны, по энергосистемам, по бассейнам рек, по побережьям морей и т.д. Система связана с каналами связи и осуществляет круглосуточное распространение прогнозов потребителям – в оперативные подразделения ГУ «Гидрометцентр России» и в оперативно-прогностические организации Росгидромета, во все УГМС России, в ГУ «МосЦГНС» и в другие организации.

Общая схема прогностического алгоритма

Для решения прогностических задач нами была разработана единая методология прогностического расчета элементов погоды. На ее основе численно реализовались конкретные схемы статистического прогноза. Остановимся на основных компонентах прогностической методологии.

Центральное типирование атмосферных макропроцессов. Статистическая модель строится (автоматически на ЭВМ) заново (выборки формируются динамически) для каждой даты и для каждого пункта прогноза; при этом всегда рассматривается ограниченный географический район, ориентированный таким образом, чтобы пункт прогноза был расположен в его центре. В новом варианте центрирование осуществляется не с точностью до ближайшего узла географической сетки, а с точностью до долей градуса географических координат – до минуты. Статистические выборки формируются с упорядочением по

аналогичности к текущему макропроцессу, предсказанному гидродинамической схемой.

Непрерывность по территории прогностических полей. Для расчета прогноза созданы программные средства доступа к архиву метеорологических полей — предикторов и предиктантов, позволяющих строить и решать прогностические уравнения регрессии, удовлетворяя принципу пространственной непрерывности. Непрерывность понимается в том смысле, что при уменьшении расстояния между двумя пунктами прогноза до нуля значение коэффициента перекоса между матрицами предикторов, соответствующими этим пунктам, будет также стремиться к нулю.

Сезонная классификация. Для формирования статистических обучающих выборок к рассмотрению привлекаются даты, относящиеся к тому же скользящему сезонному периоду, к которому принадлежит день прогноза. Величина интервала дат, к которым относятся динамически формируемые статистические выборки (для нового варианта), составляет около трех недель.

Оптимизация заблаговременности архивов (ОЗА), используемых для формирования обучающих выборок. Как известно, для построения обучающих выборок регрессионных моделей используются концепции MOS или PP. Для малой заблаговременности (24—36 ч) концепция MOS имеет несомненные преимущества, так как обучение статистической модели на выборках, состоящих из гидродинамических прогнозов, позволяет учитывать систематические ошибки (тренд) гидродинамической схемы. Однако анализ полей гидродинамических прогнозов показывает, что у ГДМА присутствуют, наряду с систематическими ошибками, ошибки случайного характера, обусловленные исходными данными или несовершенством параметризации. «Уход» схемы несистематическим образом от развивающегося в действительности атмосферного процесса с заблаговременностью прогноза увеличивается. Таким образом, накапливая архивы гидродинамических прогнозов (например на пятые—седьмые сутки), мы заведомо предопределяем обучение статистической модели на неадекватных связях с несистематической неадекватностью. В этом случае концепция MOS становится неэффективной. В определенной мере выходом может являться использование архивов прогнозов ГДМА с меньшей заблаговременностью

(MOS-1, MOS-2). При этом, с одной стороны, можно частично исключить систематический тренд, присутствующий в прогнозах большой заблаговременности, с другой стороны, снижая заблаговременность архивов, мы уменьшаем вклад несистематических ошибок.

Численные статистические модели прогноза

Метод прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха по дням до семи суток. Строится адаптивная численная статистическая модель, основанная на использовании синхронных прогностических связей. Имея в последние годы информацию в кодах ГРИБ от нескольких ведущих метеорологических центров мира, мы в новой технологии осуществляем расчет статистик по данным нескольких метеорологических центров: ECMWF (Reding), UKMO (Exeter) и NCEP (Washington). Далее осуществляется комплексация результатов с весами, пропорциональными скользящей оправдываемости прогнозов, соответствующих ГДМА.

Основными предикторами являются следующие:

δt – аномалия температуры воздуха у поверхности земли для предшествующих суток в точке прогноза; для минимальной температуры – предшествующей ночи, для максимальной – предшествующего дня; при восстановлении прогностических значений по вычисленным коэффициентам регрессии на первые сутки используется фактическая температура, на все последующие – спрогнозированная по РЭП (на предыдущие сутки);

OT_{1000}^{500} – относительная топография в районе (точке) прогноза (р.п.);

H_{500} ;

$p_s, dp_s/dt$;

$\Delta p_s, \Delta H_{500}, \Delta dp_s/dt, d\Delta H_{500}/dt, dp_s/d\lambda, dH_{500}/d\lambda, dH_{500}/d\phi, \sqrt{U_g^2 + V_g^2}, U_g, V_g$;

τ_0 – долгота дня в р.п.;

$T_{850}, \Delta T_{850}, d\Delta T_{850}/dt, (H, T)$ – адвекция температуры (якобиан) на уровне 850 гПа в р.п., F (%) – влажность в р.п., ζ_λ и ζ_ϕ – интенсивности

зонального и меридионального потоков для средней тропосферы в р.п.:

$$\zeta_{\lambda} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{dH_{500}(\phi, \lambda)}{d\phi} d\lambda;$$

$$\zeta_{\phi} = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \frac{dH_{500}(\phi, \lambda)}{d\lambda} d\phi;$$

$d\zeta_{\lambda}/dt, d\zeta_{\phi}/dt$ – временные тенденции ζ_{λ} и ζ_{ϕ} в р.п.;

dT/dz_{850} – величина, характеризующая вертикальный градиент температуры в нижней тропосфере в р.п.

Во всех вышеуказанных предикторах при расчете дифференциальных и интегральных операторов в конечно-разностной форме использовались пространственные трафареты для сферических трапеций $\phi_1, \phi_2, \lambda_1, \lambda_2$ различных масштабов, данные по которым могут одновременно участвовать в просеивании (см. ниже).

Осуществляется пошаговое просеивание с сокращением размерности вектора предикторов. Затем для отобранных компонент решением переопределенной системы уравнений множественной регрессии находится искомым вектор коэффициентов регрессии. Этот вектор служит для расчета прогностического значения отклика путем свертки его с вектором оперативных предикторов по этому же списку компонент.

Как уже говорилось выше, численная статистическая модель строится заново для каждой точки и даты прогноза. Кроме основного преимущества, заключающегося в возможности получения прогноза, детализированного по времени и по пространству, адаптивная схема в совокупности с пошаговым просеиванием обладает тем удобством, что позволяет включить в комплект исходных предикторов достаточно много (с запасом) физически значимых параметров, не учитывая возможное изменение уровня их значимости для разных синоптических макропроцессов или географических районов, при изменении которых меняется принадлежность пунктов прогноза к часовым поясам, орографическим зонам и т.д. Понятно, что в связи с привязкой информации ГДМА к исходным срокам наблюдения (00, 06, 12, 18 ч ВСВ),

информативность некоторых выбранных нами предсказателей может «плавать» с изменением географической долготы пункта прогноза. В построенной нами схеме расчета в этом случае оказавшиеся неинформативными предикторы автоматически отстраняются от рассмотрения.

Прогноз осуществляется раздельно для минимальной и максимальной температуры воздуха.

Данные о средней оправдываемости прогнозов экстремальной температуры воздуха для 81 административного центра субъектов Российской Федерации за март 2009 г. приведены в таблице (в сравнении с синоптическими прогнозами, передаваемыми в коде КП-68 из ЦГМС, и инерционными прогнозами).

Метод прогноза средней за декаду температуры воздуха. Для расчета прогностического значения средних за 10 дней аномалий температуры воздуха в нашем случае необходимо было спрогнозировать средние температуры за 8, 9 и 10-й день. Для этого была построена самостоятельная (также полностью адаптивная) статистическая модель, в потенциальные предикторы которой в силу физического содержания предиктанта входят величины, связанные с перестройкой (тенденция-ми изменения) высотного поля геопотенциала (характеризующего условия формирования и перемещения воздушных масс), осредненные по площади, окружающей точку прогноза. Эти предикторы (которые в дальнейшем дополнялись некоторыми предикторами из модели прогноза температуры по дням) вычислялись по прогностическим полям ГДМА. В качестве предикторов использовались следующие величины:

$\delta T_6, \delta T_7$ – аномалии температуры воздуха для шестых и седьмых суток в р.п.;

$\left. \frac{dT}{dt} \right|_{t=6}, \frac{1}{3} \sum \frac{\delta T_i}{\sigma}$ – тенденция температуры и накопленная аномалия температуры воздуха в р.п. накануне прогнозируемой трехдневки (восьмых, девярых и десятых суток);

средние значения $OT_{1000}^{500}, H_{500}, T_{850}$ и их тенденции накануне прогнозируемой трехдневки (по сферической трапеции, центрированной на пункт прогноза):

$$\frac{1}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} OT(\phi, \lambda) d\phi d\lambda = SOT, \quad \frac{d(SOT)}{dt},$$

$$\frac{1}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} H_{500}(\phi, \lambda) d\phi d\lambda = SH5, \quad d(SH5)/dt$$

$$\frac{1}{S} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} T_{850}(\phi, \lambda) d\phi d\lambda = ST85, \quad d(ST85)/dt$$

Таблица

Показатели успешности прогнозов T_{\min} , T_{\max} до 3 сут, составленных в УГМС и в Гидрометцентре России (схема РЭП) по административным центрам субъектов Российской Федерации за март 2009 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Число прогнозов	Ошибка прогноза			Оправдываемость, %	
				систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная	$P_{\text{н}}$	$P_{\text{н}} - P_{\text{ин}}$
1	Синоптики	min	2307	-0,4	2,1	0,63	83	22
		max	2309	-0,8	2,0	0,87	85	9
	РЭП	min	1820	-0,2	1,9	0,55	85	24
		max	1821	-0,3	1,6	0,66	92	16
	Инерция	min	1820	-0,3	3,5	1,00	61	
		max	1821	-0,4	2,4	1,00	76	
2	Синоптики	min	1128	-0,4	2,6	0,55	73	29
		max	1143	-0,8	2,1	0,77	84	16
	РЭП	min	847	-0,4	2,3	0,44	78	34
		max	852	-0,4	1,7	0,59	89	22
	Инерция	min	847	-0,9	5,1	1,00	44	
		max	852	-0,9	2,9	1,00	68	
3	Синоптики	min	1176	-0,4	2,9	0,57	67	26
		max	1179	-0,8	2,2	0,70	81	21
	РЭП	min	883	-0,3	2,5	0,45	74	33
		max	883	-0,6	2,0	0,56	86	26
	Инерция	min	883	-1,1	5,6	1,00	41	
		max	883	-1,4	3,5	1,00	60	

В результате выполнения перечисленных процедур (просеивания предикторов, решения уравнений множественной регрессии и расчета прогностического значения предиктанта δT_{8-10}) рассчитывался прогноз аномалии температуры воздуха на декаду с использованием соотношения:

$$\delta T_{dek} = \frac{1}{10} (\sum_{i=1}^7 \delta T_i + 3 * \delta T_{8-10}),$$

где первое слагаемое в правой части суммировалось из спрогнозированных ранее аномалий температуры воздуха по дням.

Результаты оперативных испытаний

Оперативные испытания метода прогнозов средней декадной температуры с нулевой заблаговременностью и ее аномалии были проведены в ГУ «Гидрометцентр России» в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г. Прогнозы рассчитывались по 326 городам Российской Федерации. Результаты оценки прогнозов показали следующее.

В среднем по всем календарным и скользящим декадам абсолютная ошибка прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха была в пределах от 0,8 до 1,9 °С во все месяцы года, за исключением зимнего периода 2007–2008 гг., когда абсолютная ошибка аномалии средней декадной температуры составляла от 2,0 до 2,9 °С для календарных декад (рис. 1) и около 2 °С – для скользящих декад (рис. 2).

Оправдываемость прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха для календарных декад, рассчитанная согласно рекомендаций [2], колебалась в интервале от 80 до 99 % (рис. 3). Только во второй декаде декабря 2007 г. и второй декаде марта 2008 г. оправдываемость указанных прогнозов составила 73 %.

Оправдываемость прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха для скользящих декад месяца приведена на рис. 4. Она в разные месяцы года составляла 78–95 %.

Сравнение характеристик успешности методических и инерционных прогнозов за 36 декад периода испытаний (рис. 5) показало заметное преимущество методических прогнозов. Оправдываемость методических прогнозов, как правило, была выше на 20–40 %. Исключение составили лишь три декады рассматриваемого периода, когда оправдываемости инерционных и методических прогнозов различались на 3–4 %.

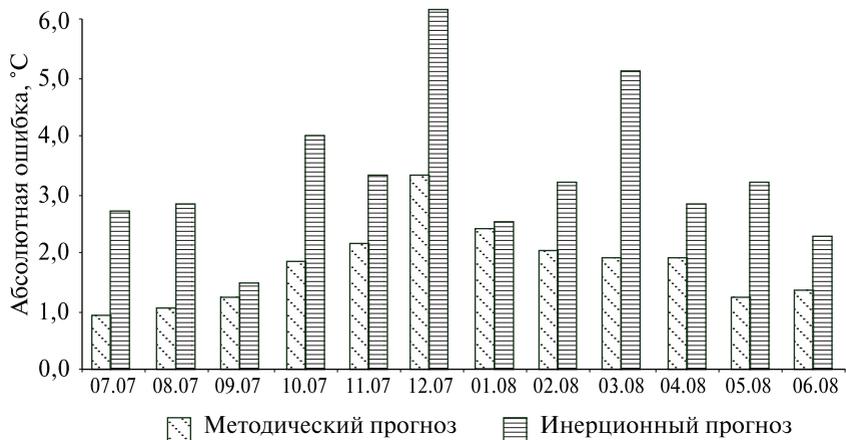


Рис. 1. Абсолютная ошибка прогноза аномалии средней декадной температуры воздуха (за месяц) в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

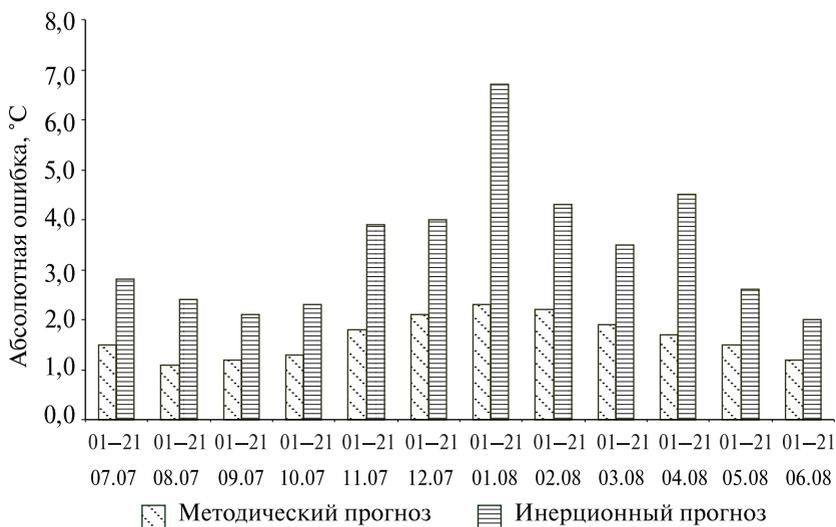


Рис. 2. Абсолютная ошибка прогноза аномалии средней декадной температуры воздуха (за 21 скользящую по месяцу декаду) в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

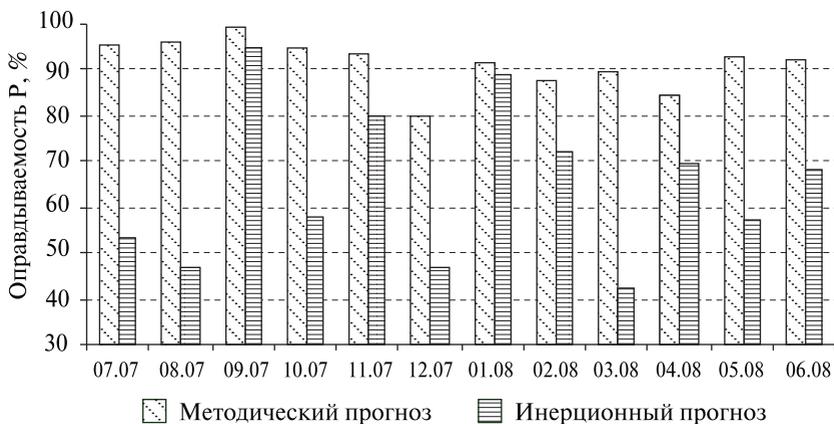


Рис. 3. Оправдываемость прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха (за месяц) в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

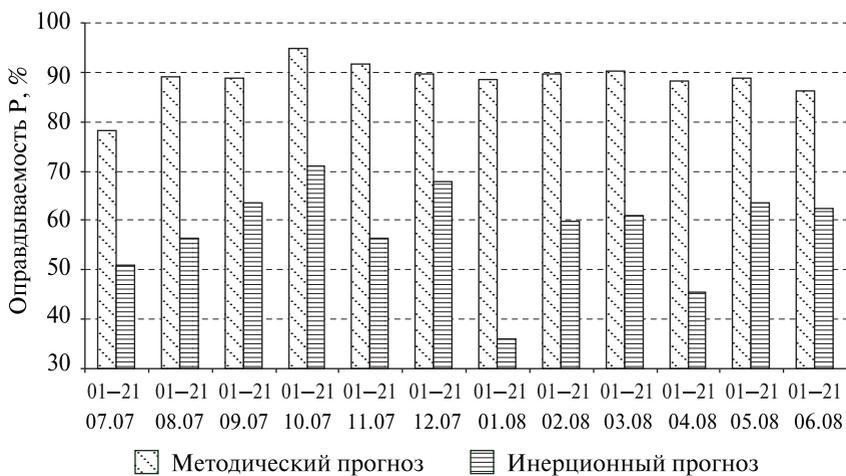


Рис. 4. Оправдываемость прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха (за 21 скользящую по месяцу декаду) за период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

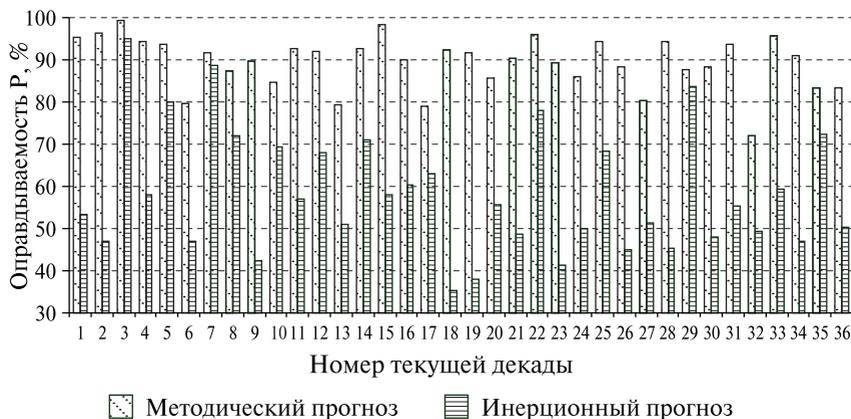


Рис. 5. Оправдываемость прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха по 36 календарным декадам за период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

Показатель R_0 , характеризующий степень совпадения прогнозов аномалии средней декадной температуры воздуха по знаку, приведен на рис. 6. Методические прогнозы аномалий средней декадной температуры, рассчитанной для 36 календарных декад и для скользящих декад периода испытаний, систематически имели существенное преимущество перед инерционными прогнозами.

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) в решении от 24 октября 2008 г. отметила, что созданная в ГУ «Гидрометцентр России» оперативная технология краткосрочного и среднесрочного прогнозирования температуры воздуха позволяет реализовать метод прогноза средней декадной температуры воздуха и ее аномалии с нулевой заблаговременностью по территории России с высокой успешностью.

ЦМКП рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» внедрение метода прогноза декадной приземной температуры воздуха и ее аномалии с нулевой заблаговременностью на основе автоматизированной технологии РЭП в оперативную практику в качестве основного метода прогноза по территории Российской Федерации.

ЦМКП рекомендовала прогностическим подразделениям УГМС использование выпускаемых на основе данной технологии декадных прогнозов температуры воздуха и ее аномалии в оперативной практике.

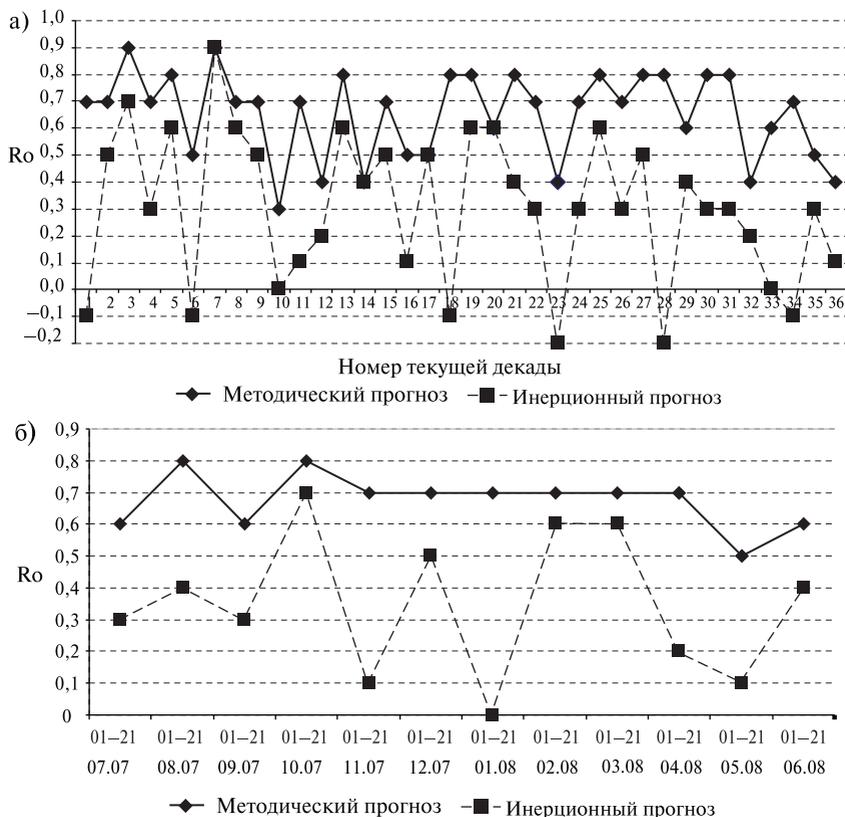


Рис. 6. Оценка знака прогностической аномалии средней декадной температуры в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.: а) по 36 календарным декадам; б) за 21 скользящую по месяцу декаду

Список литературы

1. Васильев П.П., Васильева Е.Л. Система статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей для среднесрочного прогноза погоды // 70 лет Гидрометцентра России. — СПб.: Гидрометеиздат, 1999. — С. 118–133.
2. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиографических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 67–69.

А.Н. Багров

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСПЕШНОСТИ
ПРОГНОЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПОГОДЫ
НА ОСНОВЕ ОДИННАДЦАТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ
И ЗАРУБЕЖНЫХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ
РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА
(в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г.)**

Настоящая работа является продолжением начатой в 2007 г. работы по сопоставлению успешности прогностических моделей атмосферы отечественных и зарубежных центров. В [1] приведены результаты сравнения 13 отечественных и зарубежных численных моделей атмосферы за период с июня по сентябрь 2007 года.

Во исполнение решения Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета от 22 октября 2007 г. в ГУ «Гидрометцентр России» в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г. проводилась сравнительная оценка успешности 11 отечественных и зарубежных численных моделей атмосферы различного масштаба. Цель сравнения – определить базовую региональную или мезомасштабную модель, удовлетворяющую требованиям высокого качества выходной продукции, оперативности, технологичности и возможности эксплуатации модели в региональных центрах Росгидромета.

Сравнивались прогнозы следующих элементов погоды у поверхности Земли: температуры и влажности воздуха, осадков, ветра, давления на уровне моря.

Методика выполнения сравнения подробно описана в [1]. Рассчитывались показатели успешности для прогнозов, стартующих в 00 ч ВСВ. Заблаговременность прогнозов – до трех суток.

Область оценки – Европейская территория России (ЕТР, 45°–65° с. ш., 27°–57° в. д.). Оценка прогнозов проводилась по данным всех 432 синоптических станций, расположенных на этой территории, наблюдения которых поступают в ГУ «Гидрометцентр России».

Отдельно проводились оценки по 17 административным центрам субъектов Российской Федерации Центрального федерального округа (ЦФО).

Оценивались следующие модели:

а) глобальные:

– UKMO (Великобритания, в г. Эксетер находится Метеоцентр Великобритании);

– NCEP (США);

– DWD (ФРГ, в г. Оффенбах находится Метеоцентр ФРГ);

– T85L31 (спектральная модель Гидрометцентра России);

– PLAV – полулагранжева с постоянным разрешением (Гидрометцентр России, автор – М.А. Толстых);

б) региональные:

– REGION (автор – В.М. Лосев);

в) мезомасштабные:

– MM5R (отв. К.Г. Рубинштейн);

– MM5K (отв. Г.Ю. Калугина, Московское гидрометбюро);

– ETA-model (отв. И.В. Тросников);

– WRFZ (отв. Р.Б. Зарипов);

– WRFJ (отв. В.Д. Жупанов).

Как и ранее, сравнивались проинтерполированные на станцию билинейным способом из узлов прогностической сетки значения метеорологических элементов с фактическими их значениями, измеренными на этой станции. Период оценки для температуры воздуха и осадков был разбит на два сезона: холодный (с октября по март месяц) и теплый (с апреля по август месяц). Для остальных метеорологических элементов период оценки взят полностью.

Материал для сравнения оказался весьма велик. Поэтому даты для оценки выбирались не подряд, а с равномерными пропусками, а именно: три дня включали в выборку, затем три дня пропускали и т.д. Это было сделано и для того, чтобы уменьшить влияние коррелированности

атмосферных процессов по времени. Дополнительно без пропусков дат выполнена оценка прогнозов за сентябрь 2008 г., т.к. в этом месяце оказалось наибольшее количество прогнозов у всех сравниваемых моделей атмосферы.

В табл. 1–16 представлены оценки прогнозов по всем моделям для температуры воздуха (t), давления на уровне моря (p), ветра (w) и влажности воздуха (температуры точки росы (td)).

В некоторых таблицах присутствуют показатели успешности испытываемой модели T169L31 (улучшенная глобальная спектральная модель Гидрометцентра России), а также оценки по комплексной схеме Л.В. Берковича (Berk).

Кроме того, представлены оценки экспериментальных ансамблевых прогнозов [1] температуры воздуха:

UKMO+NCEP (An UN),

UKMO+NCEP+REGION (An UNR);

а также экспериментальных прогнозов осадков:

UKMO+NCEP (An (UN),

UKMO+NCEP+PLAV (AnUNP),

UKMO+NCEP+DVD (An UND).

Обозначения в табл. 1–12: BIAS, RMS, ABS, OTNO и %>3 соответствуют средней, среднеквадратической, средней абсолютной и относительной ошибкам, а также проценту прогнозов с ошибками больше некоторого порога (3 °С , 3 гПа или 3 м/с); N – количество оцененных прогнозов. По техническим причинам число N для разных моделей неодинаково, что несколько снижает общую достоверность сравнения. Модели, где N явно недостаточно, помечены *.

В табл. 1 и 2 приведены показатели успешности прогнозов давления на уровне моря по ЕТР на 24 и 48 ч. Наиболее успешными в рассматриваемый период были прогнозы по моделям UKMO и NCEP, несколько уступали им прогнозы по моделям REGION и MM5K.

В табл. 3 представлены оценки прогнозов приземного ветра на 36 ч по 17 административным центрам ЦФО. Рассчитывался модуль векторной ошибки скорости ветра (т.е. в этой характеристике учтена как ошибка скорости, так и ошибка направления ветра). Из табл. 3 следует, что наилучшие результаты в прогнозировании ветра показали модели NCEP и DWD. Все мезомасштабные модели несколько завышали

Таблица 1

Оценка прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 24 ч по ЕТП
за период с 1 октября 2007 г. по 31 августа 2008 г.

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-0,56	1,23	0,95	0,20	71436
NCEP*	-0,36	1,17	0,89	0,20	59065
DWD	-0,60	1,46	1,11	0,23	71010
T85L31	-0,13	1,96	1,47	0,30	71436
PLAV	-0,92	1,85	1,48	0,31	71436
REGION	-0,53	1,37	1,05	0,22	71436
MM5R*	-0,11	1,47	1,07	0,22	59956
MM5K	-0,35	1,34	1,01	0,21	70166
ETA-model*	-1,46	1,95	1,59	0,35	49749
WRFZ**	-1,28	1,88	1,49	0,29	30173
WRFJ**	-0,37	1,81	1,32	0,30	25953

Таблица 2

Оценка прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 48 ч по ЕТП
за период с 1 октября 2007 г. по 31 августа 2008 г.

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	N
UKMO	-0,66	1,76	1,35	0,28	71394
NCEP*	-0,72	1,93	1,48	0,32	57351
DWD	-1,27	2,59	1,97	0,41	70969
T85L31	-0,20	3,39	2,57	0,54	71394
PLAV	-1,37	2,89	2,28	0,48	71394
REGION	-0,51	2,00	1,49	0,31	71394
MM5R*	-0,16	2,30	1,69	0,35	57799
MM5K	-0,67	2,11	1,61	0,33	70120
ETA-model**	-1,96	2,84	2,27	0,53	49735
WRFZ**	-1,48	2,51	1,99	0,40	30175
WRFJ**	-1,05	2,97	2,14	0,50	25920

Таблица 3

**Оценка прогнозов скорости ветра (м/с) на 36 ч по ЦФО
за период с 1 октября 2007 по 31 августа 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,70	1,77	1,41	0,25	9	2812
NCEP*	0,20	1,71	1,35	0,23	8	2323
DWD	0,38	1,66	1,30	0,23	7	2795
T85L31	-0,51	1,73	1,35	0,24	8	2812
PLAV	-0,08	1,76	1,40	0,25	8	2812
MM5R*	1,13	2,26	1,79	0,32	18	2291
MM5K	1,30	2,32	1,87	0,33	19	2764
ETA-model*	0,99	2,57	2,02	0,35	23	1958
WRFZ**	1,86	2,56	2,10	0,44	25	1186
WRFJ**	2,12	3,02	2,49	0,40	36	1020

скорость ветра; это обстоятельство более выражено в прогнозах на 24 и 48 ч, т.е. на ночь (известно, что ночью скорость приземного ветра в среднем меньше, чем днем).

В некоторых моделях прогноз приземного ветра и влажности воздуха не представлен. Ошибки в прогнозах влажности воздуха (табл. 4, 5) оказались несколько выше, чем в прогнозах температуры воздуха.

Таблица 4

**Оценка прогнозов влажности воздуха (td , °C) на 24 ч по ЦФО
за период с 1 октября 2007 г. по 31 августа 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-0,87	2,22	1,66	0,48	15	2838
NCEP*	0,28	2,24	1,62	0,48	14	2366
PLAV	0,39	2,56	1,96	0,57	20	2838
MM5R*	0,29	2,11	1,60	0,45	13	2381
MM5K	0,43	2,35	1,72	0,49	16	2787
ETA-model*	0,00	2,09	1,53	0,47	13	1978
WRFZ**	0,34	2,03	1,53	0,49	13	1200
WRFJ**	-0,05	1,90	1,47	0,46	12	1033

Таблица 5

**Оценка прогнозов влажности воздуха (*td*, °С) на 36 ч по ЦФО
за период с 1 октября 2007 г. по 31 августа 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-0,28	2,29	1,73	0,45	17	2830
NCEP*	0,90	2,64	2,00	0,52	22	2338
PLAV	1,85	3,36	2,64	0,69	35	2830
MM5R*	0,31	2,52	1,92	0,48	22	2304
MM5K	0,75	2,61	1,96	0,52	22	2779
ETA-model*	0,56	2,47	1,89	0,49	20	1971
WRFZ**	0,31	2,23	1,72	0,42	17	1194
WRFJ**	0,17	2,69	2,08	0,56	25	1027

В табл. 6–9 приведены показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха на 36 и 48 ч по ЕТР за холодный и теплый периоды 2007–2008 гг. для всех сравниваемых моделей и экспериментальных ансамблевых прогнозов. Как и ранее [1], успешность ансамблевого прогноза приземной температуры воздуха для всех заблаговременностей оказалась выше, чем по любой из моделей. Неплохие прогнозы по модели REGION. Прогнозы по моделям WRFZ и WRFJ имеют лучшую оправдываемость, однако эти результаты не очень достоверны из-за недостаточного числа случаев.

Таблица 6

**Оценка прогнозов температуры воздуха (°С) на 36 ч по ЕТР
за период с 1 октября 2007 г. по 31 марта 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-0,36	2,27	1,68	0,55	15	32798
NCEP*	0,37	2,50	1,75	0,56	17	24594
DWD	-1,27	2,85	2,18	0,72	26	32798
T85L31	-0,26	3,20	2,44	0,80	30	32798
PLAV	0,31	2,96	2,17	0,71	24	32798
REGION	-0,40	2,33	1,74	0,57	16	32798
WRFZ**	-0,52	2,45	1,81	0,60	18	18085
MM5R*	0,13	2,82	2,05	0,66	23	25826
MM5K	0,87	2,69	1,97	0,65	21	32726
ETA-model**	2,71	4,19	3,11	1,01	39	15945
An UN	-0,11	2,13	1,55	0,51	12	32798

Таблица 7

Оценка прогнозов температуры воздуха (°C) на 48 ч по ЕТР
за период с 1 октября 2007 по 31 марта 2008 г.

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-0,10	2,52	1,86	0,50	18	32734
NCEP*	0,86	2,91	2,02	0,53	21	24554
DWD	-1,28	3,12	2,40	0,64	30	32734
T85L31	-0,23	3,90	3,00	0,80	40	32734
PLAV	0,57	3,75	2,65	0,71	30	32734
REGION	-0,33	2,65	1,99	0,53	20	32734
WRFZ**	0,83	3,04	2,06	0,57	21	18054
MM5R*	1,25	3,30	2,26	0,60	24	25795
MM5K	1,48	3,46	2,45	0,66	28	32664
ETA-model**	1,83	4,08	2,81	0,78	33	15913
An UN	0,07	2,42	1,76	0,47	17	32734

Таблица 8

Оценка прогнозов температуры воздуха (°C) на 36 ч по ЕТР
за период с 1 апреля по 31 августа 2008 г.

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,23	2,24	1,65	0,44	14	33076
NCEP	0,40	2,64	2,00	0,53	21	30074
DWD	0,61	2,79	2,04	0,55	22	33076
T85L31	-0,18	3,20	2,51	0,67	32	32644
T169L31	-1,39	3,21	2,59	0,67	35	17996
PLAV	-0,65	3,28	2,46	0,66	30	33076
REGION	0,40	2,64	2,02	0,54	22	33076
WRFZ***	0,11	2,30	1,74	0,48	16	7741
WRFJ**	-0,11	2,43	1,83	0,51	18	22362
MM5R*	-2,05	3,30	2,70	0,74	38	26649
MM5K	-1,18	2,89	2,28	0,61	28	32644
ETA-model*	1,66	3,26	2,39	0,65	28	26201
An UN	0,22	2,07	1,52	0,40	12	33076

**Оценка прогнозов температуры воздуха (°С) на 48 ч по ЕТР
за период с 1 апреля по 31 августа 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,82	2,12	1,66	0,47	15	32951
NCEP	0,36	2,24	1,75	0,50	17	30813
DWD	1,34	2,69	2,14	0,61	25	32951
T85L31	-0,16	3,19	2,49	0,71	32	32520
T169L31**	0,07	2,64	2,09	0,58	25	17505
PLAV	0,81	2,92	2,28	0,65	28	32951
REGION	0,79	2,29	1,80	0,51	18	32951
WRFZ***	-0,16	2,16	1,70	0,47	16	7722
WRFJ**	-0,10	2,19	1,71	0,49	16	22269
MM5R*	-0,41	2,41	1,88	0,56	19	25685
MM5K	0,07	2,31	1,81	0,52	18	32519
ETA-model*	0,96	2,87	2,23	0,64	27	26112
An UN	0,39	1,84	1,44	0,41	10	32951

В сентябре 2008 г. неплохую оправдываемость прогноза температуры имеют модели REGION, WRFZ и комплексная схема Л.В. Берковича (табл. 10–12).

В табл. 13–16 представлены оценки прогнозов осадков по станциям ЦФО. Оценка осадков проводилась для заблаговременностей 18, 30, 42, 54 и 66 ч, так как на Европейской территории России измерения полусуточных осадков проводят в 6 и 18 ч ВСВ.

Обозначения в табл. 13–16. Для осадков оценивался факт выпадения осадков по критериям U, Uос, P_{ig} (общая оправдываемость, оправдываемость прогноза «осадки» (%), критерий качества Пирси–Обухова соответственно). Из количественных критериев включены средняя (сг/ос) и средняя абсолютная ошибка (аб/ос) прогноза осадков (мм/12 ч). N – количество оцененных прогнозов.

Результаты сравнения показали следующее:

– качество прогнозов английской и американской глобальных моделей весьма высокое;

Таблица 10

**Оценка прогнозов температуры воздуха (°C) на 24 ч по ЦФО
за период с 1 по 30 сентября 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,47	1,49	1,13	0,32	6	487
NCEP	-0,23	1,70	1,34	0,38	8	487
DWD	0,51	1,78	1,42	0,40	9	487
T85L31	-0,35	2,10	1,68	0,48	15	487
T169L31	0,01	1,84	1,43	0,39	9	453
PLAV	0,09	1,62	1,25	0,35	6	487
REGION	0,51	1,67	1,26	0,36	8	487
WRFZ*	-0,58	1,79	1,38	0,38	10	440
WRFJ*	-0,66	1,80	1,41	0,43	11	390
MM5R	-0,26	1,95	1,48	0,41	11	454
MM5K	-0,08	1,88	1,44	0,40	10	470
ETA-model	0,76	2,00	1,61	0,45	13	487
Berk	-0,25	1,50	1,18	0,33	5	487
An UNR	0,07	1,38	1,08	0,30	4	487

Таблица 11

**Оценка прогнозов температуры воздуха (°C) на 36 ч по ЦФО
за период с 1 по 30 сентября 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	-0,47	1,80	1,46	0,46	8	491
NCEP	0,01	2,03	1,54	0,48	14	491
DWD	0,28	2,06	1,66	0,52	13	491
T85L31	-0,15	3,33	2,60	0,82	35	491
T169L31	-2,17	3,26	2,65	0,8	39	457
PLAV	-0,09	2,53	1,99	0,63	21	491
REGION	0,03	2,44	1,92	0,60	18	491
WRFZ*	-0,64	2,31	1,78	0,54	20	440
WRFJ*	-0,41	2,46	1,89	0,61	20	373
MM5R	-1,54	2,76	2,26	0,77	28	458
MM5K	-1,19	2,74	2,11	0,68	24	474
ETA-model	2,03	2,94	2,25	0,71	28	491
Berk	0,66	2,25	1,72	0,54	14	491
An UNR	-0,32	1,77	1,43	0,45	6	49

Таблица 12

**Оценка прогнозов температуры воздуха (°C) на 48 ч по ЦФО
за период с 1 по 30 сентября 2008 г.**

Модель	BIAS	RMS	ABS	OTNO	%>3	N
UKMO	0,34	1,65	1,28	0,35	9	470
NCEP	-0,29	1,79	1,39	0,38	9	470
DWD	0,32	1,88	1,47	0,40	11	470
T85L31	-0,30	2,55	2,08	0,57	25	470
T169L31	-0,15	2,11	1,66	0,44	15	453
PLAV	-0,09	1,89	1,41	0,39	11	470
REGION	0,53	1,99	1,55	0,43	13	470
WRFZ*	-0,64	1,77	1,39	0,49	10	420
WRFJ*	-0,98	2,19	1,71	0,66	17	352
MM5R	-0,38	2,24	1,78	0,52	17	436
MM5K	-0,32	2,21	1,77	0,48	20	453
ETA-model	0,84	2,22	1,79	0,49	16	470
Berk	-0,33	1,82	1,46	0,40	10	470
An UNR	-0,00	1,55	1,21	0,33	6	470

Таблица 13

**Оценка прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч по ЦФО
за период с 1 октября 2007 г. по 31 марта 2008 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	62,3	47,8	0,41	0,45	0,81	1532
NCEP*	66,1	48,2	0,49	0,33	0,89	1108
DWD	66,4	50,8	0,46	0,64	1,19	1532
T85L31	76,6	65,7	0,49	0,35	1,01	1532
PLAV	77,7	63,2	0,59	-0,16	0,65	1532
REGION	72,9	58,0	0,49	0,34	1,02	1532
WRFZ**	63,4	48,0	0,43	0,16	0,73	857
MM5R	65,6	51,7	0,43	0,14	0,8	1228
MM5K	75,0	59,5	0,57	0,05	0,71	1516
ETA-model**	78,3	67,1	0,60	-0,14	0,74	839
Berk	66,0	50,7	0,44	-0,09	0,73	1499
An (UKMO, NCEP)*	83,0	70,0	0,65	-0,45	0,64	1108
An UNP*	82,2	69,0	0,63	-0,45	0,66	1108
An UND*	80,1	65,3	0,60	-0,47	0,68	1108

Таблица 14

**Оценка прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч по ЦФО
за период с 1 апреля по 31 августа 2008 г.**

Модель	U	Uос	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	72,4	44,0	0,54	0,56	1,23	1300
NCEP	73,8	44,9	0,56	0,23	1,12	1232
DWD	65,5	37,4	0,42	0,65	1,59	1300
T85L31	77,8	50,3	0,41	-0,08	1,19	1300
T169L31**	71,7	39,1	0,40	0,72	1,88	728
PLAV	68,1	39,8	0,47	0,06	1,09	1300
REGION	76,2	47,9	0,49	0,27	1,29	1300
WRFJ**	81,1	53,8	0,58	0,12	0,81	876
MM5R*	76,9	44,0	0,45	-0,07	0,77	1048
MM5K	74,4	46,2	0,52	-0,03	1,06	1283
ETA-model*	80,4	55,5	0,51	-0,25	0,99	1031
Berk	60,9	34,2	0,47	0,09	0,92	1233
An UN	84,7	64,0	0,58	-0,47	0,76	1232
AnUNP	84,1	63,7	0,54	-0,59	0,79	1232
An UND	84,4	65,9	0,51	-0,62	0,77	1232

Таблица 15

**Оценка прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч по ЦФО
за период с 1 по 30 сентября 2008 г.**

Модель	U	Uос	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	76,6	49,3	0,67	0,42	0,80	504
NCEP	77,8	50,7	0,64	0,15	0,78	504
DWD	74,2	46,1	0,51	0,5	1,01	504
T85L31	79,0	52,8	0,54	0,29	0,94	504
T169L31	77,0	50,3	0,55	0,93	1,41	470
PLAV	76,2	48,8	0,59	0,14	0,70	504
REGION	73,8	46,0	0,56	-0,01	0,79	504
WRFZ*	78,6	52,3	0,55	-0,01	0,72	453
WRFJ*	81,1	56,2	0,63	-0,04	0,65	387
MM5R	75,4	47,6	0,50	-0,03	0,79	471
MM5K	77,0	50,8	0,57	-0,03	0,80	487
ETA-model	83,7	62,8	0,58	-0,06	0,79	504
Berk	76,4	49,1	0,66	-0,15	0,55	504
An UN	88,1	72,4	0,69	-0,37	0,53	504
An UNP	87,7	72,6	0,66	-0,35	0,55	504
An UND	85,9	69,3	0,60	-0,39	0,53	504

**Оценка прогнозов осадков (мм/12 ч) на 42 ч по ЦФО
за период с 1 по 30 сентября 2008 г.**

Модель	U	Uoc	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	73,8	48,2	0,62	0,45	1,02	508
NCEP	77,8	52,7	0,62	0,28	0,97	508
DWD	65,4	40,2	0,44	1,10	1,80	508
T85L31	70,5	44,3	0,48	0,46	1,29	508
T169L31	69,2	44,1	0,55	1,18	1,66	474
PLAV	69,3	43,4	0,50	0,14	1,00	508
REGION	74,8	49,0	0,50	0,08	1,06	508
WRFZ*	83,4	60,9	0,67	0,03	0,86	457
WRFJ*	82,3	57,3	0,67	0,20	1,24	389
MM5R	77,4	52,9	0,60	0,07	0,90	474
MM5K	77,2	53,0	0,59	0,10	0,98	491
ETA-model	82,1	61,4	0,57	-0,12	0,79	508
Berk	67,3	42,3	0,52	-0,25	0,80	508
An U N	85,2	68,1	0,63	-0,44	0,72	508
An UNP	85,6	68,3	0,65	-0,48	0,68	508
An UND	86,8	71,1	0,67	-0,56	0,72	508

– в настоящее время представленные мезомасштабные модели не показали явного преимущества перед успешностью зарубежных глобальных моделей по всем оцениваемым метеорологическим величинам;

– среди отечественных моделей наиболее высокие показатели успешности прогнозов давления на уровне моря и приземной температуры воздуха имела региональная модель атмосферы (автор – В.М. Лосев);

– в целом при прогнозировании приземной температуры воздуха наилучшие результаты показали экспериментальные прогнозы с использованием ансамблевого подхода (модели UKMO, NCEP, REGION – автор – В.М. Лосев);

– при прогнозировании осадков наилучшие результаты показали экспериментальные прогнозы с использованием ансамблевого подхода (модели UKMO, NCEP, PLAV – автор – М.А. Толстых).

В соответствии с действующей международной практикой и для дальнейшего уточнения прогноза осадков ЦМКП Росгидромета предложила:

1. Отметить, что:

– сравнительная оценка успешности прогнозов метеорологических величин, рассчитанных на основе 11 отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба, выполнялась в ГУ «Гидрометцентр России» во исполнение решения ЦМКП от 2 октября 2007 г. в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г.;

– в сравнении участвовали пять глобальных моделей (из них две – оперативно функционирующие отечественные), одна региональная оперативная отечественная модель и пять зарубежных мезомасштабных моделей;

– мезомасштабная модель COSMO в сравнении не участвовала, т.к. включена в технологию оперативных испытаний лишь с октября 2008 г.;

– в качестве начальных и граничных условий для расчета мезомасштабных прогнозов использовались данные NCEP (США);

– у ряда мезомасштабных моделей по технологическим причинам большая часть прогнозов отсутствовала; выходная продукция некоторых моделей была готова позже срока, требуемого для оперативного использования;

– методика сравнения предусматривала оценку прогнозов давления, приземной температуры воздуха, точки росы, ветра и осадков;

– оценка успешности прогнозов выполнялось по данным сети метеорологических станций Европейской части России и Центрального федерального округа по исходным данным за 00 ч ВСВ;

– реализация детализированного в пространстве и по времени прогноза изменения метеорологических величин на основе мезомасштабных моделей, а также валидация этого прогноза требуют увеличенного объема данных измерений метеорологических величин, в том числе измерений 6-часовых сумм осадков четыре раза в сутки (вместо двух 12-часовых интервалов).

2. Результаты сравнения показали следующее:

– в настоящее время представленные мезомасштабные модели не показали явного преимущества перед успешностью зарубежных

глобальных моделей по всем оцениваемым метеорологическим величинам;

– среди отечественных моделей наиболее высокие показатели успешности прогнозов давления на уровне моря и приземной температуры воздуха имела региональная модель атмосферы (автор – В.М. Лосев);

– в целом при прогнозировании приземной температуры воздуха наилучшие результаты показали экспериментальные прогнозы с использованием ансамблевого подхода (модели UKMO, NCEP, REGION – автор – В.М. Лосев);

– при прогнозировании осадков наилучшие результаты показали экспериментальные прогнозы с использованием ансамблевого подхода (модели UKMO, NCEP, PLAV – автор – М.А. Толстых).

3. Рекомендовать Гидрометцентру России в рамках НИОКР на 2009–2011 гг.:

– расширить работы по развитию отечественных и зарубежных мезомасштабных моделей атмосферы с целью повышения качества прогнозов, а также для оценки возможности прогнозирования аномальных (опасных метеорологических) явлений и резких изменений погоды на их основе;

– продолжить дальнейшую сравнительную оценку краткосрочных прогнозов метеорологических величин на основе модельных прогнозов различного масштаба и ежегодно представлять результаты на рассмотрение ЦМКП для установления их приоритетов в использовании;

– расширить основную технологию регионального прогноза полей давления на уровне моря, высоты геопотенциала основных изобарических поверхностей и осадков заблаговременностью до 48 ч (автор – В.М. Лосев) внедрением прогнозов приземной температуры воздуха;

– обеспечить возможность использования данного вида прогностической продукции в прогностических подразделениях Европейской территории России;

– развивать методологию ансамблевого подхода для всех видов метеорологических прогнозов.

4. Учитывая возросшие требования к объему данных метеорологических наблюдений и их видам, необходимых для развития

мезомасштабных моделей атмосферы, предложить УГМК Росгидромета рассмотреть вопросы:

— об организации измерений количества осадков на метеорологических станциях Европейской части России за 6-часовые интервалы времени четыре раза в сутки (вместо двух 12-часовых интервалов) в соответствии с действующей международной практикой для детализации прогнозируемых осадков (в том числе на основе мезомасштабных моделей атмосферы) совместно с ГУ «ГГО» и ГУ «Гидрометцентр России»;

— обеспечения передачи в ГУ «Гидрометцентр России» в оперативном режиме всех имеющихся в территориальных подразделениях Росгидромета данных наблюдений за гидрометеорологическими явлениями и метеорологическими величинами, включая данные наблюдений других ведомств.

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.

М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева, И.А. Горлач

**ПРОГНОЗ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОЗДУХА И СРЕДНЕГО ВЕТРА ДЛЯ РЕГИОНОВ
ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ
НА ОСНОВЕ ПОЛУЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛИ
С ПОСТОЯННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ ПЛАВ-2005
С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО 120 ч
(авторы – М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева)**

Общие сведения

В Гидрометцентре России совместно с ИВМ РАН была разработана глобальная полулагранжева конечно-разностная модель среднесрочного прогноза погоды ПЛАВ (версия модели с постоянным разрешением по горизонтали, шаг по широте – $0,72^\circ$, по долготе – $0,9^\circ$, с 28 неравномерно расположенными уровнями по вертикали) [3, 8]. Прогноз полей метеорологических величин осуществлялся с помощью численного решения уравнений гидротермодинамики в сигма-системе координат на сфере. В модель включены параметризации процессов подсеточного масштаба (коротко- и длинноволновая радиация, глубокая и мелкая конвекция, планетарный пограничный слой, торможение гравитационных волн, тепло- и влагообмен с подстилающей поверхностью), разработанные в Метео-Франс для модели оперативного прогноза ARPEGE/IFS.

Решениями Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) от 27.01.2006 г. и 29.11.2007 г. модель рекомендована к внедрению в ГУ «Гидрометцентр России» для прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и давления на уровне моря, а также для прогноза осадков [4, 5].

Для повышения успешности прогнозов приземной температуры воздуха на основе модели ПЛАВ в блоке параметризаций процессов подсеточного масштаба использована параметризация процессов тепло- и влагообмена с почвой ISBA [7]. В параметризации ISBA учитывается влияние растительности на суточный ход испарения, способность растительности перехватывать и испарять поступившие на нее осадки, а также тепловая инерция растительности. В модель включено и расширение этой параметризации, касающееся промерзания и оттаивания почвы [6]. Для работы параметризации ISBA необходимо корректное и согласованное с данной параметризацией задание начальных значений влагосодержания почвы.

В качестве начальных данных модель ПЛАВ использует:

- поля оперативного объективного анализа на стандартных изобарических поверхностях с горизонтальным разрешением 1,25 градуса по долготе и широте;

- поля объективного анализа на модельной сетке температуры и относительной влажности на уровне 2 м, температуры и влагосодержания поверхностного и глубинного слоев почвы (разработаны в лаборатории перспективных численных методов в моделях атмосферы);

- поля температуры поверхности океана и высоты снежного покрова (разработаны в лаборатории оперативного объективного анализа, автор – А.Н. Багров).

Авторами модели ПЛАВ впервые в России реализована технология усвоения почвенных переменных и вариационный алгоритм усвоения приземной температуры [1].

Программный комплекс модели был распараллелен в 2006 году на основе сочетания технологий MPI и OpenMP, достигнута масштабируемость кода на 512 процессорах [2]. Прогностическая модель работает на сервере Xeon4b в оперативном режиме под управлением системы АСОИИ и записывает выходную продукцию в базы АСОИИ LAG1 и LAG2 на машинах Xeon4b и Xeon4.

Модель ПЛАВ в различных версиях реализована в опытном режиме на новом вычислителе SGI Altix 4700, установленном в ГВЦ Росгидромета. У экспериментальной версии модели, включающей постпроцессинг, с горизонтальным разрешением над Россией порядка 37 км и 50 уровнями по вертикали время расчета суточного прогноза составляет 20 мин.

Методика испытаний

Оперативные испытания прогнозов приземной температуры воздуха и приземного среднего ветра (зональной и меридиональной составляющих) на основе модели ПЛАВ-2005 проводились в сравнении с аналогичными прогнозами оперативной глобальной модели T85L31 и с прогнозами зарубежных метеорологических центров (UKMO, NCEP, DWD) в период с ноября 2007 г. по октябрь 2008 г.

Оценка прогнозов температуры воздуха, среднего ветра производилась путем сравнения с данными наблюдений на станциях: при оценке успешности прогнозов приземной температуры воздуха рассчитывались средняя абсолютная, среднеквадратическая и относительная ошибки; при оценке успешности прогнозов среднего приземного ветра рассчитывались средняя абсолютная и среднеквадратическая ошибки векторной разности прогностического и фактического ветра.

Показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха и среднего приземного ветра заблаговременностью до 72 ч рассчитывались по исходному сроку 00 ч ВСВ для центральной части Европейской территории России, территории Урала и Западной Сибири, территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Показатели успешности указанных прогнозов заблаговременностью до 120 ч по исходному сроку 12 ч ВСВ рассчитывались для регионов Северное полушарие, Европа, Азия и центральная часть Европейской территории России (27° – 57° в. д., 45° – 65° с. ш.).

Результаты оперативных испытаний

Результаты оценки успешности прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью до 72 ч, рассчитанных по исходным данным за 00 ч ВСВ, для центральной части Европейской территории России, территории Урала и Западной Сибири, территории Восточной Сибири и Дальнего Востока приведены в табл. 1.

Результаты оценки успешности прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью до 120 ч, рассчитанных по исходным данным за 12 ч ВСВ, для регионов Европа, Азия, Северное полушарие и центральная часть Европейской территории России приведены на рис. 1.

Таблица 1

Распределение ошибок прогноза приземной температуры воздуха
в период с ноября 2007 г. по октябрь 2008 г. Исходный срок – 00 ч ВСВ

Заблаговременность, ч	Модель	RMS	ABS	OTNO	N
Центральная часть Европейской территории России					
12	UKMO	1,98	1,46	0,0	92075
	NCEP	2,24	1,61	0,0	73492
	DWD	2,71	2,06	0,0	91214
	T85L31	2,50	1,91	0,0	90784
	PLAV	2,81	2,06	0,0	92074
24	UKMO	2,24	1,61	0,0	73269
	NCEP	2,54	1,79	0,46	90934
	DWD	2,77	2,15	0,51	90506
	T85L31	3,13	2,44	0,61	91794
	PLAV	3,13	2,27	0,68	91366
36	UKMO	2,23	1,68	0,55	72206
	NCEP	2,50	1,82	0,60	90796
	DWD	2,90	2,22	0,73	89931
	T85L31	3,09	2,40	0,79	91651
	PLAV	3,20	2,37	0,78	91224
48	UKMO	2,39	1,76	0,50	71994
	NCEP	2,76	1,97	0,57	90489
	DWD	2,98	2,30	0,65	89204
	T85L31	3,78	2,94	0,82	91355
	PLAV	3,53	2,55	0,72	90922
60	UKMO	2,50	1,89	0,62	72212
	NCEP	2,83	2,09	0,70	90361
	DWD	3,17	2,43	0,81	88641
	T85L31	3,75	2,92	0,97	91222
	PLAV	3,52	2,63	0,87	13108
72	UKMO	2,65	1,97	0,55	71950
	NCEP	3,08	2,23	0,64	90430
	DWD	3,38	2,60	0,73	88315
	T85L31	4,61	3,58	1,01	90863
	PLAV	3,83	2,81	0,79	13053

Продолжение таблицы 1

Заблаговременность, ч	Модель	RMS	ABS	OTNO	N
Урал и Западная Сибирь					
12	UKMO	2,90	2,17	0,0	37047
	NCEP	3,34	2,55	0,0	45988
	DWD	3,511	2,75	0,0	45773
	T85L31	3,11	2,41	0,0	46426
	PLAV	3,96	3,04	0,0	46207
24	UKMO	3,36	2,54	0,49	37002
	NCEP	3,97	3,02	0,61	45911
	DWD	3,65	2,90	0,57	45698
	T85L31	4,25	3,32	0,64	46348
	PLAV	4,27	3,50	0,69	46130
36	UKMO	3,08	2,32	0,56	36388
	NCEP	3,56	2,73	0,65	45771
	DWD	3,69	2,88	0,71	45339
	T85L31	3,91	3,02	0,73	46208
	PLAV	4,75	3,68	0,88	45989
48	UKMO	3,53	2,65	0,51	36326
	NCEP	4,18	3,18	0,64	45665
	DWD	3,90	3,09	0,60	45016
	T85L31	5,01	3,89	0,75	46101
	PLAV	4,75	3,81	0,74	45882
60	UKMO	3,39	2,57	0,62	36388
	NCEP	3,81	2,92	0,70	45555
	DWD	3,92	3,05	0,75	44683
	T85L31	4,76	3,68	0,90	45986
	PLAV	5,36	4,18	0,99	6596
72	UKMO	3,86	2,90	0,55	36304
	NCEP	4,52	3,41	0,68	45625
	DWD	4,20	3,33	0,63	44535
	T85L31	6,08	4,74	0,90	45840
	PLAV	5,19	4,10	0,78	65783

Окончание таблицы 1

Заблаговременность, ч	Модель	RMS	ABS	OTNO	N
Восточная Сибирь и Дальний Восток					
18	UKMO	4,25	3,21	0,0	22196
	NCEP	4,71	3,57	0,0	3941
	T85L31	4,09	3,21	0,0	28183
	PLAV	5,04	3,89	0,0	28052
30	UKMO	3,76	3,01	0,73	22672
	NCEP	3,39	2,61	0,61	4014
	T85L31	3,63	2,84	0,69	28817
	PLAV	4,91	3,96	0,97	28566
42	UKMO	4,29	3,28	0,51	21936
	NCEP	4,69	3,58	0,56	3944
	T85L31	4,48	3,53	0,55	28061
	PLAV	5,45	4,18	0,65	27932
54	NCEP	3,54	2,74	0,64	4014
	T85L31	4,19	3,28	0,80	28684
	PLAV	4,93	3,95	0,95	4025
66	NCEP	4,75	3,66	0,58	3941
	T85L31	5,0	3,91	0,61	27923
	PLAV	5,87	4,50	0,70	3941

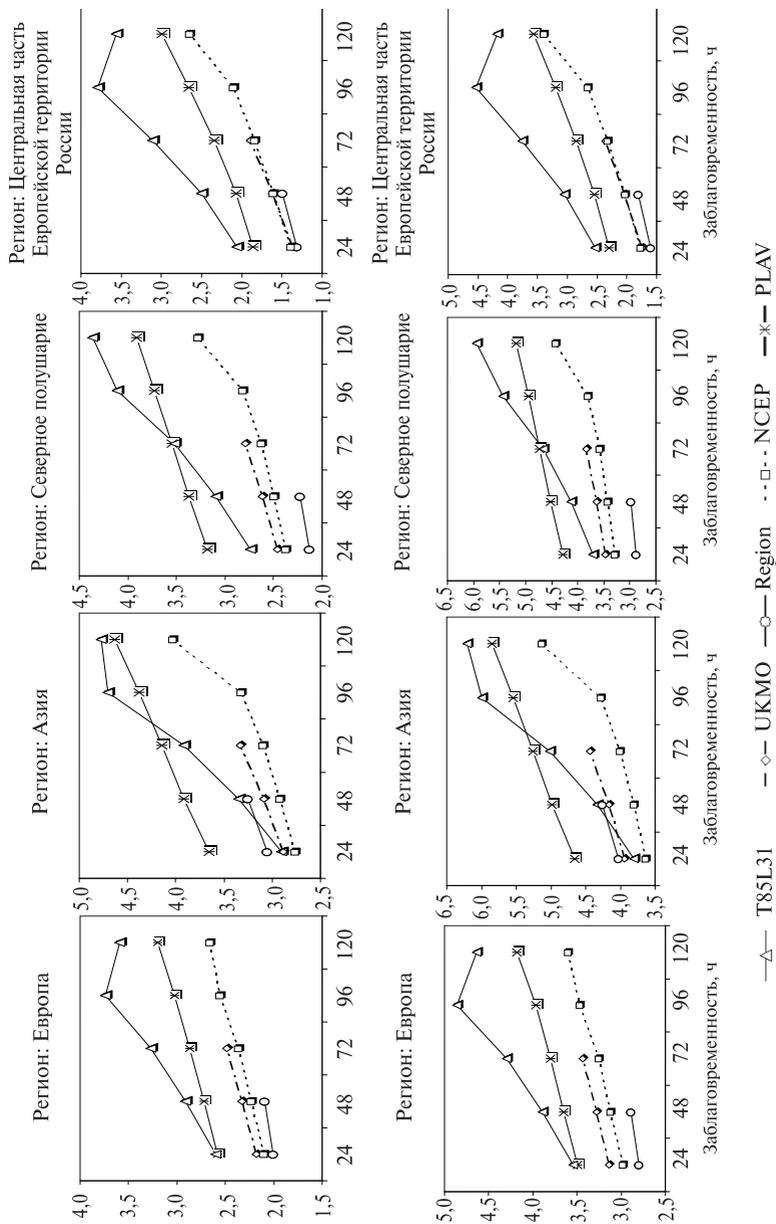


Рис. 1. Абсолютная (σ) и среднеквадратическая (σ²) ошибки прогноза приземной температуры воздуха. Исходный срок — 12 ч ВСВ.

Данные табл. 1 и рис. 1 свидетельствуют о том, что модель ПЛАВ-2005 имела меньшие абсолютные и среднеквадратические ошибки прогнозов приземной температуры воздуха заблаговременностью 72 и 120 ч соответственно по центральной части Европейской территории России и по территории Европы, а также при заблаговременности 96 и 120 ч по территории Азии и Северного полушария, модель Т85L31 – меньшие абсолютные и среднеквадратические ошибки прогнозов приземной температуры воздуха по региону Азия и территории Северного полушария при заблаговременности прогнозов до 72 ч.

Результаты оценки успешности прогнозов приземного ветра по рассматриваемым территориям приведены на рис. 2. Абсолютная и среднеквадратическая ошибки прогноза ветра у модели ПЛАВ-2005 были меньше, чем у спектральной модели на всех рассматриваемых территориях и при всех заблаговременностях прогнозов, кроме прогнозов на 24 ч по Европейской территории России, когда погрешности были практически одинаковы.

Показатели успешности прогнозов ветра в различных диапазонах фактической скорости ветра представлены в табл. 2. Величины среднеквадратической ошибки вектора ветра при скоростях до 15 м/с составляли 1,5–1,8 м/с у модели ПЛАВ-2005 и 1,3–2,3 м/с у модели Т85L31 при заблаговременности 12–72 ч соответственно.

В целом, успешность прогнозов приземной температуры воздуха у испытываемой модели была выше, чем у модели Т85L31 при заблаговременности более 72 ч для большинства территорий России. Успешность прогнозов приземного среднего ветра при скорости ветра более 5 м/с у модели ПЛАВ-2005 была несколько выше, чем у модели Т85L31 по большинству территорий.

Результаты оперативных испытаний показали:

– лучшие показатели успешности прогнозов приземной температуры воздуха при заблаговременности до 72 ч отмечены у модели Т85L31 на большинстве рассматриваемых территорий, при заблаговременности прогнозов 96 ч и более – у модели ПЛАВ-2005;

– в среднем показатели успешности прогнозов среднего приземного ветра у модели ПЛАВ-2005 оказались несколько выше, чем у модели Т85L31;

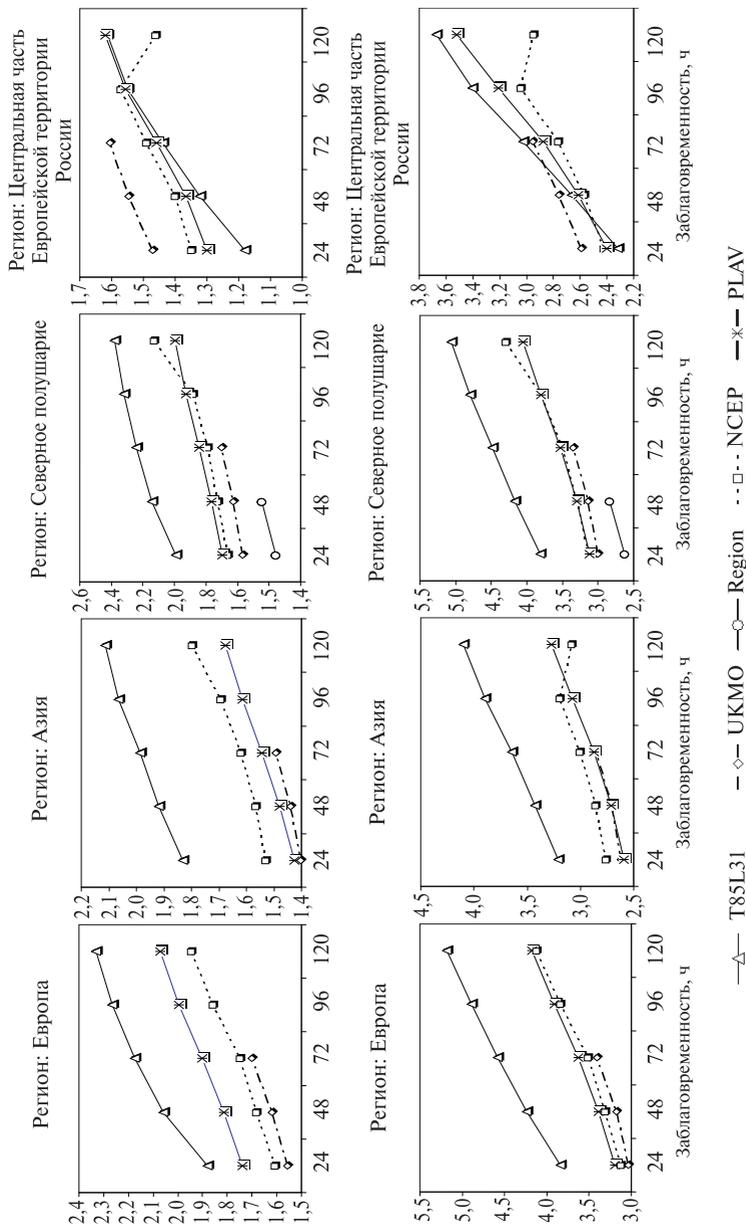


Таблица 2

Среднеквадратическая ошибка вектора среднего приземного ветра (м/с)
в различных диапазонах фактической скорости ветра

0–5 м/с				6–10 м/с				> 10м/с			
Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N	Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N	Заблаговременность, ч	Модель	RMS	N
12	PLAV	1,5	73498	12	PLAV	2,3	15409	12	PLAV	5,2	632
	T85L31	1,3	74340		T85L31	2,6	15819		T85L31	5,7	657
	UKMO	1,6	74340		UKMO	1,7	15819		UKMO	4,4	657
	NCEP	1,5	67544		NCEP	1,9	14191		NCEP	4,6	582
24	PLAV	1,8	85563	24	PLAV	2,3	3746	24	PLAV	5,4	174
	T85L31	2,0	86730		T85L31	2,3	3857		T85L31	5,9	175
	UKMO	1,9	86730		UKMO	1,8	3857		UKMO	4,5	175
	NCEP	1,8	81753		NCEP	1,9	3736		NCEP	4,4	170
36	PLAV	1,6	73367	36	PLAV	2,6	15521	36	PLAV	5,7	648
	T85L31	1,5	74311		T85L31	2,5	15841		T85L31	5,7	659
	UKMO	1,7	74311		UKMO	1,8	15841		UKMO	4,4	659
	NCEP	1,6	69243		NCEP	2,0	14591		NCEP	4,7	607
48	PLAV	1,8	85489	48	PLAV	2,6	3819	48	PLAV	6,0	174
	T85L31	2,2	86729		T85L31	2,5	3863		T85L31	6,3	174
	UKMO	1,9	86729		UKMO	2,0	3863		UKMO	4,6	174
	NCEP	1,8	81037		NCEP	2,1	3516		NCEP	5,1	165
60	PLAV	1,6	73277	60	PLAV	2,8	15610	60	PLAV	6,2	649
	T85L31	1,7	74339		T85L31	2,6	15819		T85L31	6,0	657
	UKMO	1,8	74339		UKMO	1,9	15819		UKMO	4,7	657
	NCEP	1,7	70747		NCEP	2,2	14799		NCEP	5,1	598
72	PLAV	1,9	85485	72	PLAV	2,9	3841	72	PLAV	6,5	171
	T85L31	2,3	86724		T85L31	2,7	3872		T85L31	6,6	171
	UKMO	2,0	86724		UKMO	2,1	3872		UKMO	5,1	171
	NCEP	1,9	82308		NCEP	2,3	3647		NCEP	5,5	165

– дополнительный анализ ошибок прогнозов среднего ветра на территории центральной части Европейской территории России по модели ПЛАВ-2005 в градациях фактического ветра 0–5, 5–10 и более 10 м/с показал, что модельные прогнозы имели погрешности в указанных градациях, соответственно, 1–2, 2–3 и 4–6,5 м/с.

После выполненного анализа результатов испытаний прогноза приземной температуры в модель ПЛАВ-2005 были внесены некоторые изменения, направленные на повышение качества прогноза приземной температуры в зимний период:

- уточнение климата температуры и влагосодержания глубинного слоя почвы;
- усовершенствованная схема расчета альбедо снега на растительности;
- параметризация пограничного слоя атмосферы на основе псевдокинетической энергии турбулентности;
- для интерполяции температуры на уровень 2 м применены профили Грачева (BLM2006) в приземном подслое для случаев устойчивой стратификации.

Результаты оперативной эксплуатации модели в период ноябрь 2008 г. – февраль 2009 г. подтвердили улучшение успешности прогноза приземной температуры воздуха.

Сравнение результатов испытания отечественных глобальных моделей с успешностью аналогичных оперативных прогнозов, поступающих из зарубежных центров (УКМО, NCEP и DWD), показало, что прогнозы приземной температуры воздуха на основе отечественных моделей уступают в успешности прогнозам зарубежных моделей по всем рассматриваемым регионам. Прогнозы приземного ветра по модели ПЛАВ-2005 имели некоторое преимущество перед успешностью модели NCEP на территории Азии.

Рекомендации о внедрении

ЦМКП, рассмотрев полученные результаты на заседании 2 апреля 2009 г., приняла следующее решение:

- Одобрить работу, выполненную в ГУ «Гидрометцентр России», по развитию глобальной полулагранжевой конечно-разностной модели

ПЛАН-2005 прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и характеристик приземной погоды с использованием технологии усвоения почвенных переменных.

- Рекомендовать ГУ «Гидрометцентр России»:

- расширить внедренную технологию прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и осадков на основе глобальной модели ПЛАН-2005 включением прогнозов полей приземной температуры и приземного ветра с заблаговременностью до 120 ч и размещать указанные прогнозы на веб-сайте ГУ «Гидрометцентр России»;

- рассмотреть возможность выпуска прогнозов минимальной и максимальной приземной температуры воздуха (в терминах прогнозов, выпускаемых синоптиками) и сравнения их с синоптическими прогнозами;

- провести дополнительный анализ показателей успешности прогнозов приземной погоды с целью выработки практических рекомендаций для прогнозистов и дополнительные испытания прогнозов ветра на акватории океанов с использованием данных измерений, выполняемых буйами;

- продолжить работы по улучшению качества прогнозов на основе модели ПЛАН с учетом результатов, полученных в период испытаний.

Список литературы

1. Богословский Н.Н., Шляева А.В., Толстых М.А. Усвоение почвенных и приземных переменных в глобальной полулагранжевой модели прогноза погоды // Вычислительные технологии. – 2008 – Т. 13. Спец. выпуск. – С. 111–116.

2. Володин Е.М., Толстых М.А. Параллельные вычисления в задачах моделирования климата и прогноза погоды // Вычислительные методы и программирование. – 2007. – Т. 8. – С. 113–122.

3. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 4. – С. 5–16.

4. Толстых М.А., Булдовский Г.С. Усовершенствованный вариант глобальной полулагранжевой модели прогноза полей метеоэлементов в версии с постоянным разрешением заблаговременностью до 10 суток (автор – М.А. Толстых; Гидрометцентр РФ, Институт вычислительной математики РАН) и результаты его оперативных испытаний // Информационный сборник № 34. – 2007. – С. 24–48.

5. Толстых М.А., Горлач И.А., Багров А.Н., Веселова Г.К., Малинская Г.В., Шакотько Е.Н. Прогноз осадков по регионам внетропической зоны Северного полушария на срок до 72 часов на основе полулагранжевой модели атмосферы с постоянным разрешением ПЛАВ-2005 (авторы – М.А. Толстых, А.В. Шляева) и результаты его оперативных испытаний по регионам России // Информационный сборник № 36. – 2008. – С. 4–42.

6. Boone A., Masson V., Meyers T., Noilhan J. The Influence of the Inclusion of Soil Freezing on Simulations by a Soil–Vegetation–Atmosphere Transfer Scheme // J. of Applied Meteorology. – 2000. – Vol. 39. – P. 1544–1569.

7. Noilhan J., Planton S. A simple parameterization of land surface processes for meteorological models // Mon. Wea. Rev. – 1989. – Vol. 117. – P. 536–549.

8. Tolstykh M. Vorticity-divergence semi-Lagrangian shallow-water model on the sphere based on compact finite differences // J. Comput. Phys. – 2002. – Vol. 179. – P. 180–200.

А.Н. Багров

**РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ УСПЕШНОСТИ
ПРОГНОЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИЗЕМНОЙ ПОГОДЫ,
РАССЧИТАННЫХ НА ОСНОВЕ ОДИННАДЦАТИ
ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МОДЕЛЕЙ
АТМОСФЕРЫ РАЗЛИЧНОГО МАСШТАБА
(в период с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г.)**

Выполненная работа является продолжением сравнительной оценки прогнозов элементов приземной погоды на основе отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба, выполненной ранее за периоды с июня по сентябрь 2007 г. [1] и с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г. [2].

Указанные этапы работы выполнялись в соответствии с решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) от 22 октября 2007 г. (пункт 1.4) с целью определения базовой региональной или мезомасштабной модели, удовлетворяющей требованиям высокого качества выходной продукции, оперативности, технологичности и возможности эксплуатации модели в региональных центрах Росгидромета.

Данный этап сравнительной оценки выполнялся в период с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г. Как и ранее, оценивались прогнозы следующих элементов погоды у поверхности Земли: давления на уровне моря, температуры воздуха и его влажности (точка росы), осадков и ветра.

Оценивались модельные прогнозы, рассчитанные по исходным данным за 00 ч ВСВ на срок до трех суток на Европейской территории России (45°–65° с. ш., 27°–57° в. д.). Оценка прогнозов проводилась

для 432 синоптических станций, расположенных на указанной территории, наблюдения которых поступают в ГУ «Гидрометцентр России», отдельно для холодного (16 ноября 2008 г. – 15 апреля 2009 г.) и теплого (16 апреля – 15 октября 2009 г.) сезонов. При расчете оценок за сезон выборка данных прореживалась, а именно: брались данные за первые три дня выборки, затем три дня пропускались и т.д. Таким образом уменьшалась корреляция ошибок прогнозов по времени.

Оценивались прогнозы следующих моделей атмосферы:

- а) глобальные (оперативные):
 - T85L31 (спектральная модель ГУ «Гидрометцентр России»);
 - PLAV – полулагранжева модель с постоянным разрешением (автор – М.А. Толстых, ГУ «Гидрометцентр России»);
- б) глобальные модели зарубежных центров:
 - UKMO (Великобритания, в г. Эксетер находится Метеоцентр Великобритании);
 - NCEP (США);
 - DWD (ФРГ, в г. Оффенбах находится Метеоцентр ФРГ);
- в) региональная (оперативная):
 - REGION – региональная модель ГУ «Гидрометцентр России» (автор – В.М. Лосев);
- г) мезомасштабные (экспериментальные):
 - MM5R (отв. К.Г. Рубинштейн, ГУ «Гидрометцентр России»);
 - MM5K (отв. Г.Ю. Калугина, Московское гидрометбюро);
 - WRFJ (отв. В.Д. Жупанов, ГУ «Гидрометцентр России»);
 - COSMO.RU (отв. Г.С. Ривин, ГУ «Гидрометцентр России»).

В качестве начальных и граничных условий для расчета экспериментальных мезомасштабных прогнозов использовались данные NCEP, а для модели COSMO.RU – данные DWD.

Следует отметить, что у большинства мезомасштабных моделей атмосферы по различным техническим причинам ряд с прогнозами оказался не полным.

Кроме того, были оценены и ниже в таблицах представлены характеристики успешности экспериментальных ансамблевых прогнозов температуры и осадков, рассчитанных с использованием выходной продукции моделей UKMO и NCEP (An UN), а также

прогнозов ветра с использованием выходной продукции моделей UKMO, NCEP и DWD (An UND). В таблицах с оценками прогнозов ветра имеются прогнозы, рассчитанные на основе комплексной схемы Л.В. Берковича (BerK). В некоторых таблицах также имеются оценки прогнозов японской глобальной модели (JAPA).

Для прогнозов метеорологических величин (давления на уровне моря – p , гПа; температуры воздуха – t , °C; точки росы – t_d , °C; скорости ветра – w , м/с) выполнен расчет общепринятого набора характеристик успешности. В таблицах использованы обозначения BIAS, RMS, ABS, OTNO соответственно средних, среднеквадратических, средних абсолютных и относительных ошибок, а также обеспеченности (%) прогнозов с ошибками меньше выбранных пороговых значений метеорологических величин (1, 2, 3) и больше некоторого порога 3 (в гПа, °C, мм/12 ч и м/с соответственно); N – количество оцененных прогнозов.

При прогнозировании осадков оценивался факт наличия/отсутствия осадков по известным критериям (обозначения в таблицах): U, Uoc, Ubo, Poc, Pbo, Hss, Pir, т.е. общая оправдываемость, оправдываемость прогноза наличия осадков и отсутствия осадков, предупрежденность случаев с осадками, без осадков (все эти значения в %), а также критерий надежности и критерий качества Пирси–Обухова. При оценке прогноза количества осадков были рассчитаны средняя (сг/ос) и средняя абсолютная ошибки (аб/ос) в мм/12 ч.

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря заблаговременностью 24, 36 и 48 ч по Европейской территории России в теплый период года, рассчитанные по данным наблюдений 432 метеорологических станций, находящихся на указанной территории, приведены в табл. 1–3.

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха заблаговременностью до 72 ч по Европейской территории России для холодного периода года приведены в табл. 4–8 и для теплого периода года – в табл. 9–13. В табл. 14–15 помещены показатели успешности прогнозов температуры воздуха заблаговременностью 24 и 30 ч за октябрь 2009 г., рассчитанные для территории Урала и Западной Сибири (217 станций), в табл. 16–17 – показатели успешности прогнозов температуры воздуха заблаговременностью 30 и 42 ч для территории Восточной Сибири и Дальнего Востока (140 станций).

Таблица 1

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 24 ч по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,36	1,03	0,80	0,22	72	96	99	1	33080
NCEP	-0,34	1,07	0,83	0,22	69	95	99	1	32233
DWD	-0,61	1,33	1,04	0,28	58	89	98	2	33080
T85L31	0,00	1,57	1,19	0,32	55	84	95	5	33080
PLAV	-1,12	1,66	1,33	0,36	45	81	95	5	33080
REGION	-0,31	1,13	0,88	0,24	67	94	99	1	33080
MM5K	-0,04	1,07	0,82	0,22	71	94	99	1	32653
COSMO.RU	-0,30	1,31	1,01	0,26	61	89	97	3	27556

Таблица 2

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 36 ч по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,21	1,19	0,92	0,25	65	92	98	2	32680
NCEP	-0,48	1,37	1,07	0,29	57	88	97	3	33105
DWD	-0,49	1,53	1,19	0,32	53	83	95	5	33105
T85L31	0,92	2,26	1,80	0,49	35	64	84	16	33105
PLAV	-1,83	2,49	2,04	0,55	27	57	79	21	33105
REGION	-0,32	1,34	1,04	0,28	59	88	97	3	33105
MM5R	0,28	1,46	1,13	0,30	56	85	96	4	32680
COSMO.RU	-0,35	1,64	1,27	0,32	50	80	94	6	27146

Таблица 3

Показатели успешности прогнозов давления на уровне моря (гПа) на 48 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,48	1,48	1,15	0,30	55	85	96	4	33071
NCEP	-0,52	1,64	1,28	0,34	50	81	94	6	33071
DWD	-0,78	1,95	1,53	0,40	41	73	90	10	33071
T85L31	0,01	2,78	2,14	0,56	33	58	75	25	33071
PLAV	-1,89	2,81	2,25	0,59	26	52	74	26	33071
REGION	-0,26	1,63	1,24	0,33	52	82	94	6	33071
MM5R	0,16	1,75	1,34	0,35	49	78	92	8	32646
COSMO.RU	-0,33	2,03	1,54	0,38	43	73	88	12	27113

Таблица 4

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 24 ч
по ЕТР для холодного сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,36	2,30	1,67	0,56	44	71	85	15	38733
NCEP	0,56	2,63	1,83	0,61	43	68	82	18	38305
DWD	-1,43	3,18	2,51	0,84	26	48	67	33	39155
T85L31	-0,48	3,34	2,58	0,87	26	49	66	34	38300
PLAV	-1,52	3,42	2,68	0,87	24	47	64	36	32396
REGION	0,08	3,10	2,40	0,80	28	52	70	30	39155
WRFJ	0,31	2,40	1,76	0,59	41	68	83	17	23428
MM5K	-0,64	2,83	2,14	0,73	32	58	76	24	33657
COSMO.RU	1,17	3,04	2,19	0,72	35	60	76	24	26826
An UN	0,15	2,13	1,56	0,52	45	73	87	13	39155

Таблица 5

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°С) на 36 ч
по ЕТР для холодного сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,30	2,25	1,71	0,29	41	68	83	17	38815
NCEP	0,04	2,51	1,84	0,31	40	66	81	19	38391
DWD	-1,51	3,01	2,36	0,40	28	52	70	30	39237
T85L31	-0,27	3,44	2,68	0,45	25	47	65	35	38383
PLAV	-0,36	2,97	2,25	0,38	32	56	73	27	39237
REGION	-0,27	2,31	1,78	0,30	38	65	82	18	39237
WRFJ	-0,57	2,77	2,13	0,33	32	58	76	24	22197
MM5K	0,33	2,72	2,07	0,34	34	60	77	23	33713
COSMO.RU	0,22	3,43	2,52	0,42	31	54	69	31	26444
An UN	0,12	1,96	1,49	0,25	46	74	88	12	39237

Таблица 6

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°С)
на 48 ч по ЕТР для холодного сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,46	2,51	1,84	0,47	39	66	82	18	37910
NCEP	0,60	2,80	2,00	0,51	39	64	79	21	37482
DWD	-1,43	3,38	2,65	0,68	26	48	65	35	38331
T85L31	-0,40	4,13	3,18	0,82	22	41	57	43	37485
PLAV	-1,58	3,65	2,84	0,72	24	45	62	38	30707
REGION	0,12	3,42	2,63	0,67	26	49	66	34	38331
WRFJ	0,45	2,67	1,97	0,51	36	63	80	20	21325
MM5K	-0,81	3,21	2,46	0,65	28	52	69	31	32827
COSMO.RU	1,35	3,39	2,44	0,62	32	55	72	28	26004
An UN	0,23	2,34	1,73	0,44	41	69	84	16	38331

Таблица 7

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 60 ч
по ЕТР для холодного сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,40	2,56	1,96	0,31	36	62	78	22	37917
NCEP	-0,01	2,85	2,14	0,33	34	59	75	25	37490
DWD	-1,57	3,36	2,63	0,42	25	47	65	35	38340
T85L31	-0,09	4,02	3,14	0,50	22	41	57	43	37484
PLAV	-0,38	3,33	2,54	0,40	28	51	68	32	38340
WRFJ	-0,90	3,40	2,62	0,39	26	49	66	34	21322
COSMO.RU	0,21	3,70	2,73	0,43	29	50	66	34	25579
An UN	0,05	2,24	1,70	0,27	40	68	84	16	37895

Таблица 8

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 72 ч
по ЕТР для холодного сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,42	2,76	2,05	0,46	36	61	78	22	38741
NCEP	0,59	3,27	2,30	0,52	34	59	75	25	38313
DWD	-1,47	3,60	2,81	0,63	25	45	62	38	38737
T85L31	-0,19	4,61	3,59	0,82	19	37	52	48	38312
PLAV	0,03	3,68	2,81	0,64	25	47	63	37	39165
WRFJ	-0,93	3,51	2,69	0,58	25	48	65	35	22157
COSMO.RU	-0,33	3,20	2,39	0,55	31	54	71	29	25977
An UN	0,11	2,58	1,92	0,43	37	64	80	20	38741

Таблица 9

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 24 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,84	2,04	1,59	0,56	42	70	87	13	39753
NCEP	0,40	2,11	1,63	0,58	41	70	86	14	39753
DWD	1,54	2,75	2,20	0,78	29	54	73	27	39327
T85L31	-0,39	2,65	2,10	0,74	31	57	76	24	39329
PLAV	1,08	2,88	2,26	0,80	30	53	72	28	39753
REGION	0,98	2,37	1,86	0,66	36	63	81	19	33338
WRFJ	-0,90	3,51	2,69	0,58	25	48	65	35	22157
MM5R	-0,10	2,21	1,71	0,64	39	67	84	16	23507
MM5K	0,13	2,20	1,71	0,61	40	67	84	16	39753
COSMO.RU	0,91	2,45	1,91	0,68	35	62	79	21	28202
An UN	0,04	1,65	1,30	0,46	48	79	93	7	39753

Таблица 10

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 36 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,04	2,07	1,55	0,18	45	73	87	13	39216
NCEP	0,37	2,48	1,87	0,21	37	65	82	18	39216
DWD	0,65	2,62	1,97	0,22	36	62	80	20	38786
T85L31	-0,19	3,23	2,51	0,29	28	50	68	32	38788
PLAV	0,58	2,94	2,25	0,26	31	55	73	27	39216
REGION	0,31	2,29	1,73	0,20	40	68	84	16	38788
WRFJ	-0,58	2,47	1,90	0,21	36	63	81	19	31148
MM5R	-2,04	3,11	2,60	0,30	20	43	64	36	23464
MM5K	-1,35	2,82	2,25	0,26	28	54	73	27	39216
COSMO.RU	2,31	4,74	3,70	0,41	19	36	50	50	27705
An UN	0,08	1,88	1,41	0,16	49	77	90	10	39216

Таблица 11

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 48 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,95	2,21	1,73	0,50	38	66	83	17	39753
NCEP	0,44	2,29	1,78	0,52	37	65	82	18	39327
DWD	1,54	2,85	2,28	0,66	28	52	71	29	39323
T85L31	-0,33	3,26	2,59	0,75	25	47	65	35	39325
PLAV	1,28	3,13	2,48	0,72	27	49	67	33	39753
REGION	1,13	2,43	1,90	0,55	35	62	80	20	39325
WRFJ	-1,01	2,52	1,99	0,57	33	60	78	22	31211
MM5R	-0,45	2,45	1,92	0,58	34	61	79	21	23090
MM5K	-0,03	2,37	1,86	0,54	36	63	81	19	39753
COSMO.RU	0,85	2,59	2,03	0,59	33	59	77	23	28199
An UN	0,09	1,80	1,42	0,41	45	75	91	9	39753

Таблица 12

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 60 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,05	2,48	1,87	0,21	37	65	81	19	39735
NCEP	0,34	2,78	2,11	0,24	33	59	77	23	39305
DWD	0,59	2,96	2,23	0,25	32	57	74	26	39306
T85L31	-0,23	3,84	3,00	0,34	23	43	59	41	39307
PLAV	0,29	3,00	2,28	0,26	31	55	73	27	39735
WRFJ	-1,03	2,98	2,33	0,26	29	53	72	28	30755
MM5R	-2,84	3,93	3,32	0,37	16	32	49	51	22656
COSMO.RU	2,07	5,03	3,92	0,44	18	34	48	52	28197
An UN	0,12	2,19	1,65	0,19	42	70	86	14	39735

Таблица 13

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°С) на 72 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	1,00	2,42	1,90	0,53	35	62	80	20	39655
NCEP	0,33	2,44	1,91	0,53	35	62	80	20	38802
DWD	1,47	3,03	2,42	0,68	27	49	68	32	39227
T85L31	-0,14	3,91	3,09	0,87	22	41	58	42	39228
PLAV	1,31	3,37	2,66	0,75	25	47	64	36	39655
WRFJ	-1,29	2,86	2,27	0,64	29	53	71	29	30677
MM5R	-0,64	2,74	2,15	0,62	31	56	75	25	22629
COSMO.RU	0,73	2,84	2,25	0,62	30	54	72	28	27704
An UN	0,12	1,95	1,54	0,43	42	71	88	12	39655

Таблица 14

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°С) на 24 ч
по территории Урала и Западной Сибири за октябрь 2009 г.

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,88	2,31	1,72	0,44	42	68	83	17	6682
NCEP	1,42	2,90	2,16	0,55	36	59	73	27	6682
DWD	0,52	2,80	2,13	0,54	34	59	76	24	6682
JAPA	0,77	2,91	2,15	0,55	34	60	77	23	6682
T85L31	-0,55	3,20	2,59	0,66	24	45	64	36	6682
PLAV	-1,20	3,31	2,76	0,71	20	40	59	41	6682
REGION	1,05	2,50	1,86	0,48	40	65	80	20	6682
WRFJ	0,40	2,57	1,92	0,48	38	64	79	21	6245
An UN	-0,12	2,12	1,65	0,42	41	68	85	15	6682

Таблица 15

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 36 ч по территории Урала и Западной Сибири за октябрь 2009 г.

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-0,72	2,03	1,53	0,24	46	72	86	14	6638
NCEP	-0,92	2,47	1,92	0,30	36	62	79	21	6638
DWD	-1,01	2,49	1,95	0,30	35	61	78	22	6638
JAPA	-0,89	2,54	1,87	0,29	40	66	80	20	6638
T85L31	-0,08	3,00	2,36	0,36	29	53	70	30	6638
PLAV	-1,03	2,59	1,99	0,31	34	61	78	22	6638
REGION	-0,55	2,18	1,66	0,26	42	69	84	16	6638
WRFJ	-1,57	2,71	2,18	0,34	28	53	74	26	5983
An UN	0,31	1,96	1,54	0,24	42	70	87	13	6638

Таблица 16

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°C) на 30 ч по территории Восточной Сибири и Дальнего Востока за октябрь 2009 г.

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-1,66	2,78	2,23	0,36	30	53	70	30	4107
NCEP	-1,79	2,90	2,33	0,37	27	51	69	31	4107
JAPA	-2,04	3,14	2,54	0,41	25	47	64	36	4107
PLAV	-3,85	4,63	4,03	0,65	10	21	35	65	4107
REGION	-1,56	2,81	2,23	0,36	30	54	70	30	4107
WRFJ	-2,29	3,37	2,77	0,44	22	41	59	41	3840
An UN	0,19	1,81	1,38	0,22	47	77	91	9	4107

Таблица 17

Показатели успешности прогнозов температуры воздуха (°С) на 42 ч по территории Восточной Сибири и Дальнего Востока за октябрь 2009 г.

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	1,49	3,36	2,64	0,58	26	48	65	35	4010
NCEP	1,03	3,14	2,45	0,54	28	51	69	31	4010
JAPA	1,86	3,81	2,96	0,65	25	45	59	41	4010
T85L31	-0,94	3,61	2,81	0,62	26	45	63	37	4010
PLAV	0,58	3,45	2,76	0,61	23	45	61	39	4010
REGION	1,98	3,95	3,11	0,68	23	42	56	44	4010
WRFJ	0,96	3,37	2,65	0,57	26	47	64	36	3626
An UN	0,17	2,60	2,09	0,46	30	56	75	25	4010

Показатели успешности прогнозов осадков заблаговременностью 18, 30, 42 и 54 ч, а также прогнозов точки росы и ветра заблаговременностью 24 и 36 ч по Европейской территории России приведены, соответственно, в табл. 18–21, 22–23 и 24–25.

В приведенных таблицах наилучшие показатели успешности прогнозов всех метеорологических элементов для разных моделей отмечены полужирным шрифтом

Результаты сравнения показали следующее:

– экспериментальные мезомасштабные модели имели абсолютные ошибки прогноза приземной температуры воздуха меньше, чем отечественные глобальные модели, как в холодный, так и в теплый периоды на 0,2–0,9 °С;

– прогнозы осадков на основе модели COSMO.RU оказались более успешными, чем прогнозы осадков всех рассматриваемых моделей атмосферы;

– наметившийся прогресс в успешности прогнозирования приземной температуры воздуха на основе экспериментальных мезомасштабных моделей и существенные преимущества мезомасштабной модели COSMO.RU при прогнозировании осадков в последние три месяца;

Таблица 18

Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 18 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	U	Uoc	Ubo	Poc	Pbo	Hss	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	65	39	98	96	57	0,35	0,53	1,45	3,92	39796
NCEP	78	50	95	87	75	0,49	0,62	0,46	3,73	39796
DWD	78	50	92	77	78	0,46	0,56	-1,40	3,47	39366
T85L31	81	58	85	45	91	0,39	0,36	-2,63	3,70	39366
PLAV	69	40	94	87	64	0,36	0,50	-1,19	3,16	39796
REGION	77	48	90	69	79	0,42	0,49	-1,29	3,70	39796
WRFJ	65	40	97	95	55	0,34	0,50	3,35	5,40	29108
MM5R	79	54	93	82	78	0,51	0,60	-0,89	3,63	22687
MM5K	79	52	93	79	79	0,49	0,58	-0,54	3,43	39796
COSMO.RU	83	57	93	77	84	0,54	0,61	-0,73	3,64	28241
An UN	84	60	93	76	86	0,57	0,62	0,18	3,68	39796

Таблица 19

Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 30 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	U	Uoc	Ubo	Poc	Pbo	Hss	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	76	44	96	87	74	0,44	0,60	1,19	3,98	39355
NCEP	77	45	95	84	75	0,44	0,59	-0,39	3,32	39355
DWD	68	35	92	76	66	0,30	0,43	-0,16	4,12	38506
T85L31	82	55	88	49	90	0,41	0,39	-1,73	3,84	38931
PLAV	72	40	94	80	71	0,37	0,51	-1,16	3,24	39355
REGION	76	43	92	73	76	0,39	0,50	-0,82	3,90	39355
WRFJ	80	51	92	74	81	0,48	0,56	-1,20	3,40	26648
MM5R	79	49	91	69	82	0,44	0,51	-0,98	3,84	22413
MM5K	77	45	93	75	78	0,43	0,53	-0,97	3,48	39355
COSMO.RU	84	59	91	63	89	0,51	0,52	-0,81	3,78	27106
An UN	86	62	92	67	90	0,55	0,57	-0,77	3,31	39355

Таблица 20

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 42 ч
по ЕТР для теплого сезона**

Модель	U	Uoc	Ubo	Poc	Pbo	Hss	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	63	37	98	95	54	0,31	0,49	1,32	4,08	39792
NCEP	76	47	93	81	74	0,44	0,55	0,08	4,01	39792
DWD	61	34	92	83	55	0,25	0,38	0,83	5,00	38931
T85L31	77	48	87	55	83	0,36	0,38	-2,05	3,96	39362
PLAV	67	39	94	85	62	0,33	0,47	-1,40	3,44	39792
REGION	74	43	89	65	76	0,35	0,41	-1,44	4,10	39792
WRFJ	67	39	95	89	60	0,34	0,49	0,12	4,03	25686
MM5R	74	47	92	78	73	0,41	0,51	-1,13	3,54	22685
MM5K	75	46	91	73	76	0,40	0,48	-0,72	3,85	39792
COSMO.RU	79	53	91	72	81	0,48	0,53	-1,22	3,82	27389
An UN	82	57	91	70	85	0,51	0,55	-0,25	3,94	39792

Таблица 21

**Показатели успешности прогнозов осадков (мм/12 ч) на 54 ч
по ЕТР для теплого сезона**

Модель	U	Uoc	Ubo	Poc	Pbo	Hss	Pir	cr/os	ab/os	N
UKMO	82	54	91	63	87	0,47	0,50	-1,67	3,43	39386
NCEP	75	42	93	78	74	0,39	0,52	-0,54	3,71	39386
DWD	55	28	92	84	48	0,18	0,32	1,43	5,27	38960
T85L31	78	45	88	51	85	0,34	0,36	-1,51	4,06	38961
PLAV	71	38	92	75	70	0,33	0,45	-1,33	3,55	39386
WRFJ	78	45	91	68	80	0,40	0,48	-1,36	3,74	25402
MM5R	76	43	90	63	80	0,36	0,42	-1,07	4,06	22460
COSMO.RU	80	51	89	59	86	0,42	0,45	-1,00	4,03	27935
An UN	79	47	92	71	80	0,43	0,51	-0,90	3,65	39386

Таблица 22

Показатели успешности прогнозов точки росы (°С) на 24 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	-1,56	3,05	2,24	0,25	33	59	75	25	38791
NCEP	-0,57	2,33	1,75	0,20	40	67	83	17	38791
PLAV	-0,49	2,62	2,04	0,23	32	58	77	23	38791
MM5R	-1,59	3,90	2,68	0,28	33	57	71	29	22607
COSMO.RU	0,58	2,39	1,85	0,21	36	63	81	19	28155
An UN	-0,08	1,98	1,50	0,17	43	73	88	12	38791

Таблица 23

Показатели успешности прогнозов точки росы (°С) на 36 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,49	7,04	2,71	0,30	34	60	76	24	38466
NCEP	-0,12	2,75	2,10	0,23	34	59	76	24	38466
PLAV	1,94	4,20	3,24	0,36	22	41	57	43	38466
MM5R	-1,01	3,77	2,70	0,27	29	52	69	31	20789
COSMO.RU	0,41	3,08	2,34	0,26	31	55	72	28	27469
An UN	0,17	3,97	2,04	0,23	37	65	82	18	38466

Таблица 24

Показатели успешности прогнозов скорости ветра (м/с) на 24 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	1,30	1,89	1,59	2,11	15	50	82	19	38739
NCEP	1,15	1,79	1,48	2,02	16	55	85	15	38739
DWD	1,39	1,99	1,67	2,24	12	45	79	21	37886
T85L31	1,32	2,03	1,69	2,33	11	44	76	24	38739
PLAV	0,81	1,80	1,41	1,92	27	59	82	18	38739
Berk	0,07	1,51	1,16	1,69	30	71	88	12	38739
MM5R	2,03	2,58	2,23	2,90	8	27	53	47	22990
MM5K	1,57	2,22	1,88	2,59	11	35	65	35	38313
COSMO.RU	1,33	1,96	1,62	2,18	14	50	80	20	28102
An UN	1,14	1,81	1,47	1,98	19	57	84	16	38739

Таблица 25

Показатели успешности прогнозов скорости ветра (м/с) на 36 ч
по ЕТР для теплого сезона

Модель	Ошибки прогнозов				Обеспеченность (%) при абсолютной ошибке				N
	BIAS	RMS	ABS	OTNO	≤1	≤2	≤3	>3	
UKMO	0,47	1,76	1,38	2,35	15	46	73	27	38259
NCEP	0,17	1,70	1,32	2,31	16	48	74	26	38689
DWD	0,47	1,83	1,42	2,46	14	44	70	30	38261
T85L31	-0,19	1,82	1,39	2,53	14	43	69	31	38689
PLAV	0,08	1,84	1,42	2,43	14	44	71	29	38689
Berk	-0,39	1,92	1,45	2,73	12	39	64	36	38689
MM5R	0,84	2,08	1,62	2,75	11	37	63	37	22980
MM5K	0,74	2,11	1,65	2,95	10	35	60	40	38262
COSMO.RU	0,98	2,13	1,68	2,84	10	35	61	39	27636
An UN	0,26	1,68	1,30	2,28	17	49	75	25	38689

– экспериментальные прогнозы температуры воздуха и осадков на основе многомодельного ансамбля имели высокие показатели успешности.

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета на своем заседании 1 декабря 2009 г. одобрила выполненную ГУ «Гидрометцентр России» работу по сравнительной оценке успешности прогнозов элементов погоды на основе 11 отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба и отметила ее важность.

Комиссия рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России»:

– продолжить сравнительную оценку краткосрочных прогнозов метеорологических величин на основе модельных прогнозов различного масштаба (в том числе и с шагом сетки 2,8–7,0 км) и ежегодно представлять результаты на рассмотрение ЦМКП для установления их приоритетов в использовании;

– провести работы по созданию специализированной технологии для адекватной оценки мезомасштабных прогнозов высокого разрешения;

– продолжить работу по развитию экспериментальных мезомасштабных моделей атмосферы с целью повышения успешности прогнозов, а также для возможности прогнозирования опасных явлений погоды и резких ее изменений.

Комиссия поддержала предложение ГУ «Гидрометцентр России» рассмотреть вопрос организации измерений количества осадков на метеорологических станциях Европейской части России за 6-часовые интервалы времени (вместо 12-часовых интервалов) в соответствии с действующей международной практикой, учитывая возросшие требования к объему и видам данных метеорологических наблюдений, необходимых для развития и верификации мезомасштабных моделей атмосферы.

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. *Багров А.Н.* Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г.) // Информационный сборник № 37. – 2010.

П.П. Васильев, Е.В. Васильева, И.А. Горлач

**МЕТОД ПРОГНОЗА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДО ТРЕХ СУТОК
ПО АДМИНИСТРАТИВНЫМ ЦЕНТРАМ СУБЪЕКТОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ РЭП (автор – П.П. Васильев)
И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ИСПЫТАНИЯ**

Краткое описание метода

Метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток основан на реализации программно-технологического комплекса адаптивной статистической модели краткосрочного и среднесрочного прогноза и использует статистическую интерпретацию результатов интегрирования гидродинамических моделей атмосферы [1].

В ГУ «Гидрометцентр России» в оперативную практику внедрена технология построения численных статистических моделей для прогноза элементов погоды (РЭП – расчет элементов погоды) с использованием таких алгоритмов, как метод дискриминантного анализа, пошаговые регрессионные алгоритмы с динамическим отбором предикторов на каждом этапе; алгоритм усвоения, контроля и восстановления данных (уровня 2) для сбора и архивации их в среднесрочной проблемно-ориентированной базе данных (СПОБД), необходимой при численной интерпретации; создана справочно-информационная база (SNOB, SNOBIK) для комплектации и распространения прогностической продукции пользователям.

Технология предусматривает возможность формирования выпускаемой продукции различными алгоритмами, предназначенными для районирования по энергосистемам, бассейнам рек, побережьям

морей, по территории субъектов Российской Федерации, а также для отдельных пунктов. Система связана с метеорологическими каналами связи, почтовыми серверами и осуществляет, кроме прогноза, накопление и поддержание базы данных (уровней 2 и 3), выполняет оценку оправдываемости прогностической продукции и распространение этой продукции потребителям (в том числе в территориальные УГМС). Прогноз осуществляется отдельно для минимальной и максимальной температур воздуха.

В связи с усовершенствованием и развитием технологии получения, декодирования и обработки метеорологических данных, поступающих по каналам связи, а также самой технологии РЭП, с июля 2008 г. основной сеанс выпуска и передачи прогнозов, рассчитанных на основе технологии РЭП, перенесен с 07 ч 10 мин на 04 ч 50 мин ВСВ.

В соответствии с решением Центральной методической комиссии (ЦМКП) от 9 ноября 2006 г. (п. 2.8) в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г. в ГУ «Гидрометцентр России» были проведены оперативные испытания метода прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха с заблаговременностью одни, двое и трое суток. Прогнозы рассчитывались по 81 административному центру субъектов Российской Федерации.

Результаты испытаний

Методика испытаний предусматривала сравнение методических прогнозов с прогнозами синоптиков, составляемых в оперативно-прогностических подразделениях и передаваемых в ГУ «Гидрометцентр России» в коде КП-68.

Для установления успешности прогнозов рассчитывались абсолютная ошибка и оправдываемость прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха согласно рекомендациям Наставления [2].

Результаты проведенных испытаний показали следующее (см. таблицу):

– в среднем за период испытания абсолютные ошибки методических прогнозов T_{\min} изменялись в пределах от 1,9 °С на первые сутки до 2,2 °С на третьи сутки; а T_{\max} от 1,8 °С на первые сутки до 2,3 °С на третьи сутки;

Таблица

Успешность прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха в среднем по 81 административному центру субъектов Российской Федерации за период июль 2007 г. – июнь 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Абсолютная ошибка, °С		Оправдываемость, %	
		Tmin	Tmax	Tmin	Tmax
1	Синоптики	1,9	2,0	86	84
	РЭП	1,9	1,8	87	89
	Инерция	2,9	2,8	70	71
2	Синоптики	2,3	2,2	78	79
	РЭП	1,9	2,0	86	84
	Инерция	3,9	3,9	58	56
3	Синоптики	2,5	2,5	74	74
	РЭП	2,2	2,3	82	80
	Инерция	4,3	4,4	53	50

– оправдываемость прогнозов по Наставлению составила при этом, соответственно, для Tmin и Tmax 87 и 89 % на первые сутки и 82 и 80 % на третьи сутки;

– по сравнению с синоптическими, методические прогнозы отличались по оправдываемости в среднем на 1–5 % при суточной заблаговременности, а при заблаговременности двое и трое суток были на 5–8 % выше.

Анализ успешности прогнозов на основе технологии РЭП, выполненный для четырех сезонов года, показал наиболее высокую успешность прогнозов Tmax летом (рис. 1), когда их оправдываемость составляла от 92 до 83 % при увеличении заблаговременности прогнозов от одних до трех суток.

Зимой методические прогнозы Tmax имели оправдываемость ниже, чем летом (при заблаговременности от одних до трех суток она составляла от 86 до 78 % соответственно).

Прогнозы Tmin в зимний период имели оправдываемость несколько ниже (76–68 %), по сравнению с прогнозами Tmin в другие сезоны года (84–90 %). Наиболее высокую оправдываемость имели прогнозы Tmin летом (95–92 %) (рис. 2).

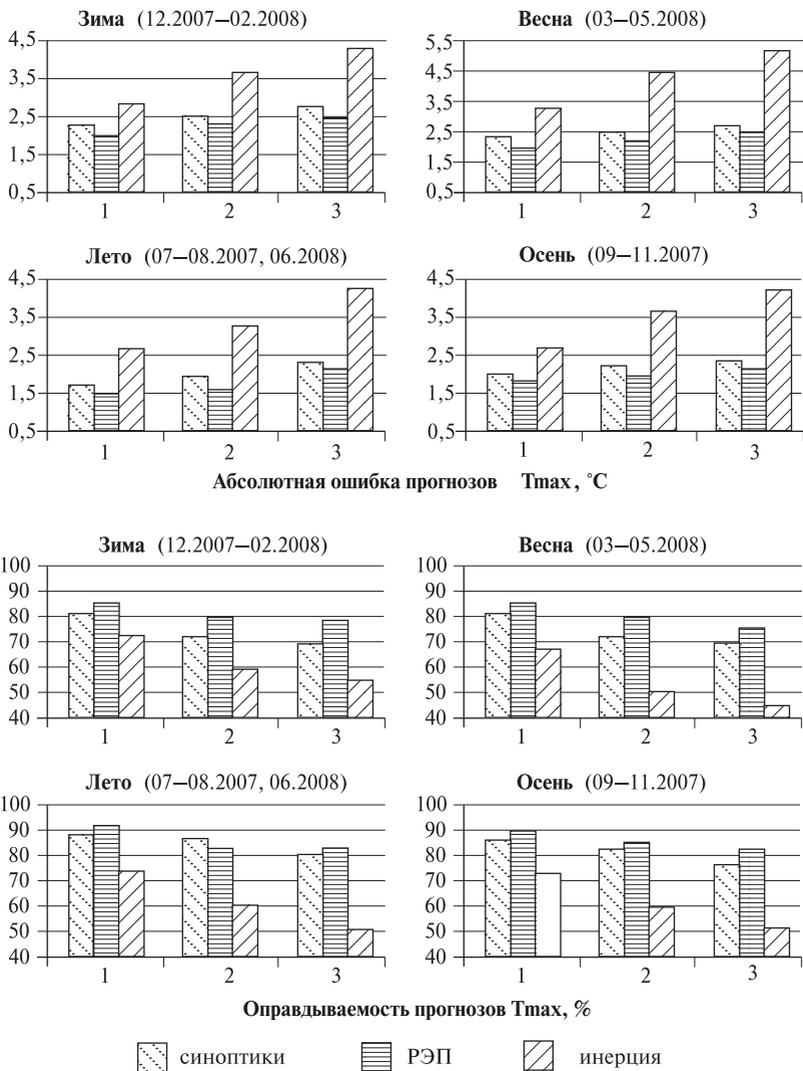


Рис. 1. Успешность прогнозов максимальной температуры воздуха по четырем сезонам года в среднем по 81 административному центру субъектов Российской Федерации за период июль 2007 г. – июнь 2008 г. при заблаговременности прогноза 1, 2, 3 суток

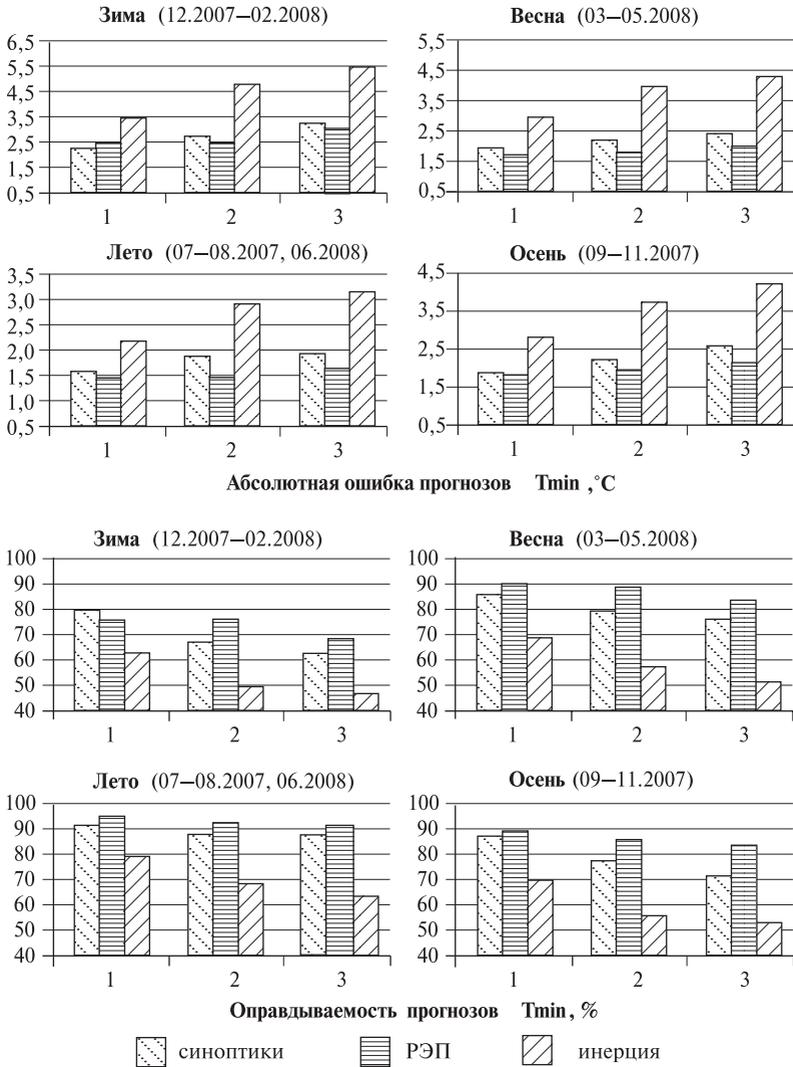


Рис. 2. Успешность прогнозов минимальной температуры воздуха по четырем сезонам года в среднем по 81 административному центру субъектов Российской Федерации за период июль 2007 г. – июнь 2008 г. при заблаговременности прогноза 1, 2, 3 суток

Анализ значений абсолютной ошибки прогнозов T_{\max} по месяцам показал, что в прогнозах на первые сутки она не превышала $2,0^{\circ}\text{C}$ во все месяцы периода испытаний, в прогнозах на вторые и третьи сутки абсолютные ошибки возрастали в январе, апреле и мае 2008 г. до $2,5\text{--}2,9^{\circ}\text{C}$.

Абсолютные ошибки прогнозов T_{\min} наибольшими были в декабре—феврале (от $2,4$ до $2,6^{\circ}\text{C}$ при заблаговременности одни сутки и $2,4\text{--}3,8^{\circ}\text{C}$ при заблаговременности трое суток). В остальные месяцы периода испытаний указанные ошибки находились в пределах $1,4\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$.

Рассматривая оправдываемость методических и синоптических прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха в течение периода испытаний по месяцам, следует отметить преимущество синоптических прогнозов T_{\min} перед методическими прогнозами T_{\min} в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль) в среднем на $4\text{--}7\%$. В остальные месяцы года методические прогнозы T_{\min} , а также прогнозы T_{\max} имели преимущества перед синоптическими прогнозами.

Рекомендации о внедрении

ЦМКП, заслушав и обсудив метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации на основе технологии РЭП (автор — П.П. Васильев) и результаты его испытаний, отметила, что:

— в ГУ «Гидрометцентр России» разработана и функционирует оперативная технология составления краткосрочного и среднесрочного прогноза температуры воздуха, позволяющая выпускать прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха заблаговременностью до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации;

— метод прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации базируется на статистической интерпретации результатов интегрирования гидродинамических моделей атмосферы;

— численная адаптивная статистическая модель строится заново для каждого прогноза в каждом пункте с использованием синхронных прогностических связей;

– для использования методических прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха при подготовке и выпуске прогнозов в административных центрах регионов Сибири и Дальнего Востока (различные часовые пояса) технологией предусмотрены в сутки три сеанса расчетов и передачи результатов по каналам связи;

– в связи с усовершенствованием и развитием технологии получения, декодирования и обработки метеорологических данных, поступающих по каналам связи, а также самой технологии РЭП, с июля 2008 г. основной сеанс выпуска и передачи прогнозов, рассчитанных на основе технологии РЭП, перенесен с 07 ч 10 мин на 04 ч 50 мин ВСВ;

– в среднем за период испытания успешность прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха на основе технологии РЭП по большинству административных центров Российской Федерации превышала успешность прогнозов на первые сутки, составленных оперативно синоптиками 81 ЦГМС, и успешность прогнозов минимальной и максимальной температуры на вторые и третьи сутки, составленных синоптиками 51 ЦГМС;

– в холодный период года прогнозы минимальной температуры воздуха на первые сутки у синоптиков имели несколько лучшие показатели успешности (абсолютная ошибка меньше на 0,3–0,4 °С, оправдываемость прогнозов по Наставлению выше на 4–7 %), а в теплый период года, наоборот, несколько лучшие показатели успешности у методических прогнозов; прогнозы минимальной температуры воздуха на вторые и третьи сутки на основе технологии РЭП имели меньшие погрешности;

– успешность прогнозов максимальной температуры воздуха в холодный и теплый период года при всех заблаговременностях прогнозов несколько превышала успешность синоптических прогнозов;

– с созданием технологии РЭП появилась информационно-методическая основа для составления краткосрочного прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха заблаговременностью до трех суток по всем административным центрам субъектов Российской Федерации во всех ЦГМС-Р и ЦГМС Росгидромета.

ЦМКП рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» внедрить метод краткосрочного прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха, реализованный в технологии РЭП, в оперативную

практику в качестве основного метода прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха заблаговременностью до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации.

ЦМКП рекомендовала прогностическим подразделениям ЦГМС-Р и ЦГМС использовать прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха в оперативной практике в качестве объективной методической основы при подготовке и выпуске краткосрочных прогнозов погоды заблаговременностью до трех суток.

Список литературы

1. *Васильев П.П., Васильева Е.Л.* Система статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей для среднесрочного прогноза погоды // 70 лет Гидрометцентру России. – СПб.: Гидрометеиздат, 1999. – С. 118–133.
2. РД 52.88.629-2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 42 с.

Д.А. Бураков, И.Н. Гордеев

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА ДЕКАДНОГО ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩА ЕНИСЕЙСКИХ ГЭС (САЯНО-ШУШЕНСКОЕ И КРАСНОЯРСКОЕ) В ПЕРИОД ОТКРЫТОГО РУСЛА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ИСПЫТАНИЯ

Гидролого-математическая модель — методическая основа прогнозов

В Сибири вследствие недостаточного информационного обеспечения гидрологических прогнозов в оперативной практике реализована концептуальная модель формирования стока, использующая всю доступную оперативную информацию — наземную (температура воздуха, осадки, расходы и уровни воды в замыкающем створе и в речной системе) и спутниковую (динамика снегового покрытия территории водосбора). В обобщенном виде структура модели показана на рисунке.



Блок-схема гидролого-математической модели формирования стока

В настоящее время гидролого-математическая модель используется на практике для прогноза ежедневных уровней воды рек Енисей, Абакан, Туба, Кача, Чулым и др., а также ежедневного притока воды в водохранилища Красноярской, Саяно-Шушенской и Новосибирской ГЭС.

Целью настоящей работы являлась адаптация модели, рассмотренной в [1–6], применительно к условиям бассейна Саяно-Шушенского и Красноярского водохранилищ и ее реализация на базе наземной информации пунктов наблюдений гидрометеорологической сети и спутниковой информации.

Использование спутниковой информации для оценки динамики снегового покрытия бассейна в гидролого-математической модели стока весеннего половодья

Бассейны Саяно-Шушенского и Красноярского водохранилищ весьма слабо освещены метеорологическими наблюдениями, особенно в основных питающих высотных зонах (выше отметки 1000 м над уровнем моря). Расчеты по модели дают возможность оценить динамику площадей снегового покрытия (в районах и высотных зонах) и сопоставить ее с космической информацией со спутника «Terra». В результате проводится оптимизация параметров блоков модели, в которых ведется расчет снегонакопления и снеготаяния [7–9]. Путем корректировки высотного распределения нормы снегонакопления получают наилучшее совпадение модельных и спутниковых данных (ИСЗ «Terra») о динамике площадей снегового покрытия.

Использование спутниковой информации для оперативной коррекции прогнозов выполняется в тех случаях, когда рассчитанные по наземной информации значения заснеженности более чем на 6–10 % отличаются от спутниковых данных. При таком несовпадении космических и «модельных» значений заснеженности запускается специальный режим коррекции, в котором прогнозист по запросу ПК вводит процент исправления запаса воды в снежном покрове в соответствующих районах (высотных зонах), добиваясь в интерактивном режиме совпадения рассчитанной и «космической» заснеженности. В ходе снеготаяния продолжается сопоставление сравниваемых характеристик и при необходимости проводится повторная коррекция запаса воды в снежном покрове.

В 2006 г. разработан и реализован пакет программ «Служба мониторинга заснеженности» – полностью автоматическая система непрерывной обработки данных дистанционного зондирования Земли для оценки заснеженности речных бассейнов и средней высоты границы снега. «Служба мониторинга заснеженности» является масштабируемым, многопоточным приложением, работает полностью автоматически, добавляет и обновляет данные в течение 30 минут после получения, представляет результаты в виде изображений, отчетов и графиков и обеспечивает доступ к ним через глобальную сеть.

Применение гидролого-математической модели для долгосрочного прогноза элементов водного режима

Специфика применения математических моделей для детерминистического долгосрочного прогноза объема, максимального расхода и гидрографа весеннего половодья связана с тем обстоятельством, что решение задачи с увеличением заблаговременности прогноза все в большей степени зависит от будущей погоды, которая достоверно не известна на момент выпуска прогноза.

Преимуществом применения метода моделирования является возможность усвоения среднесрочных и краткосрочных прогнозов погоды для непрерывного уточнения долгосрочного прогноза гидрографа весеннего половодья, выдача результата с суточным разрешением, а также возможность оперативной оценки влияния метеорологических особенностей весны на ожидаемый весенний сток.

Программное обеспечение, разработанное на основе гидролого-математической модели, позволяет путем численных экспериментов моделировать величины речного стока и ежедневного притока воды в водохранилища ГЭС. При моделировании используются имеющиеся к моменту выпуска прогноза максимальные запасы воды в снежном покрове, характеристики предшествующего увлажнения бассейна, а также фактические данные наблюдений за ежедневной температурой воздуха и суточными осадками.

Начиная с 2001 года накапливается опыт использования рассмотренной модели для выпуска прогноза притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС на декаду, месяц и квартал.

Испытание методики прогноза декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС

Испытания проводилось в оперативном режиме в течение второго и третьего кварталов 2007–2008 гг.

Прогноз рассчитывался по специально разработанной для пользователя программе, реализуемой на ПЭВМ. Начиная с первой декады марта ежедневно в память компьютера вводилась ежедневная гидрометеорологическая информация (по данным наблюдений) и прогностическая на период заблаговременности прогноза. Уровни воды и средний суточный приток воды учитывались на дату выпуска прогноза и предшествующие сутки. Результат прогноза – ежедневный приток воды в водохранилище.

На начало каждой декады выпускался прогноз притока воды, основывающийся на данных прогноза погоды Красноярского гидрометцентра на шесть суток. Синоптическая ситуация в конце декады дополнялась по наиболее вероятному развитию ситуации, на основе месячного прогноза погоды Иркутского ГМЦ. Прогноз погоды по южным районам края интерпретировался в числовом выражении в количестве осадков и температуру воздуха на станциях бассейна водохранилищ, включенных в методику прогноза.

Успешность прогнозов притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС на декаду за период открытого русла 2007–2008 гг. определялась по соотношению ошибки расчета и допустимой ошибки прогноза (табл.1, 2).

Всего для Красноярского водохранилища по гидролого-математической модели в 2007 г. было выпущено 14 прогнозов притока воды на декаду (три не оправдалось), в 2008 г. – 13 прогнозов (два не оправдалось).

Для Саяно-Шушенского водохранилища по гидролого-математической модели в 2007 г. было выпущено 14 прогнозов притока воды на декаду (два не оправдалось), в 2008 году – 13 прогнозов (четыре не оправдалось).

Низкой оправдываемостью характеризовались прогнозы декадного притока в водохранилище Красноярской ГЭС в сентябре, Саяно-Шушенской ГЭС – в августе и сентябре, в период наблюдавшейся в 2008 г.

Таблица 1

**Оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище
Красноярской ГЭС в 2007–2008 гг.**

Месяц	Декада	2007 г.			2008 г.			Доп. ошибка	
		Факт	Прогноз	Ошибка	Факт	Прогноз	Ошибка		
Май	1								
	2	4670	5979	1309	–	3960	3640	–320	+
	3	5700	4052	–1648	–	4270	4280	10	+
Июнь	1	6510	4239	–2271	–	3510	3140	–370	+
	2	3470	2518	–952	+	2390	2300	–90	+
	3	3050	3052	2	+	2040	2110	70	+
Июль	1	2190	2086	–104	+	1250	1240	–10	+
	2	1710	1480	–230	+	1630	1700	70	+
	3	1070	1024	–46	+	1170	1580	410	+
Август	1	1520	1441	–79	+	1060	1180	120	+
	2	1420	1356	–64	+	970	770	–200	+
	3	1550	1620	70	+	1660	1490	170	+
Сентябрь	1	1100	788	–312	+	1480	650	–830	–
	2	935	802	–133	+	2400	1810	–590	–
	3	934	670	–264	+				
Оправдываемость декадных прогнозов, %		79			85				

Таблица 2

**Оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище
Саяно-Шушенской ГЭС в 2007–2008 гг.**

Месяц	Декада	2007 г.			2008 г.			Доп. ошибка	
		Факт	Прогноз	Ошибка	Факт	Прогноз	Ошибка		
Май	1	2340	3716	1376	–				
	2	2640	3994	1354	–	2430	1810	–620	+ 671
	3	3440	3906	466	+	2820	3240	420	+ 1000
Июнь	1	4180	4141	–39	+	3300	2770	–530	+ 970
	2	3930	3379	–551	+	2470	2660	190	+ 1140
	3	3240	3397	157	+	2420	2400	–20	+ 745
Июль	1	2470	2849	379	+	1740	2020	280	+ 676
	2	2280	2391	111	+	2160	2020	–140	+ 737
	3	1820	1809	–11	+	2000	2080	80	+ 613
Август	1	2220	2304	84	+	1660	2200	540	– 467
	2	1670	1794	124	+	1370	1570	200	+ 452
	3	1420	1579	159	+	1670	2220	550	– 460
Сентябрь	1	1170	1024	–146	+	1850	1320	–530	– 354
	2	1040	944	–96	+	2790	2240	–550	– 314
	3								
Оправдываемость декадных прогнозов, %		86			69				

повышенной водности на южных притоках Енисея вследствие выпадения обильных дождей.

Во втором квартале прогнозы оправдывались лучше, чем в третьем. Прогнозы в третьем квартале все меньше зависят от запаса воды в снеге и температуры воздуха и все больше зависят от прогноза осадков.

Таким образом, оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС составила 85 % в 2008 г. и 79 % в 2007 году. Качество прогнозов притока воды в Саяно-Шушенское водохранилище несколько ниже: 69 % в 2008 г. и 86 % в 2007 году. Это связано с крайне редкой гидрометеорологической сетью в бассейне, отсутствием данных по р. Хемчик, отсутствием репрезентативных высокогорных станций выше створа р. Енисей у г. Кызыл.

Заслушав и обсудив полученные результаты испытания метода прогноза декадного притока воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС в период открытого русла 2007–2008 гг., Технический совет Среднесибирского УГМС в своем решении от 13 ноября 2008 г. отметил актуальность и своевременность проделанной работы и постановил:

1. Рекомендовать использовать метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС в качестве основного расчетного метода в отделе гидрологических прогнозов Гидрометцентра Красноярского ЦГМС-Р.

2. Метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС рекомендовать в качестве вспомогательного расчетного метода на период июнь–август.

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 добегаания // Водные ресурсы. – 1978. – № 4. – С. 21–24.

3. Бураков Д.А. Кривые добегаания 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. 63–71.

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». Т. 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. Сер. География. — 1981. — № 3. — С. 127–134.

9. Тема 1.8.78 Плана НИР Росгидромета за 2007 г. Отчет по НИР «Внедрить автоматизированные технологии прогноза притока воды в водохранилища Сибирских ГЭС на основе наземной и спутниковой информации среднего разрешения. Разработать методики прогноза максимальных уровней воды на затороопасных участках рек Сибири». — СибНИГМИ. Красноярское и Западно-Сибирское УГМС. Ответственный исполнитель темы — Д.А. Бураков.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА ПРИТОКА ВОДЫ В КОЛЫМСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ НА ТРЕТИЙ КВАРТАЛ, ИЮЛЬ И СЕНТЯБРЬ МЕСЯЦЫ

Методика прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы разработана в Гидрометеорологическом центре ГУ «Колымское УГМС» в 2007 году (автор – М.В. Ушаков) под руководством ГУ «ДВНИГМИ». Производственные испытания данной методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище проводились в 2008, 2009 гг. Ниже представлены результаты авторских и производственных испытаний методики.

1. Прогноз притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал

Для прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал использованы следующие предикторы: индекс арктической осцилляции за январь; индекс аномалии температуры поверхности океана в районе Nino 3.4 за июль; индекс аномалии температуры поверхности океана в районе Nino 1+2 за июль; индекс северо-атлантической осцилляции за июль (месячные индексы атмосферной циркуляции).

Длина обучающей выборки – 25 лет (1969–1993 гг.).

Допустимая ошибка прогноза – 190 м³/с.

В табл. 1 приведены результаты авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал.

На рис. 1 представлен график связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком

воды за третий квартал в период 1994–2009 гг., где сплошной линией обозначены равные значения, пунктирными линиями – интервал допустимой ошибки.

Таблица 1

Результаты авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал ($\sigma_{\text{дол}} = 190 \text{ м}^3/\text{с}$)

Год	Приток, м ³ /с		Ошибка прогноза		Оправдываемость
	прогноз	факт	абсолютная, м ³ /с	относительная, %	
Авторские испытания					
1994	906	955	–49	–5,1	оправдался
1995	941	950	–9	–1,0	оправдался
1996	1320	1390	–70	–5,0	оправдался
1997	998	966	32	3,3	оправдался
1998	977	776	201	25,9	не оправдался
1999	1140	954	186	19,5	оправдался
2000	1410	1390	20	1,4	оправдался
2001	1120	1130	–10	–0,9	оправдался
2002	659	984	–325	–33,0	не оправдался
2003	669	553	116	21,0	оправдался
2004	1130	1300	–170	–13,1	оправдался
2005	936	1100	–164	–14,9	оправдался
2006	905	1430	–525	–36,7	не оправдался
2007	850	1180	–330	–28,0	не оправдался
Производственные испытания					
2008	633	1040	–407	39,1	не оправдался
2009	999	1170	–171	14,6	оправдался

Оправдываемость проверочных прогнозов составила 68,9 %, средняя относительная ошибка – 16,4 %, отношение $S/\sigma = 0,80$. Согласно [1], при указанных показателях успешности прогнозов прогностическое уравнение пригодно для практического использования.

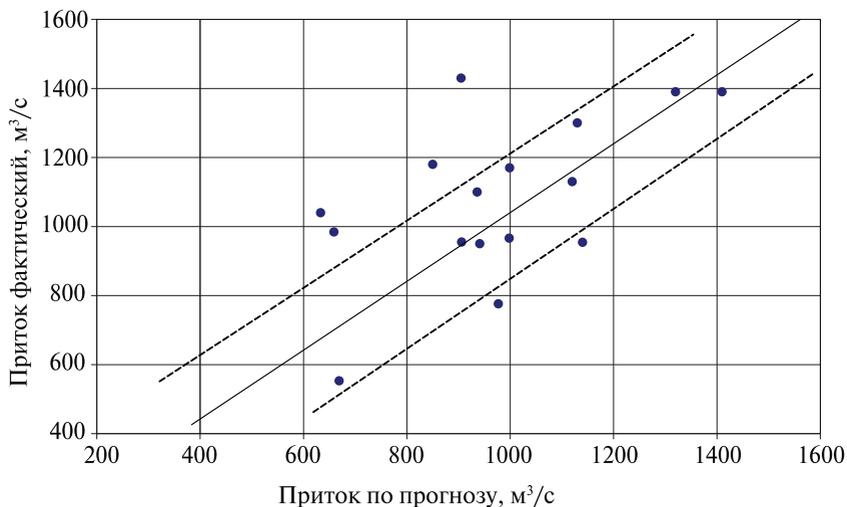


Рис. 1. График связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком за третий квартал в период 1994–2009 гг.

2. Прогноз притока воды в Колымское водохранилище на июль месяц

Для прогноза притока воды в Колымское водохранилище на июль месяц использовались следующие предикторы: индекс арктической осцилляции за январь; индексы северо-атлантической осцилляции за сентябрь и декабрь.

Длина обучающей выборки – 25 лет (1969–1993 гг.).

Допустимая ошибка прогноза – 290 м³/с.

Проверочные прогнозы проводились на независимом материале за 1994–2009 гг. (табл. 2).

На рис. 2 представлен график связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком воды за июль в период 1994–2009 гг., где сплошной линией обозначены равные значения, пунктирными линиями – интервал допустимой ошибки.

Оправдываемость проверочных прогнозов составила 68,8 %, средняя относительная ошибка – 22,8 %, отношение $S/\sigma = 0,79$. Согласно [1], прогностическое уравнение пригодно для составления прогнозов.

Таблица 2

Результаты авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на июль ($\sigma_{\text{дон}} = 290 \text{ м}^3/\text{с}$)

Год	Приток, м ³ /с		Ошибка прогноза		Оправдываемость
	прогноз	факт	абсолютная, м ³ /с	относительная, %	
Авторские испытания					
1994	875	625	250	40,0	оправдался
1995	1540	1670	−130	−7,8	оправдался
1996	1290	1170	120	10,3	оправдался
1997	897	1430	−533	−37,2	не оправдался
1998	1450	1170	280	23,9	оправдался
1999	948	1170	−222	−19,0	оправдался
2000	1040	1070	−30	−2,8	оправдался
2001	949	873	76	8,7	оправдался
2002	644	1150	−506	−44,0	не оправдался
2003	557	698	−141	−20,2	оправдался
2004	1380	1420	−40	−2,8	оправдался
2005	981	1340	−359	−26,8	не оправдался
2006	1620	1350	270	20,0	оправдался
2007	879	1670	−791	−47,4	не оправдался
Производственные испытания					
2008	494	829	−335	−40,4	не оправдался
2009	671	588	83	14,1	оправдался

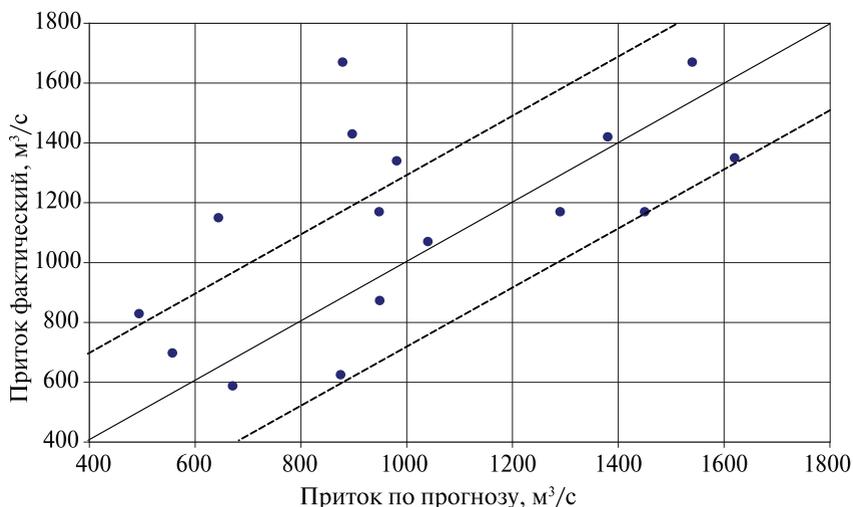


Рис. 2. График связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком воды за июль месяц в период 1994–2009 гг.

3. Прогноз притока воды в Колымское водохранилище на сентябрь месяц

Для прогноза притока воды в Колымское водохранилище на сентябрь были отобраны следующие предикторы: приток воды за август; индекс атмосферной циркуляции Е.Н. Блиновой за октябрь.

Длина обучающей выборки – 27 лет (1968–1994 гг.).

Допустимая ошибка прогноза – 230 м³/с.

Проверочные прогнозы проводились на независимом материале за 1995–2009 гг. (табл. 3).

На рис. 3 представлен график связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком воды за сентябрь в период 1995–2009 гг., где сплошной линией обозначены равные значения, пунктирными линиями – интервал допустимой ошибки.

Оправдываемость проверочных прогнозов составила 62,5 %, средняя относительная ошибка – 31,5 %, отношение $S/\sigma = 0,96$. Согласно

Таблица 3

Результаты авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на сентябрь ($\sigma_{\text{дон}} = 230 \text{ м}^3/\text{с}$)

Год	Приток, м ³ /с		Ошибка прогноза		Оправдываемость
	прогноз	факт	абсолютная, м ³ /с	относительная, %	
Авторские испытания					
1995	552	437	115	26,3	оправдался
1996	1210	1440	–230	–16,0	оправдался
1997	694	919	–225	–24,5	оправдался
1998	498	663	–165	–24,9	оправдался
1999	567	551	16	2,9	оправдался
2000	978	880	98	11,1	оправдался
2001	899	1270	–371	–29,2	не оправдался
2002	1020	661	359	54,3	не оправдался
2003	506	733	–227	–31,0	оправдался
2004	906	1100	–194	–17,6	оправдался
2005	942	471	471	100,0	не оправдался
2006	1050	879	171	19,5	оправдался
2007	519	852	–333	–39,1	не оправдался
Производственные испытания					
2008	775	1580	–805	–50,9	не оправдался
2009	1720	1370	350	25,5	не оправдался

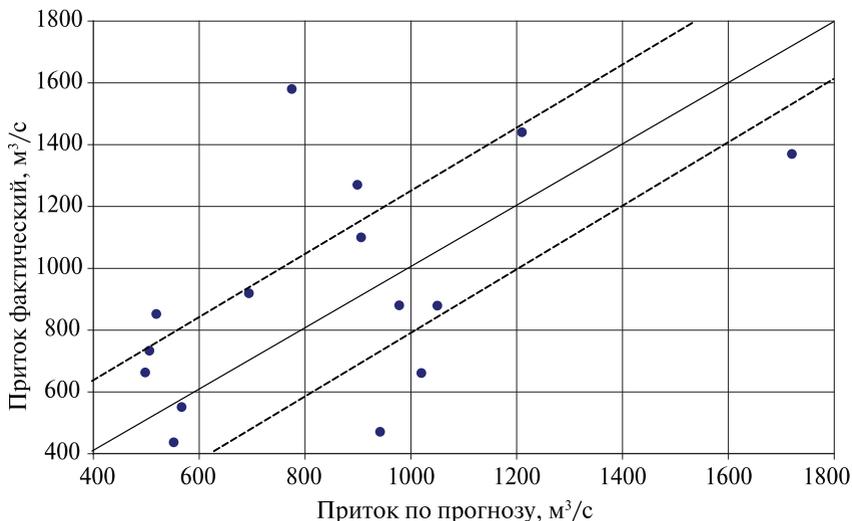


Рис. 3. График связи прогностических значений притока воды в Колымское водохранилище с фактическим притоком воды за сентябрь в период 1995–2009 гг.

[1], прогностическое уравнение для сентября месяца не пригодно для практического использования.

Выводы

Авторские и производственные испытания методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяца показали, что удовлетворительные результаты дают прогностические уравнения притока воды только на третий квартал и июль месяца.

Технический совет ГУ «Колымское УГМС» в своем решении от 29 октября 2009 г. рекомендовал внедрить в оперативную практику Гидрометцентра ГУ «Колымское УГМС» методику прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал и июль месяца.

Список литературы

1. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. I. Служба гидрологических прогнозов. Прогнозы режима вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 193 с.

Т.В. Старостина, И.Г. Ковригина

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО
ПРОГНОЗА ВАЛОВОГО СБОРА ЗЕРНОВЫХ
И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР
ПО ТЕРРИТОРИИ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО УГМС**

Метод долгосрочного прогноза (с заблаговременностью шесть месяцев) валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС (четыре субъекта Российской Федерации: Новосибирская, Кемеровская и Томская области и Алтайский край) разработан в лаборатории агрометеорологических исследований ГУ «СибНИГМИ» (авторы — В.В. Костюков, Т.В. Старостина) в рамках выполнения темы 1.1.5 Плана НИОКР Росгидромета 2007 года.

При разработке метода в качестве исходных данных использовалась информация за 50-летний период [2, 3]: месячные суммы осадков, запасы продуктивной влаги в почве при последнем осеннем определении, месячные индексы атмосферной циркуляции Вангенгейма—Гирса (количество дней с октября предыдущего года по февраль текущего года с западной, восточной и меридиональной формой циркуляции). Для каждой области (края) рассматриваемой территории были созданы и представлены на испытания по три модели с различным набором предикторов.

Авторские испытания метода прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур проводились на независимом материале 2003–2005 гг. Производственные испытания осуществлялись в отделе агрометеорологических прогнозов Гидрометцентра ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» за период 2006–2008 гг. с привлечением материалов наблюдений Алтайского, Кемеровского и Томского ЦГМС.

С целью получения более достоверных выводов, анализ оправдываемости прогнозов, составленных по новому методу, проводился за весь период авторских и производственных испытаний с 2003 по 2008 г. (табл. 1).

Оценка успешности методических прогнозов валового сбора и урожайности всех зерновых и зернобобовых культур проводилась согласно Методическим указаниям [1]. На основании [1] и согласно утвержденной программы испытаний методические прогнозы валового сбора и урожайности зерновых и зернобобовых культур сравнивались с инерционными и климатологическим прогнозами.

По результатам авторской проверки (2003–2005 гг.), методические прогнозы по всем моделям были успешные. Абсолютная ошибка прогнозов урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур не превысила допустимую погрешность ($\Delta\sigma$). При этом оправдываемость прогнозов, составленных по новым моделям, в среднем составила по территории Алтайского края и Томской области 89,6–95,2 %, по территории Новосибирской области – 88,0–90,2 % и по территории Кемеровской области – 85,9–88,2 %, что превысило оправдываемость климатологических и инерционных прогнозов на 2,6–11,6 % и 2,2–14,4 % соответственно.

За период производственных испытаний (2006–2008 гг.) все методические прогнозы, составленные по территории Новосибирской области, Томской области и Алтайского края, оправдались. Абсолютная ошибка прогнозов не превысила допустимую погрешность ($\Delta\sigma$).

В среднем за годы производственных испытаний средняя оправдываемость прогнозов по новому методу составила: по Томской области – 85,8–86,7 %, по Алтайскому краю – 82,0–90,8 %, по Новосибирской области – 85,3–91,2 %, что выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов на 1,0–16,6 %.

Оправдываемость методических прогнозов в период производственных испытаний была ниже на 0,6–9,4 %, чем в годы авторских испытаний, только по модели 7 для территории Новосибирской области – выше на 3,3 % и по модели 13 для Алтайского края – выше на 1,2 %, включающих в себя метеорологические и агрометеорологические предикторы.

По территории Кемеровской области из трех моделей (10, 11, 12), представленных на испытание для прогнозирования урожайности

Таблица 1

Оправдываемость прогнозов (%) урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС (по величине относительной ошибки)

Субъект Российской Федерации	№ модели	Авторские испытания за 2003–2005 гг.			Производственные испытания за 2006–2008 гг.			Средняя за 2003–2008 гг.		
		Методических	инерционных	Климатологических	Методических	инерционных	Климатологических	Методических	инерционных	Климатологических
Томская область	4	91,4			86,7			89,0		
	5	95,2	85,8	90,7	85,8	88,1	84,8	90,5	87,0	87,7
	6	93,3			85,8			89,5		
Новосибирская область	7	88,0			91,2			89,6		
	8	89,1	76,9	82,4	85,3	85,5	74,6	87,2	81,2	78,5
	9	90,2			85,6			87,9		
Кемеровская область	10	87,4			84,3			85,8		
	11	85,9	83,7	83,2	77,4	90,0	84,8	81,6	86,9	84,0
	12	88,2			77,8			83,0		
Алтайский край	13	89,6			90,8			90,2		
	14	93,5	79,9	82,7	82,0	77,1	87,1	87,7	78,5	84,9
	15	94,3			82,9			88,6		

зерновых и зернобобовых культур, преимущество у модели 10. В годы производственной проверки из трех составленных методических прогнозов не оправдался прогноз, составленный в 2008 году. Абсолютная ошибка прогноза превысила допустимую погрешность на 1,1 ц/га. Средняя оправдываемость методических прогнозов за годы производственных испытаний составила 84,3 %, что несколько ниже, чем при авторской проверке (87,4 %) при относительной ошибке 11,3 и 12,6 % соответственно.

Модели 11 и 12 (с W – западной формой циркуляции) в годы оперативной проверки сработали неудачно. Из трех составленных методических прогнозов не оправдались два (прогнозы, составленные в 2007 и 2008 гг.). Прогнозируемая урожайность оказалась значительно ниже фактической и абсолютная ошибка прогнозов превысила допустимую погрешность ($\Delta\sigma$). Средняя оправдываемость прогнозов, составленных по моделям 11 и 12, в период производственных испытаний составила 77,4–77,8 % (на 7,5–10,4 % ниже, чем в годы авторской проверки), что ниже оправдываемости прогнозов, составленных по модели 10 (с метеорологическими и агрометеорологическими предикторами). По сравнению с инерционными и климатологическими прогнозами, оправдываемость методических прогнозов по Кемеровской области оказалась ниже на 0,5–12,6 % (по всем моделям).

В целом за период, включающий производственные и авторские испытания, оправдываемость методических прогнозов составила: по Новосибирской, Томской областям и Алтайскому краю – 87,2–90,5 %, что на 1,3–11,1 % и на 1,1–11,7 % выше оправдываемости климатологических и инерционных прогнозов соответственно. Оправдываемость прогнозов по новому методу за весь период испытаний для территории Кемеровской области в среднем составила 81,6–85,8 %, что близко к величине оправдываемости климатологических прогнозов (84,0 %), но ниже средней оправдываемости инерционных прогнозов (86,9 %). Средняя оправдываемость методических прогнозов, составленных по новому методу, по всей территории превышает принятый порог успешности.

Оценка оправдываемости составленных прогнозов за весь период проверки по величине допустимой погрешности, согласно [1], позволила выявить в основном преимущество нового метода, а также преимущество одной из моделей для каждой территории (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытания метода долгосрочного прогноза (заблаговременность 6 мес.) урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур в Западно-Сибирском УГМС (по Δσ)

Субъект Российской Федерации	№ модели	Кол-во прогнозов		Оправдываемость прогнозов, %			Относительная ошибка прогнозов, %		
		составленных	оправданных	методических	инерционных	климатологических	методических	инерционных	климатологических
Томская область	4	6	6	100,0	100,0	100,0	11,0	13,0	12,3
	5	6	6	100,0	100,0	100,0	9,5	13,0	12,3
	6	6	6	100,0	100,0	100,0	10,5	13,0	12,3
Новосибирская область	7	6	6	100,0	66,7	66,7	10,4	18,8	17,4
	8	6	6	100,0	66,7	66,7	12,8	18,8	17,4
	9	6	6	100,0	66,7	66,7	12,1	18,8	17,4
Кемеровская область	10	6	5	83,3	66,7	50,0	12,1	13,1	16,0
	11	6	4	66,7	66,7	50,0	12,1	13,1	16,0
	12	6	4	66,7	66,7	50,0	9,9	13,1	16,0
Алтайский край	13	6	6	100,0	83,3	66,7	9,8	19,9	15,1
	14	6	6	100,0	83,3	66,7	12,3	19,9	15,1
	15	6	6	100,0	83,3	66,7	11,4	19,9	15,1

По территории Томской области за период испытаний из шести составленных прогнозов все оправдались (оправдываемость 100 %). Несмотря на то, что оправдываемость инерционных и климатологических прогнозов также составила 100 %, относительная ошибка методических прогнозов ниже на 1,3–2,0 %. Наименьшая ошибка – 9,5 % – указывает на преимущество модели 5 (с W – западной формой циркуляции и количеством осадков за январь–февраль), однако предикторы, входящие в модель 4, более доступны. К тому же оправдываемость прогнозов по модели 4 составляет 100 %, а ошибка превышает ошибку по модели 5 всего лишь на 0,5–1,5 %. Поэтому целесообразнее использование модели 4 (с метеорологическими и агрометеорологическими предикторами).

По территории Новосибирской области из шести составленных прогнозов оправдались все: оправдываемость метода 100 %, что на 33,3 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов. По величине относительной ошибки (10,4 %) преимущество у модели 7, в которую не входят индексы атмосферной циркуляции (у прогнозов по моделям 8 и 9 ошибка больше на 2,4 и 1,7 % соответственно).

По Кемеровской области из шести составленных по модели 10 прогнозов (с агрометеорологическими и метеорологическими факторами) оправдались пять: оправдываемость метода 83,3 %, что выше оправдываемости инерционных прогнозов на 16,6 % и климатологических на 33,3 %. Оправдываемость методических прогнозов по моделям 11 и 12 (с учетом метеорологических факторов и индексов атмосферной циркуляции) составила 66,7 % (оправдалось четыре прогноза из шести), что соответствует оправдываемости инерционных прогнозов и превышает оправдываемость климатологических прогнозов на 16,6 % (явно просматривается преимущество модели 10).

По территории Алтайского края оправдываемость нового метода составила 100 % (оправдались все прогнозы), что на 16,6 и 33,3 % выше оправдываемости инерционных и климатологических прогнозов соответственно. По наименьшей ошибке метода выявлено преимущество модели 13, включающей метеорологические и агрометеорологические предикторы.

Таким образом, новый метод позволяет с заблаговременностью в полгода с достаточной точностью рассчитать урожайность и валовой

сбор зерновых и зернобобовых культур в амбарном весе, что актуально для оперативного агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Кроме этого, метод удобен в работе, затраты времени на составление прогноза минимальны.

Принимая во внимание полученные результаты испытаний, Технический совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» на своем заседании 14 апреля 2009 г. метод долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур рекомендовал к внедрению в оперативную практику Гидрометцентра «ГУ Новосибирский ЦГМС-РСМЦ», Томского, Кемеровского и Алтайского ЦГМС в качестве основного расчетного метода: по территории Томской области – модель 4, по территории Новосибирской области – модель 7, по территории Кемеровской области – модель 10 и по территории Алтайского края – модель 13.

Список литературы

1. РД 52.27.284–91. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 150 с.
2. *Пановский Г.А., Брайер Г.В.* Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 242 с.
3. *Уланова Е.С.* Методы агрометеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 280 с.

И.О. Лучицкая, Н.И. Белая, Е.А. Александрова

ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ВЫСОТЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПО ПОСТОЯННОЙ РЕЙКЕ

Общие сведения

Развитие методов и технологий обобщения, анализа и использования климатических данных, ориентированных на обслуживание отраслей экономики и социальной сферы, относится к числу ключевых проблем гидрометеорологии. Одной из задач является контроль качества исходной информации. Не проведенная должным образом ее верификация может отразиться на достоверности нормативных документов (СНИПы, справочники, рекомендации), объективности оценок при анализе данных и, наконец, на интерпретации результатов научных исследований.

Разработке критериев автоматизированного (полуавтоматизированного) контроля метеорологических величин, характеризующихся различной устойчивостью в пространстве и времени, оценке эффективности методов и дальнейшей их оптимизации посвящены многочисленные исследования [1–3, 5, 6, 8, 9, 11, 12]. Однако, несмотря на имеющиеся возможности современных технологий анализа и контроля климатических данных при обеспечении качественных банков, они содержат достаточно много ошибок, что показал опыт участия ГУ «СибНИГМИ» в подготовке электронной версии Научно-прикладного справочника по климату России. Так, в результате выполненной нами верификации многолетних рядов скорости ветра, влажности воздуха, снежного покрова, температуры почвогрунтов на разных глубинах на базе 9–15 станций в пределах Сибирского

федерального округа выявлено порядка 700 ошибок. Наиболее «засоренными» оказались базы данных двух последних вышеназванных элементов климата. Между тем потребитель должен иметь гарантию достоверности информации.

Результаты систематизации и критического анализа наиболее известных методов контроля гидрометеорологических данных свидетельствуют, что каждый обладает своими недостатками, поэтому применение какого-либо одного метода не обеспечивает надежности результатов проверки [5]. На наш взгляд, одним из путей оптимального разрешения противоречий, возникающих при выборе способа контроля, может стать комплексация методов.

В ГУ «СибНИГМИ» создана технология контроля исторических архивов снегомерных наблюдений по постоянной рейке, которые содержатся в электронных банках данных Новосибирского ЦГМС-РСМЦ. В процессе разработки были использованы данные девяти станций на территории Сибирского федерального округа за период 1936–2000 гг. Дана оценка эффективности различных методов контроля, а также их комплексации применительно к исследуемым рядам с целью выбора наиболее оптимального способа, позволяющего выявить ошибки при минимальном количестве проверяемых данных.

Контроль метеорологических рядов использует в первую очередь определенные, точно известные свойства рассматриваемого элемента, причем эти свойства могут иметь как физическую, так и статистическую природу. Характерной чертой изменчивости высоты снежного покрова является рост в течение зимы с максимумом, который достигается к началу весеннего снеготаяния.

Временная и пространственная изменчивость высоты снежного покрова, как и любой характеристики климата, обусловлена физико-географическими особенностями территории, существенно зависит от режима осадков, ветра, повторяемости метелей и, в значительной степени, от условий защищенности местности.

Указанными факторами определяются статистические свойства временных рядов высоты снежного покрова. В работе [4] показано, что распределение ее несущественно отклоняется от нормального. Кроме того, ежедневные значения высоты снежного покрова не являются независимыми, и даже для интервала времени между наблюдениями,

равного пяти суткам, значение структурной функции достаточно мало. И наконец, тенденция постоянного накопления снега есть отражение нестационарности процесса.

Апробированные методы контроля баз данных

1. В качестве первого подхода использовался метод, основанный на учете временной изменчивости метеорологической величины, который применим к любым типам распределения [5]. Суть его состоит в фильтрации отклонений за единицу времени относительно реально возможного порогового уровня [5, 11]. Если при сравнении двух смежных значений ряда такое отклонение оказывается превышенным, то оба признаются сомнительными, требующими проверки.

Следует иметь в виду, что этот прием имеет ограничения при наличии трех и более последовательных, близких по значению ошибок (различие не превышает установленного критического уровня), поскольку обнаруживаются только крайние из них. В данном случае необходимо проверить достоверность всех значений такого периода.

2. Метод «К-сигм». Этот способ оценки достоверности опирается на статистический метод исключения резко выделяющихся наблюдений. Он предназначен для выявления грубых ошибок в больших объемах информации, которую практически невозможно проконтролировать путем непосредственного анализа всех наблюдений [2, 5].

Критерий, по которому значения относят к сомнительным, определяют по формуле:

$$K = (X_i - X_s) / \sigma, \quad (1)$$

где X_i и X_s – соответственно i -е и среднее значения ряда; σ – средне-квадратическое отклонение.

При контроле информации предполагается использование критического уровня K . Для нормально распределенного ряда случайных величин вероятность попадания всех его значений в интервал $\Delta X = X_s \pm 3\sigma$ равна 0,997 [5]. Для негауссовских распределений значение K подбирают эмпирически.

3. Применяя квантильный анализ, в отличие от метода «К-сигм», можно контролировать заданное число экстремальных значений. Выбирают критический уровень обеспеченности P , отсекающий ту часть

распределения с аномальными значениями X_i , в которой наиболее вероятны ошибки. Значение P зависит от числа наблюдений N и любого предполагаемого числа ошибок n .

Например, для объема выборки $N = 1200$ (40 лет, 1 месяц) и $n = 4$ необходимо задать $P < 0,0025$ и $P > 0,9975$ соответственно для левой и правой ветвей кривой интегрального распределения. Таким образом, при обработке информации за год, согласно указанным условиям, потребуется проверить около 100 случаев.

Чтобы по возможности сократить этот объем данных, рассчитывают нормированный показатель R , характеризующий отклонение каждого сомнительного значения от критического $X_{кр}$ при выбранном уровне P :

$$R_i = (X_i - X_{кр}) / \sigma, \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Чем больше R_i , тем вероятнее, что значение является ложным. На основе анализа ошибок и соответствующих им значений параметра R устанавливают оптимальный его уровень. Данные, которые превышают этот уровень, требуют проверки, а данные ниже этого уровня признаются истинными.

Модифицированный, более доступный вариант изложенного выше подхода, состоит в анализе достоверности любого числа n крайних значений ранжированного ряда X_i независимо от N и P . Только в качестве $X_{кр}$ здесь принимается значение $(n+1)$ -го члена ряда. Показатель R_m рассчитывается по формуле:

$$R_m = (X_i - X_{n+1}) / \sigma, \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

Оценку качества информации и выбор граничного значения критерия R_m осуществляют аналогично R .

Оценка эффективности апробированных методов контроля баз данных

1. *Фильтрация данных о высоте снежного покрова на основе допустимого изменения от суток к суткам ΔH* (в дальнейшем – метод «ступенек»).

Выбраны пороговые уровни ΔH , равные и больше 20, 30 и 40 см, исходя из максимального за зиму прироста высоты снежного покрова в

различных условиях режима формирования и залегания его на территории Сибири [7]. Эти же критерии приняты и для оценки межсуточного уменьшения снежного покрова вследствие таяния или влияния динамических факторов, обуславливающих, к примеру, выдувание снега.

В табл. 1 представлено количество сомнительных значений и содержащихся в них ошибок при различных ΔH .

Таблица 1

Количество сомнительных (С), в том числе ошибочных (О) значений высоты снежного покрова

Станция	$\Delta H \geq 20$ см		$\Delta H \geq 30$ см		$\Delta H \geq 40$ см	
	С	О	С	О	С	О
Александровское	21	13	10	9	9	8
Кондома	120	15	32	12	17	11
Рубцовск	13	5	8	4	4	2
Ярцево	20	17	17	17	16	13
Ирбейское	14	12	9	9	5	5
Кызыл	0	0	0	0	0	0
Бодайбо	9	5	4	4	3	3
Тайшет	33	22	24	20	22	18
Могоча	8	6	5	5	4	4
ВСЕГО	238	95	109	80	80	64

В процессе апробации метода «ступенек» обнаружены не только случайные, но и разного рода серийные ошибки в данных о высоте снежного покрова:

- в високосные годы до 1984 г. включительно 29 февраля вместо фактических значений, подтвержденных первоисточниками, стоит признак отсутствия данных (–99999), в 1988, 1992 и 1996 гг. – нули;
- дублирующие блоки;
- забракованные данные, представленные как фактические;
- ошибки, связанные с занесением данных высоты снежного покрова в летние месяцы.

Очистить информацию от такого рода недостоверных данных можно путем тестирования по следующим параметрам: на корректность заполнения макета, дублирование, сезонную реальность явления.

Данные табл. 1 показывают, что критерий $\Delta H \geq 20$ см наиболее результативен, т.к. фиксирует в целом максимальное количество ошибок (всего 95). Вместе с тем количество «напрасных отбраковок» в среднем составляет 60 % (из каждых 10 сомнительных случаев подтверждаются как ложные только 4).

Критерий $\Delta H \geq 30$ см по соотношению сомнительных и ошибочных данных является более рациональным, поскольку более 70 % сомнительных признаны ошибочными. Однако при этом теряются ошибки, попавшие в разряд «високосных февралей».

Уровень $\Delta H \geq 40$ см обеспечивает наиболее оптимальное соотношение сомнительных и ошибочных данных (80 %), но неприемлем, поскольку в информации остаются ошибки, представляющие собой ложные экстремумы.

В качестве оптимальной принята «ступенька» $\Delta H \geq 30$ см.

2. *Статистический метод «К-сигм»*. Ввиду незначительного отклонения распределения высоты снежного покрова на территории Сибири от нормального [4] контроль правомерно осуществлять с использованием критерия $K \geq 4,1$ (1). В табл. 2 приведено обобщенное по 9 станциям распределение числа случаев сомнительных и недостоверных значений при различных K (данные об ошибках при $\Delta H \geq 30$ см используются далее для анализа комплексного метода). По результатам верификации зафиксировано 66 ошибок, при этом число подлежащих проверке данных больше (637), по сравнению с методом «ступенек». Очевидно, что по эффективности данный метод уступает предыдущему.

3. *Модифицированный вариант квантильного анализа*, реализуемый с условием контроля пяти крайних значений с обеих сторон ранжированного ряда по отношению к шестому (3). Данный метод контроля позволил выявить 310 сомнительных данных, в том числе 74 ошибки (табл. 3). Ограничить объем проверяемых данных, установив оптимальную границу R_m , не представляется возможным, т.к. ложные значения распределены во всем диапазоне изменения данных.

Таблица 2

Распределение числа случаев сомнительных (С) данных,
в том числе ошибок (О) высоты снежного покрова при различных К

Число случаев		Критерий К							
		4,1–5,0	5,1–6,0	6,1–7,0	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,0	> 10,0	
С	637	319	107	42	40	20	12	97	
О	66/57*	5/5*	2/2*	1/1*	–	–	–	58/49*	

Примечание. * – количество ошибок, выявленных по «ступеньке» $\Delta H \geq 30$ см.

Таблица 3

Распределение числа случаев сомнительных (С) данных,
в том числе ошибок (О) высоты снежного покрова при различных Rm

Число случаев		Критерий Rm										
		0,0–1,0	1,1–2,0	2,1–3,0	3,1–4,0	4,1–5,0	5,1–6,0	6,1–7,0	7,1–8,0	8,1–9,0	9,1–10,0	>10,0
С	310	159	27	18	8	8	7	6	3	4	4	66
О	74/67*	8/8*	3/3*	4/4*	2/2*	2/2*	2/2*	–	–	2/2*	2/1*	49/43*

Примечание. * – количество ошибок, выявленных по «ступеньке» $\Delta H \geq 30$ см.

Комплексация методов

В результате проведенного контроля данных тремя методами в общей сложности обнаружено 97 недостоверных значений (включая искаженные значения в феврале високосных лет). Анализ показал, что ни один из рассмотренных методов не чувствителен ко всем типам ошибок, что указывает на необходимость их комплексации.

За основу комплексации взят метод «ступенек» с оптимальным значением $\Delta H \geq 30$ см, фиксирующий подавляющее число ложных значений в наименьшем объеме проверяемых данных. Далее задача состояла в том, чтобы найти рациональный подход к выявлению оставшихся ошибок при помощи других критериев (K или R_m).

1. Исследован вариант комплексации методов по критериям ΔH и K . Анализ ошибок показывает, что метод «ступенек» выявляет их вплоть до порогового $K = 9,0$, а в остальном диапазоне значений K частично не «срабатывает». Отсюда следует, что проверку качества рядов необходимо строить в два этапа:

- а) фильтрация данных по $\Delta H \geq 30$ см;
- б) получение оставшейся информации по критерию $K > 9,0$.

Комплексный способ верификации ($\Delta H \geq 30 + K > 9$) позволил выявить 89 ошибок, при этом (табл. 1 и 2) необходимо проверить 168 сомнительных значений. При подобном контроле эффективность (O/C) в среднем составляет 53 % (каждое второе сомнительное значение – ошибка).

2. Аналогичный подход использован для комплексации методов по критериям ΔH и R_m (табл. 1 и 3). Ошибки, обнаруженные обоими методами, совпадают только до $R_m = 9,0$. Поэтому верификация данных проводится в два этапа по предыдущей схеме, т.е. вначале по $\Delta H \geq 30$ см, затем только для $R_m > 9$. Результат этой комплексации – меньшее число проверяемых данных (135) при том же числе обнаруженных ошибок. Эффективность метода составляет 66 %.

Сопоставляя все варианты контроля (рис. 1), можно сделать вывод, что наиболее оптимален метод, использующий сочетание метода «ступенек» с модифицированным вариантом квантильного анализа ($\Delta H \geq 30 + R_m > 9$).

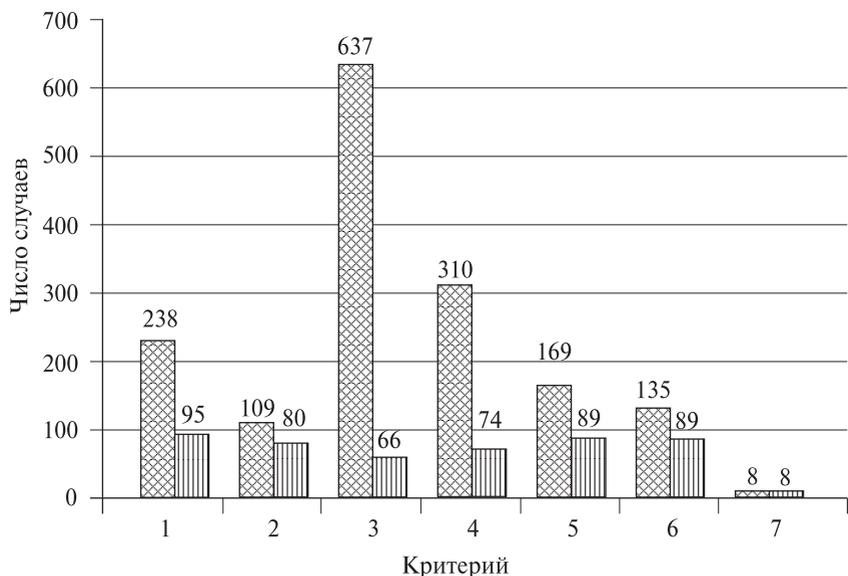


Рис. 1. Количество сомнительных данных (левый столбик) и ошибок (правый столбик) высоты снежного покрова, выявленных по различным критериям:

1. $\Delta H \geq 20$ см; 2. $\Delta H \geq 30$ см; 3. $K > 4$; 4. R_m ; 5. $\Delta H \geq 30 + K > 9$;
6. $\Delta H \geq 30 + R_m > 9$; 7. $\Delta H < 20$ см (тестирование данных 29.02 високосных лет).

Результаты авторских испытаний технологии контроля

Авторские испытания технологии контроля достоверности данных о высоте снежного покрова по постоянной рейке проведены на базе электронного банка данных 64 станций Западно-Сибирского УГМС, находящихся на территории пяти субъектов Российской Федерации. Эффективность комплексного метода контроля представлена в табл. 4.

Эффективность комплексного метода контроля высоты снежного покрова достаточно высокая, в среднем по территории юго-востока Западной Сибири составляет 87 %.

Характер ошибок аналогичен выявленным при разработке способа контроля, в основном они допущены при формировании банков данных и перезаписи на технические носители. Дополнительно нами

**Авторские испытания технологии контроля достоверности данных
о высоте снежного покрова**

Субъект Российской Федерации	Число станций	С	О	Эффективность О/С, %
Томская область	14	163	163	100
Новосибирская область	14	145	131	90
Кемеровская область	8	77	52	68
Алтайский край	15	108	74	69
Республика Алтай	13	54	54	100
ВСЕГО	64	547	474	87

отмечена еще одна особенность состояния базы данных, а именно сбой в информации вследствие наличия в формате высоты некоего лишнего символа, в результате чего данные до конца месяца воспринимаются как нули (отмечено 88 ошибок такого свойства). При удалении символа ряд восстанавливается. Необходимая мера – тестирование формата высоты снежного покрова перед процедурой контроля достоверности данных. Следует также заметить, что, несмотря на тщательный критический контроль на всех этапах анализа данных наблюдений, в таблицах ТМ-1 содержатся отдельные, явно недостоверные величины, которые, естественно, присутствуют и в электронных банках исторических данных.

Производственное испытание технологии контроля

Испытание технологии контроля достоверности данных высоты снежного покрова по постоянной рейке для территории деятельности Западно-Сибирского УГМС (авторы – И.О. Лучицкая, Н.И. Белая) проведено согласно «Плану испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов Росгидромета на 2008 год». В отделе климата Гидрометцентра ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» выполнена оценка качества работы технологии, эффективности контроля и возможности использования ее Западно-Сибирским УГМС.

Как установлено, для территории юго-востока Западной Сибири (Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край

и Республика Алтай) оптимальным является комплексация метода «ступенек» с пороговым уровнем $\Delta H \geq 30$ см и модифицированного варианта квантильного анализа с параметром $R_m > 9,0$. Комплексный критерий выделяет в виде календаря дат некий оптимальный объем данных, так называемых сомнительных величин, среди которых могут быть как ошибочные, так и верные значения. Оценка достоверности осуществляется путем сверки всех сомнительных значений с данными, содержащимися в первоисточнике (работа с архивом ТМ-1).

Для проведения испытаний использован электронный банк данных наблюдений за высотой снежного покрова 25 станций, имеющих период наблюдений 1936–2007 гг. Оценка достоверности производилась реализацией следующих этапов.

На первом этапе испытаний был произведен автоматизированный контроль исходных данных высоты снежного покрова по каждой станции с помощью фильтрации по критериям $\Delta H \geq 30$ см и $R_m > 9,0$. Программа технологии контроля обладает интуитивно понятным интерфейсом, критерии параметров регулируются пользователем. Общее количество сомнительных данных составило 1673 значения. Среди всех станций большим количеством сомнительных значений резко выделяется Старица (80 % от их числа).

На втором этапе испытания календарь дат подвергся анализу и контролю особых случаев, следуя инструкции авторов:

– если единичное значение высоты снежного покрова образует две разнонаправленные «ступеньки» с предыдущим и последующим значениями, то оно является сомнительным и подлежит проверке;

– если значение высоты снежного покрова образует «ступеньку» с предыдущим, а обратная «ступенька» наблюдается через несколько дней, то это означает, что сомнительными следует принять все значения внутри такого периода.

В результате выполненного анализа число сомнительных данных увеличилось и составило 2511 значений.

Третий этап заключался в верификации всех сомнительных значений, в результате выявлено 2329 ошибок.

По итогам испытания эффективность технологии составляет 93 % (табл. 5). В большинстве случаев количество недостоверных значений в объеме сомнительных превышает 50 % (рис. 2).

**Производственное испытание технологии контроля достоверности данных
о высоте снежного покрова**

Субъект Российской Федерации	Число станций	С	О	Эффективность О/С, %
Томская область	5	1370/2179	2152	99
Новосибирская область	6	41	19	46
Кемеровская область	5	129/152	69	45
Алтайский край	5	91/97	76	78
Республика Алтай	4	42	13	31
ВСЕГО	25	1673/2511	2329	93

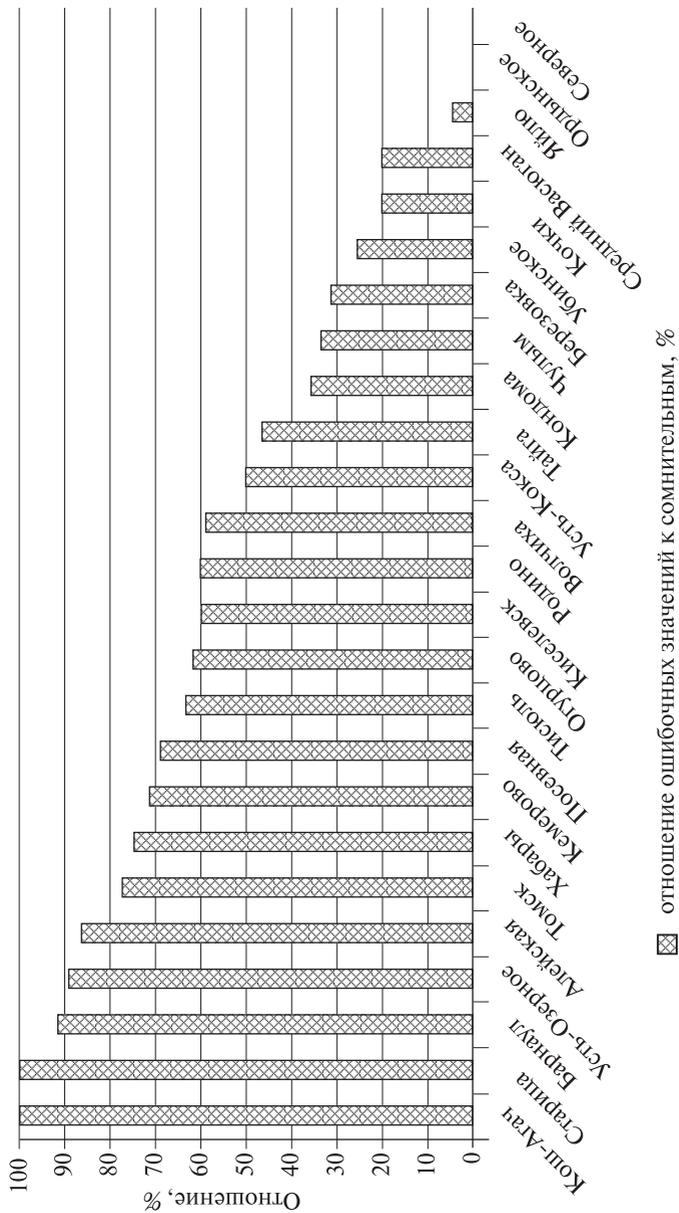
Примечание. Число сомнительных значений приведено, соответственно, для первого и второго этапов контроля через наклонную черту.

В структуре распределения ошибок по станциям (рис. 3) видно, что в основном их число колеблется от нескольких до 10, в отдельных случаях достигает 30–45 (Кондома, Алейская), по двум станциям (Северное и Ордынское) ошибки отсутствуют. По станции Старица банк данных практически «запорчен».

Во временном разрезе основная доля ошибок отмечается в исторических данных до 1985 года. В последующий период – в эпоху внедрения новой вычислительной техники – качество перезаписи информации значительно улучшилось.

Выводы о целесообразности внедрения технологии

Результаты испытания технологии контроля достоверности данных высоты снежного покрова по постоянной рейке были рассмотрены на заседании Технического совета Западно-Сибирского УГМС от 14 апреля 2009 года. Отметив достаточно высокий уровень эффективности, Технический совет принял решение внедрить технологию в производственную практику отдела климата Гидрометцентра Новосибирского ЦГМС-РСМЦ при формировании климатологических рядов по территории Западно-Сибирского УГМС для подготовки справочно-нормативных пособий и обслуживания потребителей климатической информации.



отношение ошибочных значений к сомнительным, %

Рис. 2. Эффективность технологии комплексного метода контроля достоверности данных о высоте снежного покрова на различных станциях юго-востока Западной Сибири

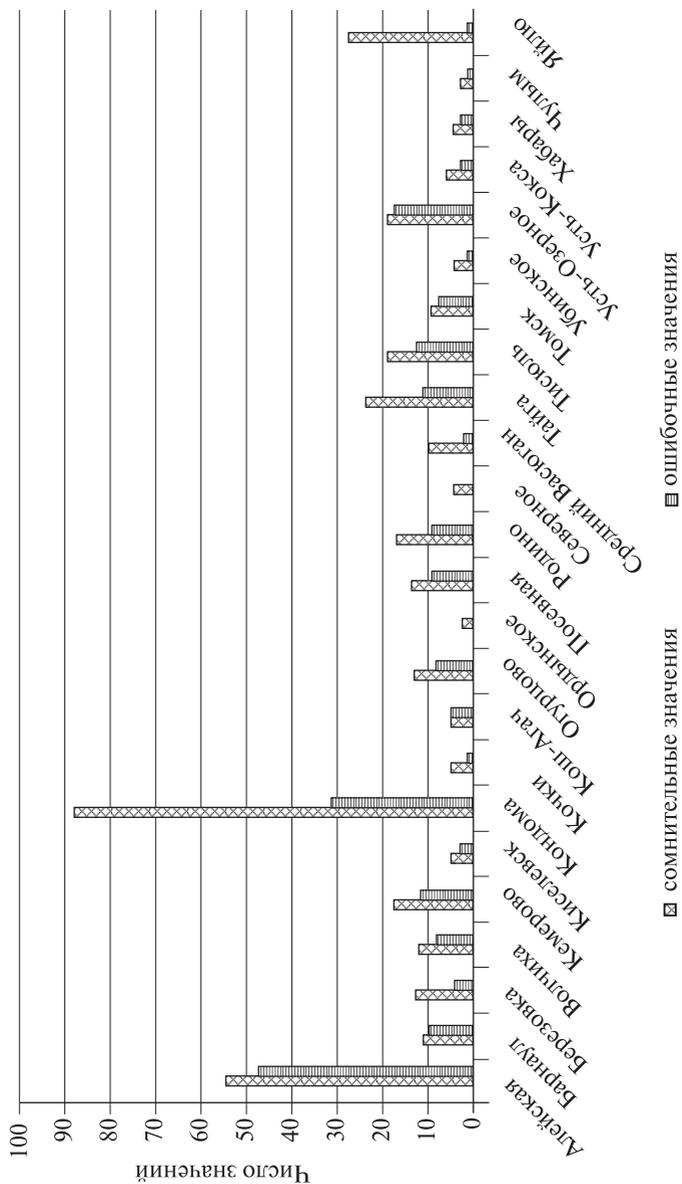


Рис. 3. Количество сомнительных и ошибочных значений высоты снежного покрова на различных станциях юго-востока Западной Сибири

Технология контроля, разработанная на материале станций территории Сибирского федерального округа и свидетельствующая о проблеме качества региональных банков данных по снежному покрову, может быть испытана и внедрена в соответствующих УГМС (Средне-сибирское, Иркутское, Забайкальское).

Список литературы

1. *Белая Н.И., Босина М.И.* Результаты контроля суточных сумм атмосферных осадков // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1989. – Вып. 86. – С. 36–44.
2. *Босина М.И., Кошинский С.Д., Лучицкая И.О.* Организация контроля достоверности статистических характеристик температуры воздуха и атмосферных осадков суточного разрешения для Научно-прикладного справочника по климату СССР // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1987. – Вып. 80. – С. 48–61.
3. *Гордин В.А.* Обработка метеорологической информации как предмет прикладной математики // 70 лет ГМЦ РФ. – СПб.: Гидрометеоздат, 1999. – С. 70–79.
4. *Копанев И.Д.* Климатические аспекты изучения снежного покрова. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 231 с.
5. *Кудряшов А.Н.* О методах контроля качества гидрометеорологических наблюдений. – ДВНИГМИ. Деп. рук. № 894 ВНИИГМИ-МЦД. – 1989. – 23 с.
6. *Лучицкая И.О.* Об уточнении критерия контроля средней суточной температуры воздуха // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1989. – Вып. 86. – С. 27–36.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Ч. 1–6. Вып. 20–23. – Л.: Гидрометеоздат, 1990–1993.
8. *Пичугин Ю.А.* К проблеме статистического контроля данных наблюдений за приземной температурой на отдаленных станциях. Ч. 2 // Метеорология и гидрология. – 2001. – № 11. – С. 22–26.
9. *Пичугин Ю.А.* Многомерные статистические модели в анализе, контроле и прогнозе метеорологических рядов: автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. – СПб.: Российский государственный гидрометеорологический ун-т, 2002. – 34 с.
10. Справочник по климату СССР. Ч. 4. Вып. 20. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 331 с.
11. *Сычев А.И.* Об одном методе автоматического контроля архива метеорологической информации // Труды ЗапСибНИГМИ. – 1981. – Вып. 49. – С. 105–117.
12. *Шаймарданов М.З., Степаненко С.Р., Дьяченко В.И. и др.* О контроле качества приземной метеорологической информации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1980. – Вып. 64. – С. 46–50.

И.А. Горлач, Е.Н. Шаколько

УСПЕШНОСТЬ КРАТКОСРОЧНЫХ И СРЕДНЕСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ И ПОЛЕЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В 2008 ГОДУ

В статье представлены результаты мониторинга успешности прогнозов погоды различной заблаговременности за 2008 год, выпускаемых оперативно ГУ «Гидрометцентр России», АНО «Гидрометеорологическое бюро Москвы и Московской области» (далее – Московское ГМБ), оперативно-прогностическими подразделениями ГУ «ЦГМС-РСМЦ», ГУ «ЦГМС-Р» и ГУ «ЦГМС» межрегиональных и территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Кроме того, помещены результаты мониторинга успешности прогнозов полей метеорологических величин, рассчитываемых на основе отечественных гидродинамических моделей атмосферы и поступающих из ведущих зарубежных метеорологических центров. Расчеты проводились с помощью комплекса разработанных программ в соответствии с Наставлением [4] при использовании усовершенствованного программного обеспечения для автоматизированной технологии [1, 3].

Успешность прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха по Москве заблаговременностью до трех суток и по Московской области заблаговременностью до пяти суток

Прогнозы минимальной (T_{min}) и максимальной (T_{max}) температуры воздуха по Москве и Московской области регулярно публикуются в ежедневном гидрометеорологическом бюллетене (ЕГМБ) ГУ «Гидрометцентр России».

В табл. 1 представлены средние за 2008 год показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха по Москве. Прогнозы на первые сутки составлены синоптиками Московского ГМБ, на вторые и третьи сутки – синоптиками ГУ «Гидрометцентр России». Для сравнения в таблице помещены характеристики успешности прогнозов, рассчитанных на основе технологии РЭП (расчет элементов погоды, автор – П.П. Васильев), и инерционных прогнозов.

Следует отметить, что методика автоматизированного расчета оправдываемости прогнозов температуры по Москве использует данные наблюдений на семи станциях Москвы. При этом прогноз на каждой станции считался оправдавшимся, если разность между серединой прогнозируемой градации и фактическим значением температуры на данной станции не превышала $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с учетом округления десятых долей). Данные табл. 1 показывают, что в Москве наиболее успешными были прогнозы температуры воздуха на первые сутки, составленные синоптиками Московского ГМБ.

Оправдываемость прогнозов на первые сутки в соответствии с Наставлением [4] (U_n) минимальной температуры воздуха в среднем за год составила 97 %, максимальной – 96 % при средней абсолютной ошибке, соответственно, 1,3 и 1,4 $^{\circ}\text{C}$ и относительной ошибке 0,6. Превышение оправдываемости синоптических прогнозов над оправдываемостью инерционных прогнозов ($U_n - U_{ин}$) составило, соответственно, 16 и 19 %.

Оправдываемость прогнозов минимальной температуры по схеме РЭП была на 2 % ниже оправдываемости прогнозов синоптиков, оправдываемость прогнозов максимальной температуры оказалась равной оправдываемости синоптических прогнозов.

Оправдываемость прогнозов T_{min} на вторые и третьи сутки у синоптиков и по схеме РЭП практически одинакова (94 и 95 % – на вторые сутки и 91 и 90 % – на третьи сутки). Оправдываемость синоптических прогнозов T_{max} уступала на 2–3 % оправдываемости прогнозов по схеме РЭП. При этом средние абсолютные ошибки прогнозов отличались всего на 0,1 $^{\circ}\text{C}$ в пользу РЭП при одинаковых относительных ошибках.

Превышение оправдываемости прогнозов у синоптиков и у схемы РЭП, по сравнению с инерционными прогнозами, было значительным

Таблица 1

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по Москве за 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Оправдываемость, % при абсолютной ошибке, °С			Оправдываемость, %	
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная	≤ 2	≤ 3	≤ 4	Un	Un – Uин
1	Синоптический	Tmin	0,0	1,3	0,6	83	94	98	97	16
		Tmax	-0,2	1,4	0,6	76	92	98	96	19
	РЭП	Tmin	-0,7	1,4	0,6	78	91	97	95	15
		Tmax	-0,1	1,4	0,6	77	92	98	96	19
	Инерционный	Tmin	0,0	2,2	1,0	58	74	85	80	
		Tmax	0,0	2,5	1,0	54	70	84	77	
2	Синоптический	Tmin	-0,3	1,5	0,5	73	90	96	94	28
		Tmax	-0,6	1,7	0,5	67	85	93	89	26
	РЭП	Tmin	-0,6	1,5	0,5	76	92	97	95	29
		Tmax	-0,1	1,6	0,5	72	87	94	91	28
	Инерционный	Tmin	0,0	3,0	1,0	43	59	73	66	
		Tmax	0,0	3,3	1,0	42	58	69	64	
3	Синоптический	Tmin	-0,3	1,7	0,5	70	86	95	91	29
		Tmax	-0,6	2,0	0,5	61	78	89	84	30
	РЭП	Tmin	-0,6	1,7	0,5	70	86	93	90	28
		Tmax	0,0	1,9	0,5	64	82	91	87	33
	Инерционный	Tmin	0,0	3,4	1,0	39	55	68	62	
		Tmax	0,0	4,0	1,0	36	48	61	54	

и находилось в пределах от 28 до 33 %, что в среднем на 3 % выше, чем в 2007 году [2].

Средняя за 2008 г. успешность прогнозов минимальной и максимальной температуры по Московской области представлена в табл. 2. Прогноз при этом считался оправдавшимся, если разность между серединой прогнозируемой градации и наблюдаемой температурой на данной станции Московской области (включая станции Москвы) не превышала 5 °С.

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что средняя за год оправдываемость прогнозов T_{min} и T_{max} на первые и вторые сутки у синоптиков и у РЭП составляла 97–99 % при абсолютной ошибке 1,5–1,9 °С и превышении над инерцией 10 % на первые сутки, 18–20 % – на вторые сутки.

Таблица 2

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по Московской области за 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Оправдываемость, %			Оправдываемость, %		
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная	Оправдываемость, % при абсолютной ошибке, °С			Ун	Ун – Уин	
						≤ 2	≤ 3	≤ 4			
1	Синоптический	Tmin	–0,1	1,5	0,6	73	89	96	99	10	
		Tmax	–0,6	1,6	0,7	69	87	96	99	10	
	РЭП	Tmin	–0,5	1,5	0,6	75	90	96	98	10	
		Tmax	0,1	1,4	0,6	76	90	96	98	10	
	Инерционный	Tmin	0,0	2,4	1,0	53	70	81	89		
		Tmax	0,0	2,5	1,0	52	69	82	89		
2	Синоптический	Tmin	–0,3	1,7	0,5	67	86	94	98	18	
		Tmax	–0,7	1,9	0,6	62	81	92	97	20	
	РЭП	Tmin	–0,4	1,5	0,5	72	89	96	98	19	
		Tmax	0,1	1,7	0,5	70	86	93	97	20	
	Инерционный	Tmin	0,0	3,3	1,0	40	56	69	79		
		Tmax	0,0	3,4	1,0	40	56	68	77		
	3	Синоптический	Tmin	–0,4	1,9	0,5	63	82	92	96	22
			Tmax	–0,7	2,1	0,6	57	76	89	94	23
РЭП		Tmin	–0,5	1,8	0,5	65	84	92	95	21	
		Tmax	0,2	2,0	0,5	63	81	90	94	23	
Инерционный		Tmin	0,0	3,7	1,0	37	52	65	75		
		Tmax	–0,1	4,0	1,0	34	48	60	71		

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Оправдываемость, % при абсолютной ошибке, °С			Оправдываемость, %	
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная	≤ 2	≤ 3	≤ 4	U _n	U _n – U _{ин}
4	Синоптический	Tmin	–0,6	2,0	0,5	61	78	89	95	25
		Tmax	–0,5	2,2	0,6	58	75	86	92	27
	РЭП	Tmin	–0,6	2,0	0,5	61	80	89	94	23
		Tmax	0,2	2,2	0,5	58	75	86	92	27
	Инерционный	Tmin	0,0	4,0	1,0	33	47	60	70	
		Tmax	–0,1	4,5	1,0	32	44	55	65	
5	Синоптический	Tmin	–0,6	2,2	0,6	56	73	86	93	25
		Tmax	–0,4	2,6	0,6	48	6	81	89	27
	РЭП	Tmin	–0,8	2,4	0,6	52	71	82	90	21
		Tmax	0,1	2,6	0,5	50	68	81	89	27
	Инерционный	Tmin	0,0	4,1	1,0	34	47	59	69	
		Tmax	–0,1	4,8	1,0	29	41	52	62	

Оправдываемость прогнозов Tmin и Tmax на третьи–пятые сутки у синоптиков (как и у РЭП) была достаточно высокой и с увеличением заблаговременности постепенно понижалась от 96 до 89 %, абсолютные ошибки увеличивались от 1,8 до 2,6 °С. Оправдываемость прогнозов минимальной температуры у синоптиков была на 1–3 % выше, чем у схемы РЭП. Оправдываемость синоптических прогнозов максимальной температуры и по схеме РЭП на третьи–пятые сутки была достаточно высокой и изменялась от 94 до 89 %, а абсолютные ошибки – от 2,0 до 2,6 °С.

Сравнительные успешности прогнозов Tmin и Tmax для Москвы и Московской области, составленных синоптиками и рассчитанных на основе технологии РЭП, за 2006–2008 гг. приведены в табл. 3 и 4.

Результаты демонстрируют тенденцию повышения качества синоптических и методических прогнозов по схеме РЭП в последние

годы. При этом в 2008 году заметно улучшились показатели успешности прогнозов минимальной температуры при заблаговременности прогнозов четыре и пять суток (абсолютные ошибки уменьшились на 0,5 °С, оправдываемость прогнозов повысилась на 7–8 %)

Таблица 3

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по Москве в 2006–2008 гг.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Абсолютная ошибка, °С			Оправдываемость, %		
			2006	2007	2008	2006	2007	2008
1	Синоптический	Tmin	1,5	1,4	1,3	94	94	97
		Tmax	1,5	1,4	1,4	93	95	96
	РЭП	Tmin	1,7	1,8	1,4	89	88	95
		Tmax	1,3	1,6	1,4	95	93	96
	Численный	Tmin	1,5	1,3	1,3	92	96	96
		Tmax	1,6	1,5	1,4	90	93	95
2	Синоптический	Tmin	1,9	1,7	1,5	87	90	94
		Tmax	1,8	1,8	1,7	87	89	89
	РЭП	Tmin	1,8	1,8	1,5	87	89	95
		Tmax	1,6	1,7	1,6	92	90	91
3	Синоптический	Tmin	2,1	1,9	1,7	82	86	91
		Tmax	2,0	2,0	2,0	85	84	84
	РЭП	Tmin	2,1	2,0	1,7	84	85	90
		Tmax	1,9	1,9	1,9	86	87	87

Таблица 4

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по Московской области в 2006–2008 гг.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Абсолютная ошибка, °С			Оправдываемость, %		
			2006	2007	2008	2006	2007	2008
1	Синоптический	Tmin	1,7	1,7	1,5	97	97	99
		Tmax	1,7	1,7	1,6	98	98	99
	РЭП	Tmin	1,9	1,8	1,5	96	97	98
		Tmax	1,3	1,5	1,4	99	98	98
2	Синоптический	Tmin	2,1	1,9	1,7	95	96	98
		Tmax	1,9	2,0	1,9	95	96	97
	РЭП	Tmin	1,9	1,8	1,5	94	97	98
		Tmax	1,5	1,7	1,7	97	97	97
3	Синоптический	Tmin	2,3	2,1	1,9	82	94	96
		Tmax	2,1	2,2	2,1	94	93	94
	РЭП	Tmin	2,1	2,1	1,8	94	94	95
		Tmax	1,8	1,9	2,0	95	96	94
4	Синоптический	Tmin	2,4	2,5	2,0	92	88	95
		Tmax	2,1	2,2	2,2	91	90	92
	РЭП	Tmin	2,4	2,4	2,0	92	90	94
		Tmax	2,1	2,3	2,2	91	91	92
5	Синоптический	Tmin	2,9	2,7	2,2	85	85	93
		Tmax	2,6	2,5	2,6	89	90	89
	РЭП	Tmin	3,1	2,6	2,4	82	87	90
		Tmax	2,8	2,7	2,6	86	87	89

Успешность прогнозов осадков по Москве и Московской области

Оперативные прогнозы осадков по Москве и Московской области составляются синоптиками Московского ГМБ с заблаговременностью от 12 до 36 ч, синоптиками ГУ «Гидрометцентр России» с заблаговременностью от 48 до 84 ч и публикуются в ЕГМБ. Прогнозы осадков рассчитываются также по гидродинамической модели (автор – Л.В. Беркович). В табл. 5 и 6 приведены средние показатели успешности прогнозов осадков по Москве и Московской области за 2008 год.

Таблица 5

Показатели успешности прогнозов осадков по Москве за 2008 г.

Заблаговременность, ч	Метод прогноза	Оправдываемость по Наставлению, %	Ошибка, мм		Критерий Пирси–Обухова	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %	
			систематическая	абсолютная		по факту	при абсолютной ошибке менее 3 мм/12 ч	выпадения осадков	отсутствия осадков
12	Синоптический	85	0,1	0,8	0,40	70	60	76	64
	Численный (ГД)	80	0,0	1,0	0,48	74	61	92	56
	Инерционный	74	0,0	1,6	0,28	66	52	62	66
24	Синоптический	84	0,0	0,8	0,42	71	56	76	66
	Численный (ГД)	80	0,0	0,9	0,49	73	61	90	59
	Инерционный	74	0,0	1,3	0,28	66	48	61	67
36	Синоптический	85	0,1	0,9	0,39	70	57	74	65
	Численный (ГД)	76	0,2	1,2	0,37	68	65	90	47
	Инерционный	71	0,0	1,7	0,18	61	52	56	61
48	Синоптический	78	1,2	1,7		63	52	82	47
	Инерционный	69	0,0	1,5	0,11	58	50	51	60
60	Синоптический	77	1,4	1,9		63	50	83	44
	Инерционный	69	0,0	1,6	0,11	58	54	54	58
72	Синоптический	76	1,2	1,7		60	52	83	42
	Инерционный	68	0,0	1,6	0,10	57	49	51	59
84	Синоптический	77	1,3	2,0		63	48	83	45
	Инерционный	66	0,0	1,8	0,03	54	54	49	54

Таблица 6

Показатели успешности прогнозов осадков по Московской области за 2008 г.

Заблаговременность, ч	Метод прогноза	Оправдываемость по Наставлению, %	Ошибка, мм		Критерий Пирси – Обухова	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %	
			систематическая	абсолютная		по факту	при абсолютной ошибке менее 3 мм/12 ч	выпадения осадков	отсутствия осадков
12	Синоптический	86	0,2		0,45	71	57	74	71
	Численный (ГД)	79	0,2	1,0	0,46	73	63	90	55
	Инерционный	77	0,0	1,3	0,31	69	56	65	66
24	Синоптический	85	0,1		0,40	69	59	73	67
	Численный (ГД)	79	0,1	0,9	0,47	73	63	88	59
	Инерционный	76	0,0	1,2	0,31	69	54	64	67
36	Синоптический	85	0,3		0,40	69	58	74	66
	Численный (ГД)	75	0,3	1,2	0,36	68	67	89	47
	Инерционный	73	0,0	1,4	0,20	64	57	59	61
48	Синоптический	80	1,1		0,27	61	54	79	48
	Инерционный	72	0,0	1,4	0,18	63	55	57	61
60	Синоптический	79	1,3		0,29	63	51	82	46
	Инерционный	72	0,0	1,4	0,15	62	58	57	58
72	Синоптический	78	1,2		0,23	60	55	80	43
	Инерционный	71	0,0	1,4	0,14	61	56	55	59
84	Синоптический	78	1,3		0,29	63	50	82	47
	Инерционный	70	0,0	1,5	0,09	59	59	54	55

Из данных табл. 5 видно, что оправдываемость синоптических прогнозов осадков по Москве на 12, 24 и 36 ч в соответствии с Наставлением [4] в среднем составила 85, 84 и 85 %, превысив оправдываемость инерционных прогнозов осадков на 11, 10 и 14 %

соответственно. Успешность гидродинамического прогноза факта выпадения осадков на 4–9 % уступала аналогичной успешности прогнозов синоптиков. Значения критерия качества Пирси–Обухова синоптических прогнозов на 12, 24 и 36 ч имели значения 0,40; 0,42 и 0,39 соответственно, причем у гидродинамических прогнозов они были выше, чем у синоптиков при заблаговременности 12 и 24 ч (0,48 и 0,49), на 0,02 уступая синоптическим прогнозам при заблаговременности 36 ч (0,37 и 0,39). Предупрежденность выпадения осадков у гидродинамического прогноза была высокой (90–92 %) при заблаговременности 12–36 ч, что на 14–16 % выше, чем у синоптических прогнозов. С увеличением заблаговременности предупрежденность выпадения осадков сохраняется высокой (82–83 %), по сравнению с инерционным прогнозом. Предупрежденность отсутствия осадков заметно уступает по величине из-за большого количества ложных тревог в прогнозах наличия осадков.

Из табл. 6 следует, что оправдываемость синоптических прогнозов осадков по Московской области на 12, 24 и 36 ч в среднем за 2008 год составила, соответственно, 86, 85 и 85 %, что несколько выше успешности прогнозов осадков по Москве. Значения критерия качества Пирси–Обухова синоптических прогнозов на 12, 24 и 36 ч составляли 0,45, 0,40 и 0,40, у численных прогнозов составили 0,46, 0,47 и 0,36 соответственно, что довольно близко к значениям этого критерия по Москве. С увеличением заблаговременности от 48 до 84 ч успешность синоптических прогнозов осадков по Москве и Московской области постепенно уменьшается. Тем не менее она на 7–12 % превышает успешность инерционных прогнозов.

Успешность прогнозов направления и скорости ветра по Москве

Прогнозы ветра (максимальная скорость и порывы) по Москве составляются синоптиками в оперативном режиме и публикуются в ЕГМБ, методические прогнозы среднего ветра и его порывов рассчитываются по гидродинамической модели атмосферы (автор – Л.В. Беркович). В табл. 7 приведены средние за 2008 год показатели успешности прогнозов максимальной скорости ветра, включая порывы, составленных синоптиками и рассчитанных по гидродинамической

модели, и успешность прогнозов среднего ветра по гидродинамической модели с заблаговременностью до 48 ч.

Таблица 7

Показатели успешности направления и скорости ветра по Москве за 2008 г.

Заблаговременность, ч	Метод прогноза	Ошибка скорости ветра, м/с			Оправдываемость, %			Количество дат	
		абсолютная векторная	абсолютная скалярная	систематическая	скорости ($\pm 2,5$ м/с)	направления ($\pm 22,5^\circ$)	по Наставлению, ($V > 12$ м/с)	прогнозов с ($V > 12$ м/с)	фактических случаев с ($V > 12$ м/с)
Максимальный ветер, включая порывы									
12	Синоптический	5,6	2,8	2,0	46	38	53	63	74
	Численный	4,6	2,0	-1,1	59	38	11	4	74
	Инерционный	6,0	1,9	0,0	64	26	51	74	74
24	Синоптический	5,5	2,7	2,4	43	40	55	29	28
	Численный	4,3	1,7	0,2	67	31	17	4	28
	Инерционный	5,1	2,0	0,0	60	27	41	28	28
36	Синоптический	5,9	2,8	2,1	46	36	50	65	74
	Численный	5,1	2,2	-1,3	56	30	5	4	74
	Инерционный	7,2	2,3	0,0	55	19	49	74	74
48	Синоптический	7,4	3,6	3,3	34	24	30	58	28
	Численный	4,8	1,9	0,1	61	26	4	2	28
	Инерционный	5,9	2,2	0,0	56	21	40	28	28
Средний ветер									
12	Численный	1,7	0,9	0,1	88	38			
	Инерционный	2,1	0,8	0,0	87	27			
24	Численный	1,6	0,9	0,1	88	31			
	Инерционный	1,7	0,8	0,0	87	29			
36	Численный	1,9	1,0	0,0	87	30			
	Инерционный	2,5	1,0	0,0	86	20			
48	Численный	1,8	1,0	0,2	85	26			
	Инерционный	2,0	0,9	0,0	86	22			

Прогнозы синоптиков и прогнозы среднего ветра по гидродинамической модели заблаговременностью до 48 ч оценивались путем сравнения с фактическими порывами ветра или скоростью максимального ветра при отсутствии порывов. Из данных табл. 7 видно, что абсолютные ошибки прогнозов максимальной скорости ветра и порывов в среднем за год у синоптиков составили 2,7–3,6 м/с, у численных прогнозов – 1,7–2,2 м/с, что в среднем на уровне ошибок инерционного прогноза. Систематические ошибки синоптических прогнозов величиной около 2–3 м/с указывают на то, что синоптики в среднем завышали скорости максимального ветра и порывов. Абсолютные векторные ошибки прогнозов ветра у синоптических прогнозов были больше, чем у методических прогнозов при всех рассматриваемых заблаговременностях.

Успешность прогнозов облачности в 2008 году по Москве

Характеристики успешности синоптических и гидродинамических (автор – Л.В. Беркович) прогнозов облачности на 12, 24 и 36 ч приведены в табл. 8. Расчет характеристик успешности проводился согласно

Таблица 8

Показатели успешности прогнозов облачности по Москве за 2008 г.

Заблаговременность, ч	Метод прогноза	Оправдываемость, %	Ошибка, балл		Оправдываемость прогноза, (%), при абсолютной ошибке (балл)			
			систематическая	абсолютная	≤ 2	≤ 3	≤ 4	≤ 5
12	Синоптический	55	–1,2	2,3	37	73	80	90
	Численный (ГД)	44	–2,8	4,0	31	38	52	59
	Инерционный	68	0,2	1,9	56	70	78	82
24	Синоптический	57	–0,6	2,4	36	69	77	91
	Численный (ГД)	55	–0,5	2,9	48	57	64	70
	Инерционный	62	–0,1	2,5	52	61	70	75
36	Синоптический	54	–1,3	2,3	37	72	79	90
	Численный (ГД)	55	–1,2	3,0	43	57	62	67
	Инерционный	61	–0,1	2,5	49	59	69	77

методике, описанной в [3]. Из данных табл. 8 видно, что успешность синоптических и численных прогнозов облачности была невысокой. Абсолютные ошибки прогнозов синоптиков составляли 2,3–2,4 балла, практически на уровне инерционных прогнозов, у гидродинамического прогноза абсолютные ошибки были в пределах от 2,9 до 4 баллов. Оправдываемость синоптических прогнозов составила 54–57 %, оправдываемость численного метода – 45–55 %, уступая в успешности инерционным прогнозам, имеющим оправдываемость 61–68 %.

Успешность прогнозов экстремальной температуры воздуха и осадков по территории семи федеральных округов Российской Федерации и Республики Беларусь

Прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха и осадков с заблаговременностью до пяти суток (публикуются в ЕГМБ) составлялись в 2008 г. синоптиками ГУ «Гидрометцентр России» по территориям семи федеральных округов России с разделением их на части в зависимости от климатических условий (18 территорий) и по территории Республики Беларусь. Аналогичные прогнозы рассчитывались по статистической схеме РЭП (автор – П.П. Васильев) для интервалов температуры 5 °С по каждой территории.

Оценка успешности прогнозов T_{\min} и T_{\max} проводилась путем сравнения прогностических значений экстремальной температуры воздуха по соответствующим частям федеральных округов со средними значениями фактической экстремальной температуры воздуха на метеорологических станциях рассматриваемой территории. Оправдываемость прогнозов минимальной и максимальной температуры в среднем за 2008 год (табл. 9) была достаточно высокой на первые–четвертые сутки у синоптиков (89–91 %) и у схемы РЭП (89–92 %). С увеличением заблаговременности прогнозов до пяти суток понижение оправдываемости прогнозов составило лишь 2–3 %. В целом различия в оправдываемости прогнозов по схеме РЭП и синоптических прогнозов не превышали 1–2 % и имели превышение над инерционными прогнозами ($U_n - U_{ин}$) при всех сроках прогнозов.

В табл. 10 приведены средние за год показатели успешности трехфазного прогноза осадков: осадки (ос), местами осадки (м.ос), без

Таблица 9

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по территории семи федеральных округов РФ и Республики Беларусь за 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Оправдываемость, %, при абсолютной ошибке, °С			Оправдываемость, %	
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная				R _n	R _n – R _{ин}
						≤ 2	≤ 3	≤ 4		
1	Синоптический	Tmin	0,1	1,5	0,79	66	80	87	89	4
		Tmax	0,0	1,4	0,76	68	82	88	90	4
	РЭП	Tmin	-0,4	1,2	0,64	73	84	89	91	5
		Tmax	-0,2	1,1	0,58	77	87	91	92	5
	Инерционный	Tmin	0,0	1,8	0,92	60	73	81	86	
		Tmax	0,0	1,7	0,92	60	75	83	87	
2	Синоптический	Tmin	-0,4	1,5	0,54	67	82	88	90	13
		Tmax	-0,3	1,4	0,49	67	83	89	91	14
	РЭП	Tmin	-0,4	1,3	0,47	71	83	88	90	13
		Tmax	-0,2	1,3	0,43	72	84	89	91	14
	Инерционный	Tmin	0,0	2,7	0,92	46	60	70	77	
		Tmax	0,0	2,7	0,92	42	58	69	77	
3	Синоптический	Tmin	-0,4	1,6	0,50	63	79	87	89	17
		Tmax	-0,3	1,6	0,46	62	78	87	90	20
	РЭП	Tmin	-0,5	1,5	0,45	67	80	86	89	16
		Tmax	-0,1	1,4	0,41	68	81	88	90	19
	Инерционный	Tmin	0,0	3,1	0,92	40	54	65	73	
		Tmax	0,0	3,3	0,92	36	51	62	70	
4	Синоптический	Tmin	-0,4	1,7	0,50	59	76	85	89	19
		Tmax	-0,3	1,7	0,45	58	74	84	89	23
	РЭП	Tmin	-0,5	1,7	0,45	63	77	85	88	18
		Tmax	-0,1	1,6	0,42	63	77	85	89	23
	Инерционный	Tmin	0,0	3,4	0,92	36	51	61	70	
		Tmax	0,0	3,6	0,92	33	47	57	66	
5	Синоптический	Tmin	-0,6	1,9	0,54	54	70	81	86	19
		Tmax	-0,3	2,1	0,51	51	67	77	84	21
	РЭП	Tmin	-0,6	1,9	0,51	55	71	81	86	18
		Tmax	-0,1	2,0	0,47	54	70	80	86	22
	Инерционный	Tmin	0,0	3,6	0,92	35	48	60	68	
		Tmax	0,0	3,8	0,92	31	44	55	63	

Таблица 10

Показатели успешности прогнозов осадков по территории семи федеральных округов и Республике Беларусь за 2008 г.

Заблаговременность, ч	Метод прогноза	U	Uос	Um.ос	Ub.ос	Рос	Рм.ос	Рб.ос	Критерий Пирси–Обухова
24	Синоптический	73	83	65	75	57	66	50	0,12
	РЭП	73	75	68	75	84	43	35	
	Инерционный	74	80	68	72	66	57	55	0,16
48	Синоптический	73	75	68	74	82	44	35	-0,02
	РЭП	73	75	68	75	83	42	35	0,00
	Инерционный	66	73	62	61	55	49	42	-0,06
72	Синоптический	72	74	67	72	82	43	33	-0,04
	РЭП	72	74	67	73	83	42	33	-0,04
	Инерционный	64	70	60	56	51	47	38	-0,12
96	Синоптический	71	73	65	74	80	41	32	-0,08
	РЭП	71	73	67	73	82	41	32	-0,07
	Инерционный	63	69	59	54	49	46	36	-0,16
120	Синоптический	69	72	65	66	78	43	25	-0,15
	РЭП	70	72	66	67	78	42	28	-0,10
	Инерционный	62	67	60	52	48	46	34	-0,19

осадков (б.ос), детализированного по федеральным округам Российской Федерации и Республике Беларусь. Из данных таблицы следует, что общая оправдываемость методических прогнозов осадков (U) изменялась от 73 % на первые и вторые сутки до 69 % на пятые сутки, что обеспечивало превышение над инерцией 7–9 %, начиная со вторых суток. В таблице, помимо общей оправдываемости прогнозов факта наличия/отсутствия осадков, приводятся величины оправдываемости (Uос, Um.ос, Ub.ос) и предупрежденности (Рос, Рм.ос, Рб.ос) отдельно для каждой из трех фаз осадков и критерий качества Пирси–Обухова.

Сравнение успешности методических прогнозов осадков с инерционными прогнозами показывает, что методические прогнозы имели небольшое преимущество перед инерционными прогнозами по отдельным показателям на всех сроках прогноза. Критерий Пирси–Обухова методических прогнозов с отрицательным знаком указывал на низкую успешность прогноза осадков.

Успешность прогнозов экстремальной температуры воздуха и осадков в 122 пунктах (городах) России и Республики Беларусь

Прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха и суточных сумм осадков заблаговременностью до пяти суток оперативно составлялись в ГУ «Гидрометцентр России» по схеме РЭП (автор – П.П. Васильев) для 116 пунктов на территории России и шести пунктов на территории Республики Беларусь и по линиям связи распространялись в сетевые оперативно-прогностические подразделения.

Приведенные в табл. 11 средние для всех пунктов оценки успешности прогнозов температуры воздуха за 2008 г. показали в целом удовлетворительную успешность. Абсолютные ошибки (точность прогноза) изменялись от 1,7 °С на первые сутки, постепенно увеличиваясь до 2,7 °С на пятые сутки. Оправдываемость по Наставлению [4] изменялась, соответственно, от 80–83 % на первые сутки до 71 % на четвертые сутки и 65 % на пятые сутки, а превышение над успешностью инерционного прогноза было в пределах от 16 до 28 %. Эти показатели в целом несколько уступают показателям, полученным в 2007 году, но выше оценок, полученных в 2005 году [2].

Прогнозы осадков в рассматриваемых 122 пунктах (табл. 12) имели в целом невысокую успешность, хотя при всех заблаговременностях значения абсолютных ошибок прогноза количества осадков по схеме РЭП были меньше на 0,3–0,4 мм/24 ч, чем у инерционных прогнозов. Вместе с тем методические прогнозы осадков на первые сутки уступали инерционным прогнозам по большинству показателей успешности прогноза факта выпадения осадков. Общая оправдываемость прогнозов осадков на вторые–четвертые сутки по схеме РЭП превышала оправдываемость инерционных прогнозов на 4–5%, превышая значения 50 %. Величины критерия успешности Пирси–Обухова изменялись от 0,3 на

Таблица 11

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры по 122 пунктам Российской Федерации и Республики Беларусь за 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Оправдываемость, %, при абсолютной ошибке, °С			Оправдываемость, %	
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная	≤ 2	≤ 3	≤ 4	Рн	Рн – Рин
1	РЭП	Tmin	-0,2	1,7	0,58	62	76	83	80	16
		Tmax	0,2	1,6	0,55	65	79	85	83	17
	Инерционный	Tmin	0,0	2,7	0,92	44	59	69	64	
		Tmax	0,0	2,6	0,92	45	60	71	66	
2	РЭП	Tmin	-0,2	1,9	0,47	59	74	82	78	25
		Tmax	0,2	1,8	0,45	60	74	82	79	26
	Инерционный	Tmin	0,0	3,6	0,92	34	48	59	54	
		Tmax	0,0	3,6	0,92	34	47	58	53	
3	РЭП	Tmin	-0,3	2,1	0,47	55	70	78	75	25
		Tmax	0,2	2,1	0,46	54	70	79	75	28
	Инерционный	Tmin	0,0	4,0	0,92	32	44	55	50	
		Tmax	0,0	4,1	0,92	30	42	52	47	
4	РЭП	Tmin	-0,3	2,3	0,49	51	66	76	71	24
		Tmax	0,2	2,3	0,47	50	65	75	71	27
	Инерционный	Tmin	0,0	4,3	0,92	29	41	52	47	
		Tmax	0,0	4,5	0,92	27	38	48	44	
5	РЭП	Tmin	-0,5	2,7	0,55	44	59	70	65	20
		Tmax	0,3	2,7	0,52	44	58	70	65	23
	Инерционный	Tmin	0,0	4,4	0,92	28	41	51	46	
		Tmax	0,0	4,7	0,92	26	37	47	42	

первые сутки до 0,2 – на пятые и, начиная со вторых суток, имели небольшое преимущество по сравнению с инерционным прогнозом.

Таблица 12

Показатели успешности прогнозов осадков по 122 пунктам Российской Федерации и Республики Беларусь за 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Ошибка, мм		Критерий Пирси – Обухова	Оправдываемость, %			Предупрежденность, %	
		систематическая	абсолютная		общая	осадков	без осадков	осадков	без осадков
1	РЭП	–0,1	2,3	0,3	53	66	56	63	58
	Инерционный	0,0	2,6	0,3	55	68	59	68	59
2	РЭП	–0,1	2,4	0,3	52	65	55	63	57
	Инерционный	0,0	2,8	0,2	49	62	50	62	50
3	РЭП	–0,1	2,4	0,3	52	65	54	62	56
	Инерционный	0,0	2,8	0,2	48	60	48	60	48
4	РЭП	0,0	2,4	0,2	51	64	53	62	55
	Инерционный	0,0	2,8	0,1	47	59	46	59	46
5	РЭП	–0,1	2,5	0,2	49	62	51	60	52
	Инерционный	0,0	2,8	0,1	46	58	45	58	45

Успешность прогнозов экстремальной температуры воздуха с заблаговременностью до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации

В соответствии с руководящими документами Росгидромета в Гидрометцентре России на постоянной основе продолжается сбор региональных трехсуточных прогнозов температуры воздуха, осадков и других метеоэлементов по городам – центрам субъектов Российской Федерации, составляемых в ЦГМС-Р и ЦГМС в коде КП-68. Осуществляется ежемесячный мониторинг успешности прогнозов экстремальной температуры воздуха, архивация и оценка

этих прогнозов с помощью автоматизированной технологии. Полученные результаты расчетов в среднем за 2008 год показаны в табл. 13 в сравнении с характеристиками успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха на первые–третьи сутки по административным центрам субъектов Российской Федерации, полученным

Таблица 13

Показатели успешности прогнозов минимальной и максимальной температуры, составленных в УГМС и в Гидрометцентре России (схема РЭП), по административным центрам субъектов РФ за январь–декабрь 2008 г.

Заблаговременность, сут	Метод прогноза	Температура	Ошибка			Ун, %	Ун – Уин, %
			систематическая, °С	абсолютная, °С	относительная		
1	УГМС	Tmin	-0,3	1,9	0,69	86	15
		Tmax	-0,4	1,9	0,72	85	13
	РЭП	Tmin	-0,2	1,8	0,61	89	19
		Tmax	0,1	1,7	0,59	90	18
	Инерционный	Tmin	0,0	2,8	1,00	71	
		Tmax	0,0	2,8	1,00	72	
2	УГМС	Tmin	-0,3	2,2	0,62	79	20
		Tmax	-0,4	2,2	0,59	80	23
	РЭП	Tmin	-0,3	1,8	0,49	88	29
		Tmax	0,1	1,8	0,49	87	30
	Инерционный	Tmin	-0,1	3,7	1,00	60	
		Tmax	-0,1	3,8	1,00	57	
3	УГМС	Tmin	-0,3	2,4	0,61	76	21
		Tmax	-0,5	2,4	0,57	76	25
	РЭП	Tmin	-0,4	2,1	0,49	84	30
		Tmax	0,2	2,1	0,48	83	32
	Инерционный	Tmin	-0,1	4,1	1,00	55	
		Tmax	-0,1	4,4	1,00	51	

с помощью функционирующей в ГУ «Гидрометцентр России» технологии РЭП (автор – П.П. Васильев).

Как видно из табл. 13, оправдываемость прогнозов температуры воздуха на первые, вторые и третьи сутки, полученных из УГМС, составила для T_{\min} 86, 79 и 76 %, для T_{\max} – 85, 80 и 76 % соответственно. Средние абсолютные ошибки этих прогнозов в 2008 г. были равны для T_{\min} , соответственно, 1,9, 2,2 и 2,4 °С, а для T_{\max} – 1,9, 2,2 и 2,4 °С. Результаты в целом свидетельствуют о повышении успешности прогнозов, по сравнению с 2007 годом. Соответствующие оценки прогнозов РЭП на первые, вторые и третьи сутки, соответственно, составили: для минимальной температуры – 89, 88 и 84 %, для максимальной температуры – 90, 87 и 83 %, абсолютные ошибки прогнозов – T_{\min} 1,8, 1,8 и 2,1 °С, абсолютные ошибки прогнозов T_{\max} 1,7, 1,8 и 2,1 °С. Превышение оправдываемости синоптических прогнозов над инерционными составило 15–21 % для прогнозов T_{\min} и 13–25 % – для прогнозов T_{\max} , а для прогнозов по схеме РЭП соответственные величины превышения на вторые и третьи сутки были на 4–9 % выше, чем у прогнозов в административных центрах субъектов Федерации. Данные табл. 13 подтверждают вывод о том, что успешность прогнозов РЭП на вторые и третьи сутки в среднем заметно выше успешности синоптических прогнозов, поступающих в коде КП-68.

Успешность прогнозов полей метеорологических величин, полученных по гидродинамическим моделям

В 2008 году в оперативном режиме продолжался мониторинг успешности гидродинамических прогнозов полей метеорологических величин по следующим регионам: Европа, Азия, по Северному полушарию (севернее 20° с. ш.); со второй половины года – и по Южному полушарию. Он проводился в сравнении с оперативным объективным анализом ГУ «Гидрометцентр России» по регулярной сетке 2,5°×2,5° и с данными наблюдений на метеорологических станциях и станциях радиозондирования атмосферы. Оценивались прогнозы, предвычисленные на основе гидродинамических моделей атмосферы, внедренных в оперативную практику ГУ «Гидрометцентр России»: спектральной модели T85L31, полулагранжевой модели PLAV с постоянным

разрешением (автор – М.А. Толстых), региональной модели Region (автор – В.М. Лосев). Регулярно проводилось сравнение успешности указанных прогнозов с аналогичными прогнозами зарубежных центров, получаемых в коде ГРИБ из ECMWF (г. Реддинг, Великобритания), из UKMO (г. Экзетер, Великобритания) и NCEP (г. Вашингтон, США).

На рис. 1–6 приведены графики хода среднеквадратической ошибки (RMSE) прогнозов поля давления на уровне моря, поля геопотенциала Н-500, величин градиентной ошибки (S1), среднеквадратических ошибок (RMSE) прогнозов поля температуры воздуха на уровне изобарической поверхности 850 гПа (Т-850), поля ветра на уровне 250 гПа (V-250), а также графики изменения абсолютной и относительной ошибок прогноза температуры воздуха у поверхности Земли. На графиках представлены значения, рассчитанные по исходному сроку 12 ч ВСВ для региона Европа по данным объективного анализа (ОА).

Среднеквадратические ошибки прогнозов поля давления на уровне моря по спектральной модели T85L31 (рис. 1) составили 2,0; 4,8 и 7,1 гПа для прогнозов на 24, 72 и 120 ч. Среднеквадратические

Оценки по сетке точек ОА 2,5°×2,5°

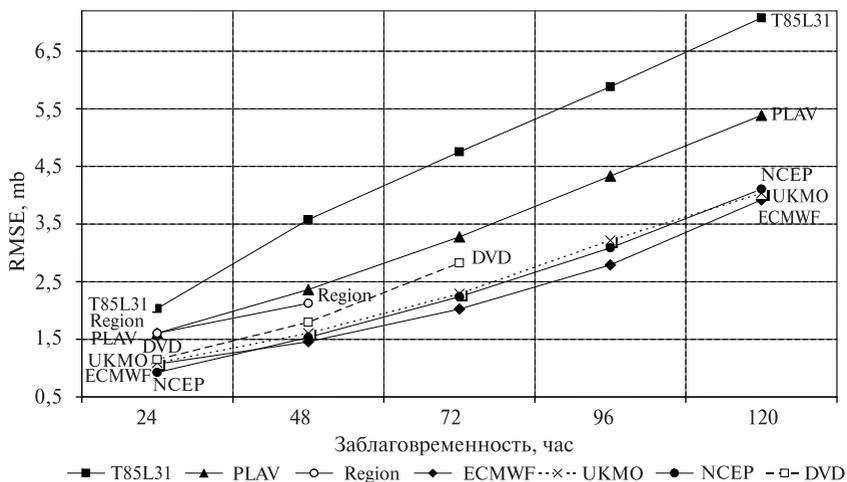


Рис. 1. График изменения среднеквадратической ошибки прогноза давления на уровне моря в зависимости от заблаговременности для региона Европа за 2008 г. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

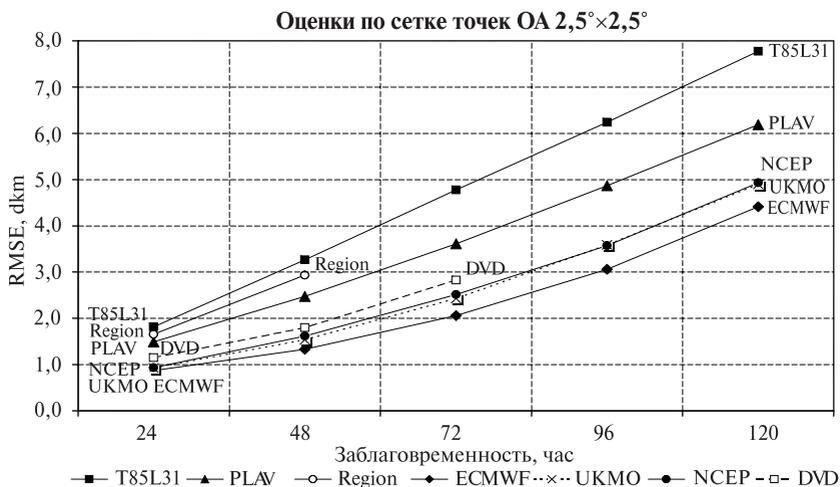


Рис. 2. График изменения среднеквадратической ошибки прогноза геопотенциала Н-500 в зависимости от заблаговременности для региона Европа за 2008 г. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

ошибки аналогичных прогнозов давления по модели PLAV составили, соответственно, 1,6, 3,3 и 5,4 гПа, что на 0,4–1,7 гПа меньше ошибок спектральной модели. Величина RMSE аналогичных прогнозов по региональной модели атмосферы при заблаговременности 48 ч была на 0,3 гПа выше, чем у модели PLAV.

На рис. 2 видно, что средние за 2008 г. величины RMSE прогнозов поля геопотенциала Н-500 по модели атмосферы Т85L31 составили для заблаговременностей 24, 72 и 120 ч, соответственно, 1,8; 4,8 и 7,8 дам, что меньше, чем в 2007 г., соответственно, на 0,2; 0,1 и 0,2 дам [2]. Сравнение успешности прогнозов поля Н-500 по модели Т85L31 с успешностью прогнозов по модели PLAV показывает преимущество последней по величине RMSE на 0,4–1,7 дам. В 2007 г. указанные различия были меньше.

Ошибки S1 прогноза поля Н-500 (рис. 3) для этих же заблаговременностей составили, соответственно, 24, 42 и 58. Величины ошибок S1 указывают на то, что спектральная модель удовлетворительно прогнозировала структуру барического поля на уровне Н-500 для заблаговременностей до 5 сут. Величины ошибки S1 прогнозов полей Н-500 по модели PLAV также меньше в среднем на 2–5 (рис. 3).

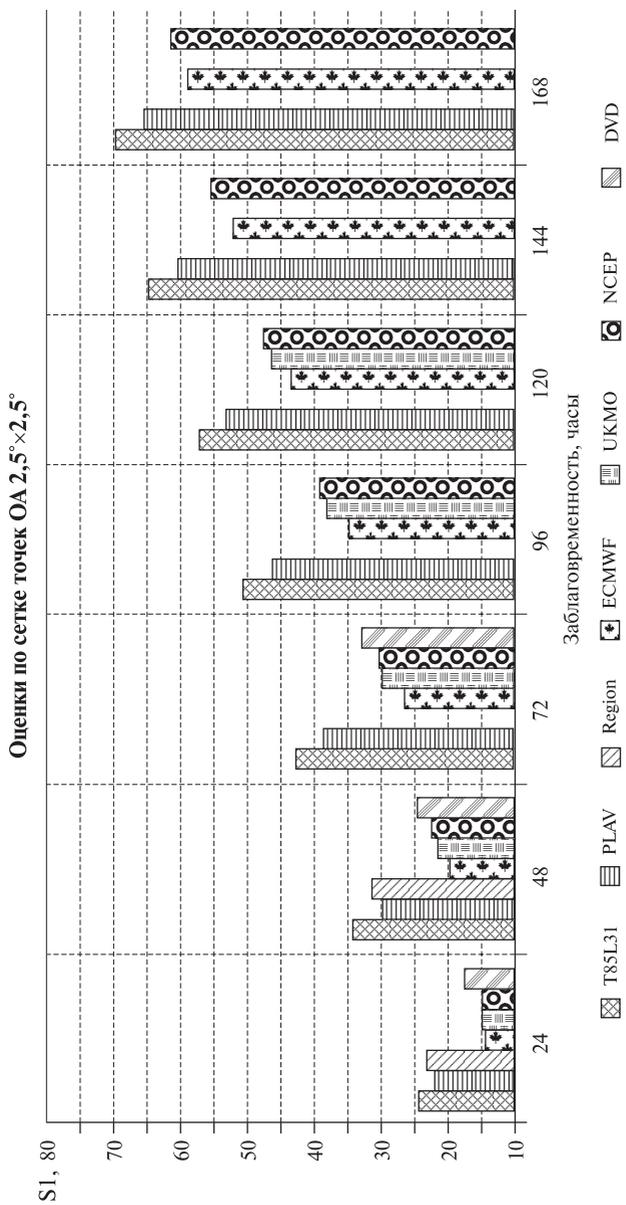


Рис. 3. График изменения градиентной ошибки (S1) прогноза H-500 в зависимости от заблаговременности за 2008 г. для региона Европа. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

Среднеквадратические ошибки прогнозов температуры воздуха на уровне изобарической поверхности 850 гПа (рис. 4) по спектральной модели на 24, 72 и 120 ч, как и в 2007 г., были равны, соответственно, 2,0, 3,0 и 4,0 °С. Модель PLAV имела меньшие ошибки прогноза T-850: 1,8, 2,4 и 3,2 °С соответственно для заблаговременностей 24, 72 и 120 ч. Успешность прогноза T-850 на 24 и 48 ч по региональной модели близка к успешности прогнозов модели T85L31.

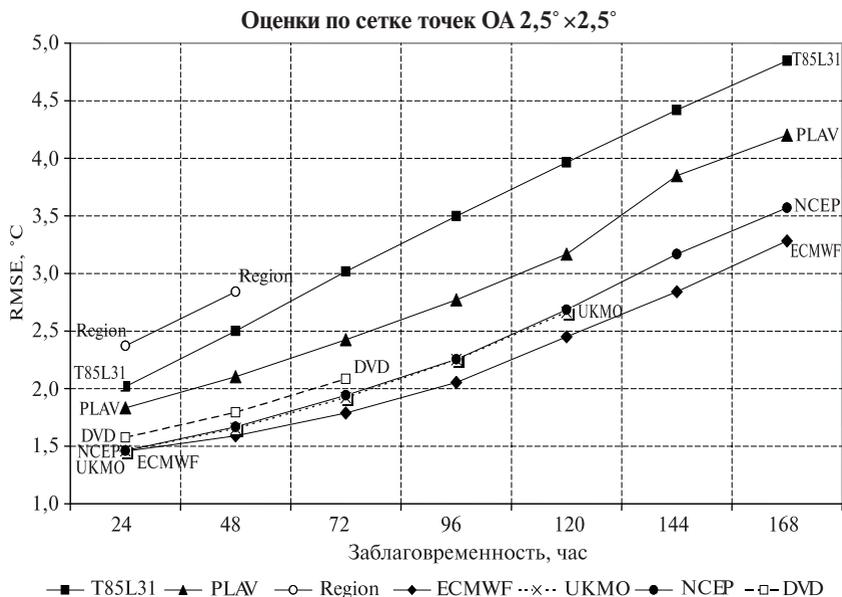


Рис. 4. График изменения среднеквадратической ошибки прогноза T-850 в зависимости от заблаговременности за 2008 г. для региона Европа. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

На рис. 5 показана успешность прогнозов скорости ветра в верхней тропосфере (на уровне 250 гПа), важных для метеорологического обеспечения авиации. Из рисунка видно, что модель PLAV при всех заблаговременностях прогнозов скорости ветра имеет несколько меньшие величины ошибки RMSE. Различия составляли около 1,0 м/с на сроках 24 и 48 ч, далее они увеличились до 2,0 м/с. При этом сами

величины RMSE составили 6–7 м/с для прогнозов на 24 ч, около 11–13 и 16–18 м/с – для прогнозов на 72 и 120 ч.

Оценки по сетке точек ОА 2,5° × 2,5°

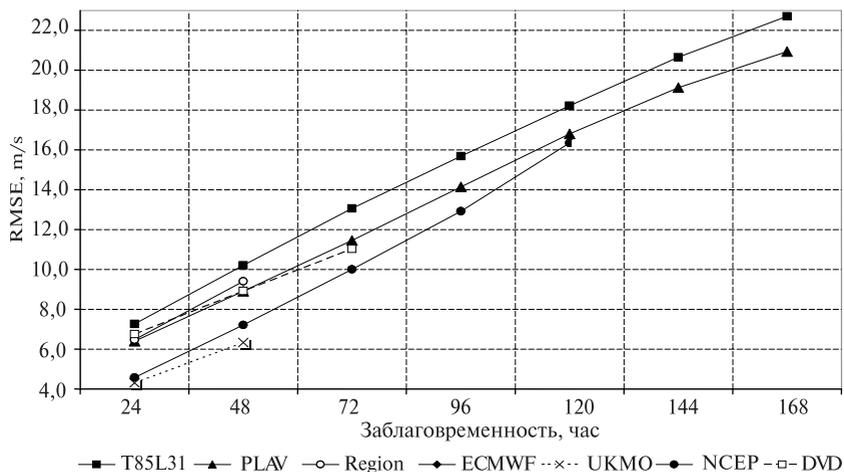


Рис. 5. График изменения среднеквадратической ошибки прогноза V-250 в зависимости от заблаговременности за 2008 г. для региона Европа. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

Значения абсолютных (ABS ERR) и относительных (REL ERR) ошибок прогнозов приземной температуры воздуха (Tz) приведены на рис. 6. Средняя величина абсолютной ошибки прогнозов Tz по спектральной модели составила на 24, 72 и 120 ч соответственно 2,4, 2,7 и 3,1 °С, что на 0,1 °С меньше, по сравнению с аналогичными величинами в 2007 г. при заблаговременности 72 и 120 ч. Относительные ошибки указывают на преимущество методических прогнозов над инерционными, начиная с заблаговременности 48 ч. Абсолютная ошибка прогнозов Tz по региональной модели при заблаговременности 24 и 48 ч была на 0,6 °С меньше, чем у глобальной спектральной модели.

Успешность моделей, внедренных в оперативную практику ГУ «Гидрометцентр России», в целом уступает успешности аналогичных прогнозов зарубежных моделей, хотя для малых заблаговременностей разница в показателях весьма небольшая. Среди зарубежных моделей, успешность которых регулярно оценивается, в большинстве случаев

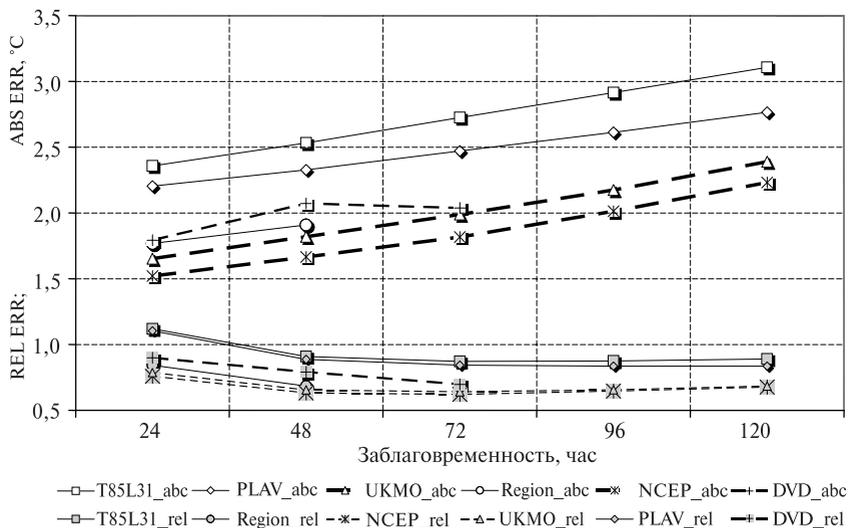


Рис. 6. График изменения абсолютной и относительной ошибок прогноза Tz в зависимости от заблаговременности за 2008 г. для региона Европа. Исходный срок – 12 ч ВСВ.

поля метеоэлементов лучше других моделей прогнозировала модель ECMWF, и на втором месте – UKMO. Успешность прогнозов по модели NCEP была в среднем несколько ниже в сравнении с моделями ECMWF и UKMO.

Список литературы

1. Булдовский Г.С., Веселова Г.К. Технология автоматизированной оценки успешности краткосрочных и среднесрочных метеорологических прогнозов погоды // Информационный сборник № 25. – 1998. – С. 92–113.
2. Горлач И.А., Шаколько Е.Н. Успешность краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды и полей метеорологических элементов в 2007 году // Информационный сборник № 36. – 2009. – С.163–190.
3. Веселова Г.К. Методика оценки успешности прогнозов облачности // Информационный сборник № 26. – 2000. – С. 89–94.
4. РД 52.88.629-2002. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002.

Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, А.Р. Иванова, И.А. Горлач

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА ТУРБУЛЕНТНОСТИ В ЯСНОМ НЕБЕ

В соответствии с Планом испытаний на 2009 год, в период с 1 апреля по 31 декабря 2009 года в ГУ «Гидрометцентр России» проводились оперативные испытания метода прогноза турбулентности в ясном небе (ТЯН) воздушных судов (ВС). Метод является составной частью технологии расчета карт особых явлений (ОЯ) на верхних (SWH) и средних (SWM) уровнях атмосферы для авиации. Технология была разработана в отделе авиационной метеорологии в 2004–2008 гг. в рамках тем НИР 1.1.1, 1.4.1 для внедрения в Лаборатории зональных прогнозов отдела авиационной метеорологии ГУ «Гидрометцентр России».

Воздушные потоки свободной атмосферы вне зон конвективной деятельности являются, как правило, слабовозмущенными (квазиламинарными). Сильная турбулентность в них встречается в виде отдельных слоев или в виде вкрапленных в спокойную среду пятен, или линз, с очень высоким уровнем возмущенности. Прогноз этого вида турбулентности, именуемого «турбулентностью в ясном небе», очень важен для метеообеспечения авиации [3]. Своеобразный характер зон ТЯН – перемежаемость, резкая локализация в окружающем потоке, большая изменчивость размеров и продолжительности жизни – затрудняет их исследование и прогноз. Механизмы развития ТЯН интенсивно изучались начиная с 60-х гг. XX века [4, 8]. К настоящему времени можно считать установленным, что имеются три основных разновидности механизма гидродинамической неустойчивости, порождающей ТЯН:

1. *Гидродинамическая неустойчивость основного потока, стратифицированного по ветру и температуре (неустойчивость Кельвина–Гельмгольца)*

Уравнение, описывающее процессы роста внутренних волн в результате неустойчивости этого вида, содержит в качестве единственного

параметра число Ричардсона Ri . Его теоретически найденное критическое значение равно $1/4$: при меньших Ri наступает быстрый рост амплитуд малых возмущений и турбулизация всего слоя, в котором $Ri < 1/4$. Размеры возникающих таким образом турбулентных слоев по горизонтали достигают 100 км и более, по вертикали — 1–1,5 км. Такие слои могут существовать довольно продолжительное время, зависящее от характера эволюции основного потока. Болтанку в таких слоях могут испытывать несколько самолетов, последовательно пролетающих через турбулентную зону.

2. Вторичная неустойчивость, или неустойчивость внутренних волн в устойчивом потоке (в котором $Ri > 1/4$)

Внутренние гравитационные волны, распространяясь в атмосфере, при определенных условиях начинают расти по амплитуде, в результате чего на их гребнях возникают зоны неустойчивости Кельвина–Гельмгольца (числа Ri понижаются ниже критического значения) и развивается турбулентность. Источники гравитационных волн весьма многочисленны: это неровности подстилающей поверхности, ее термические неоднородности, фронты и циклоны, грозовые очаги, струйные течения и др. Амплитуда, при которой на гребне волны появляется неустойчивость, называется критической. В результате вторичной неустойчивости образуются короткоживущие, небольших размеров турбулентные пятна («линзы» или «блины»), вкрапленные в квазиламинарный поток и переносимые этим потоком. Их протяженность не превышает немногих десятков километров по горизонтали и сотен метров по вертикали. Чем интенсивнее источники гравитационных волн, тем больше вероятность появления турбулентных пятен. С другой стороны, чем больше устойчивость стратификации (больше Ri), тем больше критические амплитуды и, значит, менее вероятно появление турбулентных пятен. Однако (и это имеет принципиальное значение) нельзя назвать такого значения Ri , при котором возможность появления турбулентных пятен исключалась бы полностью.

3. Неустойчивость критического уровня

Так называется уровень, на котором горизонтальная фазовая скорость внутренней гравитационной волны равна скорости ветра. Волна, подходя к критическому уровню, может расти по амплитуде и разрушаться с образованием турбулентности, либо приводить к появлению

неустойчивости Кельвина–Гельмгольца в окрестности этого уровня, что также ведет к турбулизации. В обоих случаях образуются турбулентные слои. Поскольку положение критических уровней, которые возникают в слоях со сдвигами ветра, зависит от фазовой скорости волн, а последняя должна рассматриваться как случайная величина, вследствие неустойчивости критического уровня появляются случайным образом распределенные турбулентные зоны при больших Ri .

Таким образом, можно заключить, что зоны ТЯН в атмосфере сильно анизотропны, их время жизни и размеры меняются в широких пределах, а их появление в потоке хотя и зависит от параметров последнего (прежде всего от сдвига ветра), но не полностью ими определяется. Играют роль и свойства источников гравитационных волн. Так, повторяемость ТЯН выше над горами, которые генерируют горные волны больших амплитуд. Вследствие сильной пространственной анизотропии ТЯН нередки случаи, когда один самолет, пролетая через данный квадрат, встречает турбулентность, а другие самолеты, даже на том же эшелоне, не встречают ее. Точно так же, если один или несколько самолетов не встречают ТЯН в данном квадрате, нельзя быть уверенным, что следующий самолет не испытает болтанки.

В целом ТЯН – редкое явление. Повторяемость умеренной и сильной ТЯН, по материалам сбора сведений от пилотов рейсовых самолетов [4], над территорией СССР составляла в среднем за год 2,5 %, с максимумом в сентябре и минимумом в декабре. Над территорией США годовой ход ТЯН в целом аналогичен, а повторяемость значительно выше. Кроме того, отмечена меньшая горизонтальная протяженность зон ТЯН над США. Обе эти особенности могут объясняться преобладанием неустойчивости гравитационных волн, генерируемых меридионально ориентированными хребтами. В бывшем СССР также была отмечена повышенная повторяемость ТЯН и меньшие размеры турбулентных зон над горными массивами Кавказа и Средней Азии.

Прогноз ТЯН сводится к определению в прогностических полях некоторых косвенных признаков, указывающих на повышенную (по сравнению с окружением) вероятность существования турбулентных зон. Широко распространенные в прошлом синоптические методы основаны на выделении тех участков термобарического поля, в которых возникновение ТЯН наиболее вероятно. В настоящее время

в ведущих мировых прогностических центрах прогноз ТЯН дается с помощью физико-статистических зависимостей путем расчета по выходным данным прогностических моделей определенных предикторов («индексов ТЯН»), связь которых с повторяемостью болтанки самолетов доказана статистически. Хотя, с точки зрения теории, важнейшим предиктором ТЯН является число Ri , однако на практике его эффективность ограничена из-за низкой точности расчета по данным с недостаточным для этой цели вертикальным разрешением. Наряду с числом Ri используются другие параметры, обзор которых дан в [1].

В СССР в 1980-е гг. на основе очень большой выборки данных (более 22 000 рапортов пилотов о наличии ТЯН) была разработана схема прогноза ТЯН с учетом топографии поверхностей 400 и 300 гПа (автор – Т.В. Лешкевич [2]). Был создан алгоритм классификации ситуаций, основанный на критериях, учитывающих конфигурацию изогипс, конфигурацию и структуру струйного течения, особенности поля температуры. Для каждого из девяти классов была получена дискриминантная функция от трех предикторов, характеризующих температурно-ветровую стратификацию. Кроме того, путем учета географического распределения природной повторяемости ТЯН, производилась детализация схемы по степени влияния орографии и других региональных факторов. По объему использованного статистического материала, детальности и статистической обеспеченности прогностических зависимостей эта схема в ее диагностическом варианте до сих пор остается непревзойденной.

В поисках оптимальных алгоритмов для расчета показателей ТЯН по прогностическим данным утраченная схема Лешкевич была восстановлена. Удалось провести расчеты для области, для которой указанная схема была реализована, а также для Северного полушария. Однако расчеты показали, что региональная зависимость природной повторяемости ТЯН является решающим фактором, обеспечивающим успешность схемы. А поскольку эта зависимость за пределами области, рассматриваемой Т.В. Лешкевич, нам неизвестна, распространить схему на все полушарие не удастся. Поэтому с учетом вероятности неэффективной работы схемы при ее распространении на полушарие и ориентировке на современные численные модели параллельно были разработаны программы расчета индексов ТЯН, используемых в мировых прогностических центрах Великобритании – УКМО [6], а также

в метеослужбах США и Канады [7]. Для практического использования предполагалось выбрать тот метод, который бы обеспечивал наилучшее разделение случаев наличия и отсутствия ТЯН на выборках фактических самолетных данных о болтанке.

Информация о наличии либо отсутствии ТЯН извлекалась из данных в коде AMDAR, поступающих из систем измерений, установленных на самолетах, летающих над территорией США и Канады. Именно эта техника измеряет турбулентность в единицах, предписанных Техническим регламентом ВМО [5]. В [5] также дается интерпретация данных о максимальной и мгновенной EDR (скорости вихревой диссипации, измеряемой самолетными пульсационными датчиками), в терминах «индекса турбулентности» (табл. 1).

Таблица 1

Индекс турбулентности, определяемый средним и максимальным значением EDR ($\text{м}^2/\text{с}^{-1}$)

Средние EDR	Максимальное значение EDR							Отсутствие показаний
	<0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5	0,5–0,8	>0,8	
<0,1	0	1	3	6	10	15	21	
0,1–0,2		2	4	7	11	16	22	
0,2–0,3			5	8	12	17	23	
0,3–0,4				9	13	18	24	
0,4–0,5					14	19	25	
0,5–0,8						20	26	
>0,8							27	
Отсутствие показаний								28

Примечание. Выделены категории, соответствующие сильной турбулентности.

На основании этих данных ВМО рекомендует следующие связи индексов наблюдаемой турбулентности и данных EDR с интенсивностью ТЯН. Турбулентность следует считать:

а) сильной, когда индекс турбулентности равен 15–27 (максимальное значение EDR превышает 0,5);

б) умеренной, когда индекс турбулентности равен 6–14 (максимальное значение EDR удовлетворяет соотношению $0,3 < \text{EDR} \leq 0,5$);

в) слабой, когда индекс турбулентности равен 1–5 (максимальное значение EDR равно 0,1–0,3);

г) нулевой, когда индекс турбулентности равен 0 (максимальное значение $EDR < 0,1$).

С учетом малой природной повторяемости ТЯН и ее влияния на полет ВС были отобраны только случаи, относящиеся к умеренной или сильной турбулентности, т.е. те, где соблюдалось условие $EDR > 0,3$. Таких случаев в окончательной выборке данных AMDAR, разнесенных по квадратам сетки объективного анализа (общим количеством 75281), оказалось 1235.

Следует учитывать, что ТЯН – это турбулентность вне зон активной конвекции, и следует исключить из анализа квадраты, в которых имеет место конвективная неустойчивость, хотя бы и неглубокая. Поэтому из рассмотрения исключались квадраты как с наличием, так и с отсутствием ТЯН, если в центре квадрата значение рассчитанного уровня нулевой плавучести, интерпретируемого как верхняя граница конвекции, превышало 2 км.

Анализ данных AMDAR показал, что индексы ТЯН ($DVSI$ – deformation vertical shear index и индекс Даттона), оперативно используемые в ведущих прогностических центрах, являются значимыми предикторами повышенной повторяемости ТЯН и, следовательно, могут быть использованы в технологии производства карт SWH и SWM в ГУ «Гидрометцентр России». Причем индекс $DVSI$, используемый в США и Канаде, показал более высокую информативность как предиктор ТЯН, в сравнении с индексом Даттона (E), используемым в УКМО.

Индекс $DVSI$ [7] представляет собой произведение деформации ветра, его вертикального сдвига и скорости, нормализованной на ее характерное значение, как это видно из следующих выражений:

$$DVSI = (DEF) \cdot (VS) \cdot \frac{V}{45}, \quad (1)$$

$$\text{где } DEF = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)^2} - \text{деформация ветра}; \quad (2)$$

$$VS = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2} - \text{вертикальный сдвиг ветра}. \quad (3)$$

Авторами был предложен следующий алгоритм расчета карты зон ТЯН в цифровом виде.

В качестве исходных данных для расчета используются прогностические поля ветра с шагом 1,25 градуса по широте и долготе (согласно требованиям Технического регламента ВМО [5]) глобальных моделей, оперативно функционирующих в ГУ «Гидрометцентр России»: глобальной спектральной модели в конфигурации Т85L31 и полугранжевой глобальной модели атмосферы ПЛАВ на всех уровнях, начиная с 850 гПа.

Порядок расчета следующий.

1. Расчет значений DVSI производится на поверхностях 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 и 70 гПа по всей области. Уровни 850 и 70 гПа необходимы для построения в дальнейшем профиля DVSI в слоях 700–400 гПа (средние уровни) и 400–100 гПа (верхние уровни атмосферы). Величина DVSI рассчитывается с помощью кубической сплайн-аппроксимации зависимости составляющих скорости ветра от горизонтальной и вертикальной координат.

2. На вертикальном профиле в каждом узле сетки определяется наличие значений DVSI, превосходящих критические хотя бы на одном уровне. Критическое значение индекса $DVSI_{кр}$, разделяющее условия наличия и отсутствия ТЯН, были определены на большом материале авторских испытаний. Оказалось, что из-за занижения скоростей ветра в глобальных моделях прогностические пороговые значения $DVSI_{кр}$, выработанные по принципу соответствия площадей ТЯН в анализе и прогнозе, гораздо ниже диагностических. Критическое DVSI при расчете по прогностическим полям Т85L31 предлагается равным 12, при расчете по прогностическим полям ПЛАВ – равным 15.

3. Формируется файл результатов расчета, каковыми являются значения верхней и нижней границ слоя сверхкритических DVSI в каждом узле сетки. Если для данного узла не найдено сверхкритических DVSI ни на одном уровне, то для такого узла в файл расчетов заносится нуль. Если же данному узлу сетки соответствуют сверхкритические DVSI на одном или нескольких уровнях, то производится построение непрерывного профиля DVSI в слое 850–70 гПа с помощью кубических сплайн-функций. Затем определяются уровни, на которых DVSI переходит через критическое значение: эти уровни имеют смысл верхней и нижней границ слоя повышенной вероятности умеренной и сильной ТЯН над данным узлом. Высоты указанных уровней заносятся

в файл результатов в зависимости от их значения – для верхних или для средних уровней. В качестве аргумента в сплайн-функциях используется давление, а высоты границ слоя записываются в единицах FL (гектофутах) в соответствии с Техническим регламентом ВМО [5].

По результатам авторских испытаний, для оперативной проверки качества прогноза ТЯН были предложены обе отечественные глобальные модели. Модель UKMO, показавшая наилучшие результаты, не годится для оперативного применения вследствие грубого горизонтального разрешения данных, доступных в ГУ «Гидрометцентр России» ($2,5^\circ \times 2,5^\circ$). Для сравнения были проведены расчеты по модели NCEP на одноградусной сетке, которая в настоящее время тоже не может быть использована в оперативной работе ЛЗП из-за недостаточно своевременного поступления данных по каналам связи.

Оперативные испытания метода предусматривали расчет условий возникновения ТЯН, определяемых через пороговые значения индекса DVSI, рассчитываемого при использовании полей составляющих скорости ветра по территории Северного полушария и России по выходным данным моделей T85L31 и ПЛАВ с заблаговременностью 24 ч.

В базу данных записывались поля результатов расчетов на каждой из изобарических поверхностей в дихотомических переменных: 0 означает невыполнение условий (1), 1 – выполнение. Параллельно рассчитывались аналогичные поля по данным объективного анализа. Для оценки точности прогноза сравнивались результаты расчета (1) в узлах сетки по прогностическим полям и по полям объективного анализа на указанных выше изобарических поверхностях.

Рассчитывались следующие характеристики успешности: оправдываемость прогнозов наличия явления, отсутствия явления, общая оправдываемость, предупрежденность наличия и отсутствия явления, критерии Пирси–Обухова и Хайдке–Багрова. Расчеты выполнялись по каждой изобарической поверхности (700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 и 100 гПа). Результаты расчетов по прогностическим полям ветра отечественных моделей сравнивались с расчетами по данным оперативного объективного анализа на сетке с шагом $1,25$ градуса, а для модели NCEP – с ее собственным анализом на одноградусной сетке.

Результаты испытаний, представленные в табл. 2, показали, что успешность прогнозов зон ТЯН по модели ПЛАВ (версия 2008 года)

Таблица 2

Результаты испытания прогнозов ТЯН на 24 ч по моделям Т85L31, ПЛАВ и НСЕР

Уровни, гПа	Общая оправдываемость			Критерий Пирси–Обухова			Критерий Хайлке–Багрова		
	Т85L31	ПЛАВ	НСЕР	Т85 L31	ПЛАВ	НСЕР	Т85 L31	ПЛАВ	НСЕР
Северное полушарие (7721502 узла сетки размером 1,25°×1,25°, 11859120 узлов сетки размером 1°×1°)									
700	98,9	99,2	98,9	0,217	0,295	0,494	0,232	0,353	0,474
500	96,4	97,4	97,6	0,448	0,546	0,613	0,402	0,536	0,585
400	93,1	94,9	95,3	0,471	0,577	0,648	0,464	0,587	0,630
300	93,1	93,7	94,5	0,319	0,491	0,599	0,372	0,502	0,585
250	92,1	93,2	94,3	0,374	0,521	0,624	0,419	0,537	0,616
200	94,5	95,4	96,1	0,431	0,524	0,611	0,439	0,533	0,599
150	97,0	97,8	98,2	0,525	0,506	0,572	0,416	0,485	0,541
100	99,3	99,7	99,5	0,336	0,398	0,398	0,129	0,175	0,344
Россия (1702998 узлов сетки размером 1,25°×1,25°, 2612192 узла сетки размером 1°×1°)									
700	98,5	98,7	98,3	0,141	0,246	0,495	0,183	0,317	0,464
500	94,9	96,2	96,0	0,347	0,466	0,573	0,355	0,495	0,544
400	88,8	91,4	91,8	0,387	0,513	0,602	0,400	0,536	0,588
300	88,2	89,4	90,3	0,305	0,449	0,569	0,354	0,473	0,554
250	86,9	88,8	90,3	0,334	0,484	0,604	0,379	0,509	0,594
200	91,5	92,8	93,8	0,388	0,492	0,609	0,414	0,514	0,592
150	95,6	96,7	97,3	0,504	0,599	0,656	0,487	0,556	0,612
100	99,2	99,7	99,6	0,278	0,274	0,442	0,074	0,158	0,367

превышает аналогичные показатели модели Т85L31 ввиду более существенного занижения скоростей сильных ветров в тропосфере и нижней стратосфере в прогнозах Т85L31. Наиболее высокие показатели обеспечивала модель NCEP. Отметим, что у всех сравниваемых моделей успешность прогнозов зон ТЯН на изобарической поверхности 100 гПа была низкой из-за слишком малой повторяемости случаев умеренной и сильной турбулентности в ясном небе на этом уровне.

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета на своем заседании 1 декабря 2009 года одобрила представленный метод прогноза зон умеренной и сильной турбулентности в ясном небе, а также рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» внедрить его на базе полулагранжевой глобальной модели в оперативную практику в качестве основного и использовать в технологии выпуска карт особых явлений погоды на верхних и средних уровнях атмосферы заблаговременностью до 30 ч для метеорологического обеспечения авиации.

Список литературы

1. *Васильев А.А., Лешкевич Т.В., Шакина Н.П.* Турбулентность ясного неба и ее прогноз // ВНИИГМИ-МЦД. Обзорная информация. Сер. Метеорология. – 1983. – 42 с.
2. *Лешкевич Т.В.* Автоматизированный способ прогноза вероятности турбулентности в ясном небе // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 10. – С. 44–54.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации // *Абрамович К.Г., Васильев А.А.* (ред.). – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.
4. *Пинус Н.З.* Физическая модель турбулентности ясного неба // Метеорология и гидрология. – 1971. – № 6. – С. 57–66.
5. Технический регламент ВМО-№ 49. Том 2. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации. – 2004.
6. *Dutton M.J.O.* Probability forecasting of clear air turbulence based on numerical model output // Meteorol. Mag. – 1980. – Vol. 109. – P. 293–310.
7. *Ellrod G.P., Knapp D.I.* An objective clear-air turbulence forecasting technique: verification and operational use // Weather and Forecasting. – 1992. – Vol. 7. – P. 150–165.
8. *Knox J. A.* Possible mechanisms of clear-air turbulence in strongly anticyclonic flow // Mon. Wea. Rev. – 1997. – Vol. 125. – P. 1251–1259.

Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, А.Р. Иванова, И.А. Горлач

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ПРОГНОЗА ЗОН ВОЗМОЖНОГО ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

В соответствии с Планом испытаний на 2009 год, в ГУ «Гидрометцентр России» проводились оперативные испытания метода прогноза зон возможного обледенения воздушных судов (ВС) по моделям ПЛАВ и NCEP в период с 1 апреля по 31 декабря 2009 года. Метод является составной частью технологии расчета карты особых явлений (ОЯ) на средних уровнях атмосферы (Significant Weather at the Middle levels – SWM [7]) для авиации. Технология была разработана в отделе авиационной метеорологии (ОАМ) в 2008 году в рамках темы НИР 1.4.1 для внедрения в Лаборатории зональных прогнозов. Метод применим также для прогноза обледенения на нижних уровнях атмосферы. Разработка технологии расчета прогностической карты ОЯ на нижних уровнях (Significant Weather at the Low levels – SWL) запланирована на 2010 год.

Обледенение воздушных судов может наблюдаться при необходимом условии, состоящем в наличии переохлажденных облачных капель в нужном количестве. Это условие не является достаточным. Чувствительность различных типов самолетов и вертолетов к обледенению неодинакова. Она зависит как от характеристик облака, так и от скорости полета и аэродинамических характеристик ВС [1, 6]. Поэтому прогнозируется лишь «возможное» обледенение в слоях, где выполняется его необходимое условие. Такой прогноз должен слагаться в идеале из прогноза наличия облаков, их водности, температуры, а также фазового состояния облачных элементов.

На ранних стадиях развития расчетных методов прогноза обледенения [6] их алгоритмы опирались на прогноз температуры и точки

росы, синоптический прогноз облачности и статистические данные о микрофизике облаков и повторяемости обледенения ВС. Опыт показал, что такой прогноз в то время был малоэффективным.

Однако и впоследствии, вплоть до настоящего времени, даже лучшие численные модели мирового класса не обеспечивали надежного прогноза наличия облаков, их водности и фазы [11–13]. Поэтому прогноз обледенения в мировых центрах (для построения карт ОЯ; мы здесь не касаемся сверхкраткосрочного прогноза и наукастинга, состояние которых охарактеризовано в [9, 10, 12]) в настоящее время по-прежнему основывается на прогнозе температуры и влажности воздуха, а также, по возможности, простейших характеристик облачности (слоистая, конвективная). Успешность такого прогноза, однако, оказывается практически значимой, поскольку точность предвычисления температуры и влажности воздуха сильно повысилась, по сравнению с состоянием, соответствующим времени написания [6].

В [14] представлены основные алгоритмы современных методов прогноза обледенения. Для целей построения карт SWM и SWL нами были отобраны те из них, которые применимы к нашим условиям, т. е. базируются только на выходной продукции численных моделей. Алгоритмы расчета «потенциала обледенения», комбинирующие модельные и реальные данные в режиме наукастинга, в данном контексте неприменимы.

В качестве выборок данных об обледенении самолетов, использованных для оценки сравнительной успешности алгоритмов, перечисленных в [14], а также известных ранее (в том числе известной формулы Годске) [5, 6], были взяты:

1) данные системы TAMDAR, установленной на самолетах, летающих над территорией США в пределах нижних 20 тыс. футов;

2) база данных самолетного зондирования над территорией СССР в 60-х гг. XX столетия, созданная в 2007 г. в ОАМ в рамках темы 1.1.1.2 [5].

В отличие от системы AMDAR, система TAMDAR включает датчики обледенения и точки росы. Данные TAMDAR удалось собрать за период с августа по октябрь 2005 года, за 2006 год и январь 2007 года с сайта <http://amdar.noaa.gov>. С февраля 2007 года доступ к данным был закрыт для всех пользователей, кроме правительственных организаций США. Данные были собраны сотрудниками ОАМ и представлены

в виде базы, пригодной для компьютерной обработки, путем ручной выборки с упомянутого выше сайта следующей информации: время, географические координаты, высота по GPS, температура и влажность воздуха, давление, ветер, обледенение и турбулентность.

Остановимся вкратце на особенностях системы TAMDAR, совместимой с международной системой AMDAR и оперативно работающей на самолетах гражданской авиации США с декабря 2004 года. Система разработана в соответствии с требованиями ВМО, а также NASA и NOAA США. Отсчеты датчиков производятся через заданные интервалы давления (10 гПа) на режимах набора высоты и снижения и через заданные промежутки времени (1 мин) на режиме горизонтального полета. Система включает многофункциональный датчик, устанавливаемый на передней кромке крыла самолета, и микропроцессор, обрабатывающий сигналы и передающий их в пункт обработки и распространения данных, расположенный на земле (система AirDat). Неотъемлемой частью является также спутниковая система GPS, работающая в реальном времени и обеспечивающая пространственную привязку данных.

Имея в виду дальнейший анализ данных TAMDAR совместно с данными ОА и численного прогноза, мы ограничивались выпиской данных только в окрестности ± 1 ч от сроков 00 и 12 ч ВСВ. Собранный таким путем массив данных включает 718417 отдельных отсчетов (490 дат), в том числе 18633 отсчета с наличием обледенения. Практически все они относятся к сроку 12 ч ВСВ. Данные группировались по квадратам широтно-долготной сетки размером $1,25^\circ \times 1,25^\circ$ и по высоте в окрестностях стандартных изобарических поверхностей 925, 850, 700 и 500 гПа. Окрестностями считались слои 300–3000, 3000–7000, 7000–14000 и 14000–21000 футов соответственно. Выборка содержит 86185, 168565, 231393, 232274 отсчетов (случаев) в окрестностях 500, 700, 850 и 925 гПа соответственно.

Для анализа данных TAMDAR об обледенении необходимо учитывать следующую их особенность. Датчик обледенения фиксирует наличие льда слоем не менее 0,5 мм. С момента появления льда и до момента его полного исчезновения (т. е. в течение всего периода наличия обледенения) датчики температуры и влажности не работают. Динамика отложений (скорость нарастания) в этих данных не отражена.

Таким образом, не только нет данных об интенсивности обледенения, но нет и данных о температуре и влажности за период обледенения, что предопределяет необходимость анализа данных TAMDAR совместно с независимыми данными об указанных величинах. В качестве таковых использовались данные ОА из базы ГУ «Гидрометцентр России» о температуре воздуха и относительной влажности. Выборка, включающая данные TAMDAR о предиктанте (обледенении) и данные ОА о предикторах (температуре и относительной влажности), будет обозначаться в данном отчете как выборка TAMDAR–ОА.

В выборку данных самолетного зондирования (СЗ) над территорией СССР были включены все отсчеты, содержащие информацию о наличии либо отсутствии обледенения, а также о температуре и влажности воздуха, независимо от наличия облаков. Поскольку в нашем распоряжении нет данных реанализа за период 1961–1965 гг., не было смысла ограничиваться окрестностями сроков 00 и 12 ч МСВ или окрестностями стандартных изобарических поверхностей. Данные самолетного зондирования, таким образом, использовались непосредственно как измерения *in situ*. Выборка данных СЗ включала более 53 тыс. отсчетов [4].

В качестве предикторов из данных численного прогноза использовались прогностические поля геопотенциала, температуры воздуха и относительной влажности с заблаговременностью 24 ч глобальных моделей: полулагранжевой (в узлах сетки $1,25^\circ \times 1,25^\circ$) и модели NCEP (в узлах сетки $1^\circ \times 1^\circ$) за периоды сбора информации и сравнения моделей в апреле, июле и октябре 2008 года (с 1 по 10 число месяца).

В результате получены следующие результаты, имеющие методическое и научное значение:

1. Температура и влажность воздуха (относительная влажность или температура точки росы) являются значимыми предикторами зон возможного обледенения ВС при условии, что эти предикторы измерены *in situ* (рис. 1). Все испытываемые алгоритмы, включая формулу Годске, на выборке данных самолетного зондирования показали вполне практически значимую успешность разделения случаев наличия и отсутствия обледенения. Однако в случае данных TAMDAR об обледенении, дополненных данными объективного анализа температуры и относительной влажности, успешность разделения понижена, в

особенности на уровнях 500 и 700 гПа (рис. 2–5), вследствие того, что значения предикторов осреднены по пространству (в пределах квадрата сетки $1,25^\circ \times 1,25^\circ$) и могут отстоять по вертикали и по времени от момента наблюдения на 1 км и 1 ч соответственно; сверх того, точность объективного анализа относительной влажности существенно понижается с высотой.

Самолетное зондирование

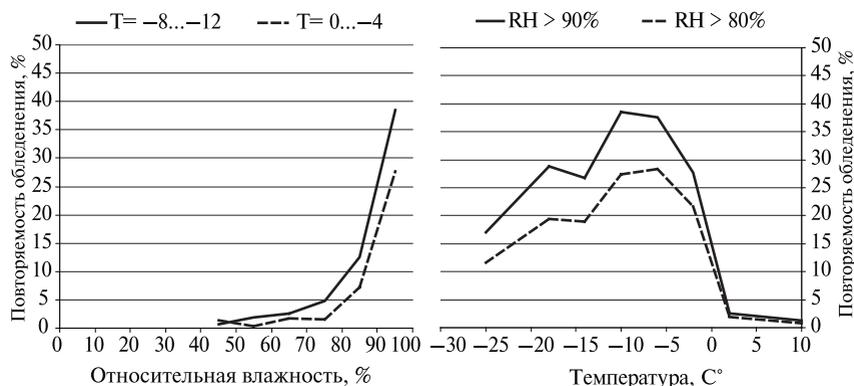


Рис. 1. Повторяемость обледенения в зависимости от относительной влажности в фиксированных интервалах температур (слева) и от температуры в фиксированных интервалах относительной влажности по данным самолетного зондирования

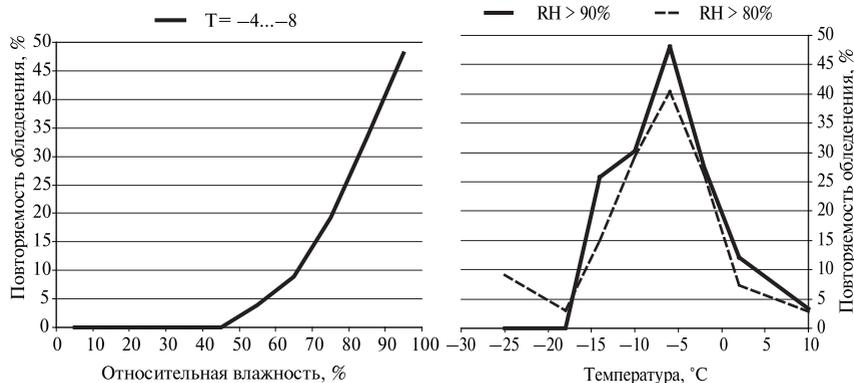


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но по данным TAMDAR–OA на уровне 925 гПа

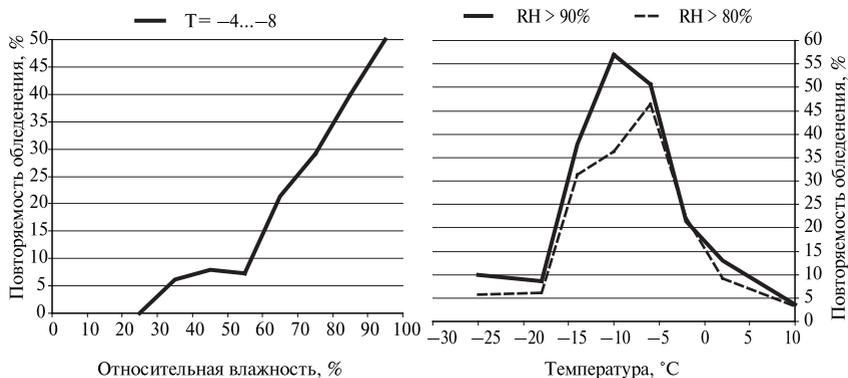


Рис. 3. То же, что на рис. 2, но на уровне 850 гПа

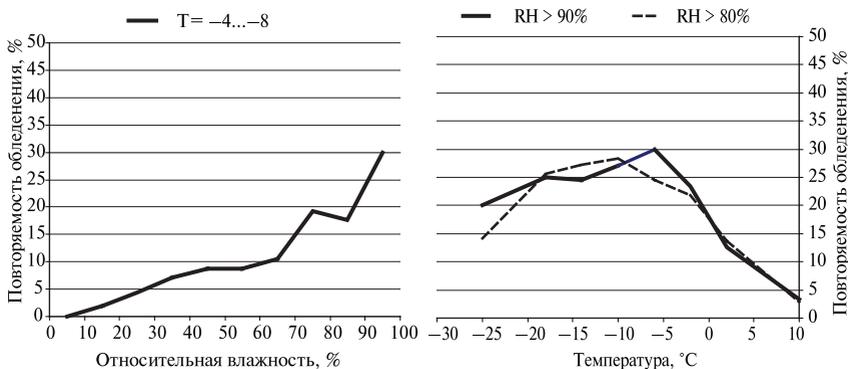


Рис. 4. То же, что на рис. 2, но на уровне 700 гПа

2. Хотя обледенение ВС может наблюдаться в широком интервале отрицательных температур, его вероятность максимальна в сравнительно узких интервалах температуры и относительной влажности ($-5...-10$ °C и >85 % соответственно). Вне этих интервалов вероятность обледенения быстро понижается. При этом зависимость от относительной влажности представляется более сильной, а именно при $RH > 70$ % наблюдалось 90,6 % всех случаев обледенения. Эти выводы получены на выборке данных самолетного зондирования; они находят полное качественное подтверждение на данных TAMDAR–OA. Факт хорошего согласия результатов анализа двух выборок данных, полученных различными методами в

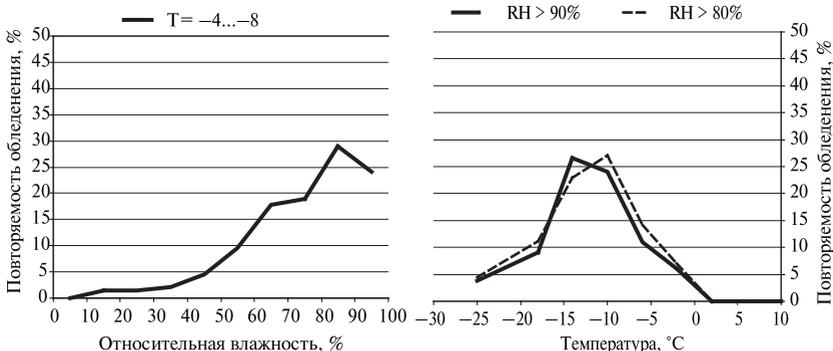


Рис. 5. То же, что на рис. 2, но на уровне 500 гПа

сильно различающихся географических условиях и в разные периоды времени, показывает репрезентативность обеих используемых выборок для характеристики физических условий обледенения самолетов.

На основании результатов выполненного тестирования различных алгоритмов для расчета зон обледенения и с учетом имеющихся данных о зависимости интенсивности обледенения от температуры воздуха выбран и рекомендован к практическому использованию наиболее надежный алгоритм, ранее хорошо зарекомендовавший себя в международной практике (алгоритм, разработанный в NCEP). Он оказался наиболее успешным (значения критерия качества Пирси–Обухова составили 0,54 на выборке данных самолетного зондирования и 0,42 на выборке данных TAMDAR–OA). В соответствии с этим алгоритмом прогноз зон возможного обледенения самолетов представляет собой диагноз указанных зон по прогностическим полям температуры (T , °C) и относительной влажности (RH, %) на изобарических поверхностях 500, 700, 850, 925 (900) гПа в узлах модельной сетки.

Узлами сетки, принадлежащими к зоне возможного обледенения самолетов, считаются узлы, в которых выполняются следующие условия:

$$-16^{\circ}\text{C} \leq T \leq 0^{\circ}\text{C} \quad \text{и} \quad \text{RH} \geq 63\%. \quad (1)$$

Неравенства (1) получены в NCEP в рамках программы RAP (Research Application Programme) [14] на большой выборке данных измерений с помощью самолетных датчиков обледенения, температуры,

влажности воздуха и применяются на практике для расчетов прогностических карт особых явлений для авиации. Показано, что повторяемость обледенения самолетов в зонах выполнения неравенств (1) на порядок выше, чем вне этих зон.

Программа оперативных испытаний метода прогноза зон возможного обледенения самолетов с использованием (1) имеет определенные особенности, отличающие ее от стандартных программ испытаний новых и усовершенствованных методов прогноза. Прежде всего, алгоритм не является оригинальной разработкой ГУ «Гидрометцентр России». Он в достаточной степени проверен и оценен на разных выборках данных [14].

Далее успешность разделения случаев наличия и отсутствия обледенения ВС не может являться в данном случае объектом оперативных испытаний ввиду невозможности получения оперативных данных об обледенении ВС. Единичные, нерегулярные рапорты пилотов, поступающие в МЦ АУВД, не могут в обозримое время составить репрезентативную выборку данных. Объективные данные типа TAMDAR над территорией России отсутствуют. Невозможно получить такие данные и над территорией США.

Однако, учитывая, что решающее правило (1) получено на большом архиве данных и внедрено в практику NCEP, причем его успешность многократно подтверждена на независимых данных (в том числе и в рамках темы 1.4.1 на выборках СЗ и TAMDAR—ОА), можно полагать, что в диагностическом плане статистическая связь между вероятностью обледенения и выполнением условий (1) является достаточно тесной и достаточно надежно оценена для практического применения.

Остается невыясненным вопрос о том, насколько правильно воспроизводятся в численном прогнозе зоны выполнения условий (1), выделенные по данным объективного анализа.

Иначе говоря, объектом испытаний должен являться численный прогноз зон, в которых выполняются условия (1). То есть, если в диагностическом плане решающее правило (1) является эффективным, то необходимо оценить успешность прогноза этого правила численными моделями.

Авторские испытания в рамках темы 1.4.1 показали, что модель ПЛАВ достаточно успешно прогнозирует зоны возможного обледенения ВС, определяемые через условия (1), однако уступает в этом отношении модели NCEP [3, 8]. Поскольку в настоящее время оперативные

данные модели NCER поступают в ГУ «Гидрометцентр России» достаточно рано, можно полагать, что, при условии значительного перевеса в точности прогноза, целесообразно использовать эти данные для расчета карт ОЯ. Поэтому было сочтено целесообразным выполнить оценку успешности прогноза зон выполнения условий (1) как по модели ПЛАВ, так и по модели NCER. В принципе, следовало бы включить в программу и спектральную модель T169L31. Однако серьезные недостатки прогноза поля влажности не позволяют пока считать эту модель перспективной для прогноза обледенения.

В базу данных записывались поля результатов расчетов на каждой из четырех указанных изобарических поверхностей в дихотомических переменных: 0 означает невыполнение условий (1), 1 – выполнение. Параллельно рассчитывались аналогичные поля по данным объективного анализа. Для оценки точности прогноза необходимо сравнить результаты расчета (1) в узлах сетки по прогностическим полям и по полям объективного анализа на каждой изобарической поверхности.

В качестве фактических данных о зонах возможного обледенения ВС использовались результаты расчетов соотношений (1) по данным объективного анализа. Применительно к модели ПЛАВ это результаты расчетов (1) в узлах сетки с шагом 1,25 градуса, применительно к модели NCER – в узлах сетки с шагом 1 градус; в обоих случаях расчет производится на изобарических поверхностях 500, 700, 850, 925 гПа.

Прогнозы оценивались в рамках технологии оценки для дихотомических переменных. Оценки выполнялись и анализировались в лаборатории испытаний и оценки методов прогнозов ГУ «Гидрометцентр России».

Для определения успешности прогнозов зон возможного обледенения самолетов рассчитывались следующие характеристики: оправдываемость прогнозов наличия явления, отсутствия явления, общая оправдываемость, предупрежденность наличия и отсутствия явления, критерий качества Пирси–Обухова и критерий надежности Хайдке–Багрова. Оценки выполнялись для каждой изобарической поверхности (500, 700, 850, 925 гПа) и отдельно для прогнозов, стартующих в 00 и 12 ч ВСВ. Результаты испытаний представлены в таблице для трех областей прогноза – Северного полушария, России и ее Европейской территории (ЕТР) при заблаговременности прогноза 24 ч.

Характеристики успешности прогнозов зон возможного обледенения самолетов на 24 ч по моделям ПЛАВ и NCEP на изобарических поверхностях 850, 700, 500 и 400 гПа

Уровень, гПа	Повторяемость по анализу		Общая оправдываемость прогнозов				Оправдываемость				Предупрежденность				Критерий			
			наличия обледенения		отсутствия обледенения		наличия обледенения		отсутствия обледенения		Пирси – Обухова		Хайнке – Варова					
	ГМЦ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP	ПЛАВ	NCEP		
Россия (1702998 узлов сетки модели ПЛАВ, 2612192 узла сетки модели NCEP)																		
Северное полушарие (7721502 узлов сетки модели ПЛАВ, 11859120 узлов сетки модели NCEP)																		
850	17,7	17,8	92,8	96,3	79,2	88,5	95,8	98,0	80,2	91,0	95,5	97,4	0,758	0,884	0,754	0,874		
700	21,4	21,4	89,6	93,2	75,9	85,6	93,3	95,2	75,2	82,2	93,5	96,2	0,687	0,784	0,689	0,796		
500	18,8	17,8	88,0	91,9	68,9	79,0	92,3	94,4	66,5	74,0	93,0	95,7	0,596	0,698	0,604	0,716		
400	8,4	6,7	93,7	96,2	65,6	73,5	95,7	97,7	51,7	67,6	97,5	98,3	0,493	0,659	0,545	0,684		
Россия (1702998 узлов сетки модели ПЛАВ, 2612192 узла сетки модели NCEP)																		
850	20,3	20,7	91,3	95,2	79,7	87,8	94,2	97,2	76,9	89,3	95,0	96,8	0,719	0,861	0,729	0,855		
700	32,7	32,5	84,6	89,7	78,1	86,9	87,5	91,0	73,5	80,5	90,0	94,2	0,635	0,747	0,644	0,761		
500	10,6	13,2	90,4	93,2	53,7	75,3	95,6	95,8	63,8	72,6	93,5	96,4	0,573	0,690	0,530	0,701		
400	0,9	1,4	99,1	99,2	50,6	73,1	99,6	99,6	56,8	73,7	99,5	99,6	0,563	0,733	0,531	0,730		
ЕТР (398574 узла сетки модели ПЛАВ, 608522 узла сетки модели NCEP)																		
850	18,1	18,2	92,2	95,6	80,0	88,0	94,7	97,3	75,8	88,0	95,8	97,3	0,716	0,853	0,731	0,853		
700	31,3	32,6	84,2	88,9	76,5	87,0	87,4	89,7	71,5	77,7	90,0	94,4	0,615	0,720	0,626	0,741		
500	7,4	9,7	91,4	93,7	43,0	68,1	95,9	96,2	49,7	64,8	94,7	96,7	0,444	0,615	0,414	0,629		

Из таблицы видно, что повторяемость обледенения по объективному анализу обеих моделей близка, причем она максимальна на поверхности 700 гПа, минимальна на поверхности 400 гПа. При расчете по полушарию на втором месте по повторяемости обледенения стоит поверхность 500 гПа, затем – 700 гПа, что, очевидно, объясняется большим вкладом глубокой конвекции в тропиках. При расчете по России и ЕТР на втором месте по повторяемости обледенения находится поверхность 850 гПа, а на поверхности 500 гПа повторяемость обледенения уже вдвое меньше. Все характеристики оправдываемости прогнозов оказались высокими. Хотя показатели успешности модели ПЛАВ несколько уступают модели NCEP, однако и они вполне практически значимы. На уровнях, где повторяемость обледенения высока и где оно представляет наибольшую опасность для ВС, показатели успешности следует признать очень высокими. Они заметно снижаются на поверхности 400 гПа, особенно в случае модели ПЛАВ, оставаясь значимыми (критерий Пирси по Северному полушарию понижается до 0,493, по России – до 0,563). По ЕТР результаты испытаний на уровне 400 гПа не приводятся ввиду того, что случаев наличия обледенения на этом уровне было крайне мало (37 узлов сетки модели NCEP за весь период), и результат оценки успешности прогноза статистически незначим. На остальных уровнях атмосферы результаты, полученные по ЕТР и России, очень близки.

Таким образом, оперативные испытания показали, что разработанный метод прогноза зон возможного обледенения ВС, реализующий алгоритм NCEP, обеспечивает достаточно высокую успешность прогноза, в том числе на выходных данных глобальной модели ПЛАВ, которая в настоящее время является основной прогностической моделью. Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета от 1 декабря 2009 года метод рекомендован к внедрению в оперативную практику лаборатории зональных прогнозов ГУ «Гидрометцентр России» для построения карт особых явлений для авиации.

Список литературы

1. Баранов А.М., Мазурин Н.И., Солонин С.В., Янковский И.А. Авиационная метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 281 с.

2. *Зверев Ф.С.* Синоптическая метеорология. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 711 с.
3. *Иванова А.Р.* Опыт верификации численных прогнозов влажности и оценка их пригодности для прогноза зон обледенения воздушных судов // Метеорология и гидрология. — 2009. — № 6. — С. 33–46.
4. Отчет о НИР: 1.1.1.7: Совершенствование методов и технологий прогнозов по аэродрому и на воздушных трассах (заключительный). № гос. регистрации 01.02.007 06153. — М., 2007. — 97 с.
5. Отчет о НИР 1.1.1.2: Разработка проекта технологии подготовки прогностической карты особых явлений погоды для полетов авиации на нижних уровнях (заключительный). № гос. Регистрации 01.2.007 06153. — М., 2007. — 112 с.
6. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации / *Абрамович К.Г., Васильев А.А.* (ред.). — Л.: Гидрометеиздат, 1985. — 301 с.
7. Технический регламент ВМО—№49. Том 2. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации. — 2004.
8. *Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А.* Оценка механизмов генерации вертикальных движений в глобальных моделях и их начальных полях в связи с численным прогнозом осадков // Метеорология и гидрология. — 2009. — № 7. — С. 14–32.
9. *Bernstein B.C., McDonough F., Politovich M.K., Brown B.G., Ratvasky T.P., Miller D.R., Wolff C.A., Cunning G.* Current icing potential: algorithm description and comparison with aircraft observations // *J. Appl. Meteorol.* — 2005. — Vol. 44. — P. 969–986.
10. *Le Bot C.* SIGMA: System of icing geographic identification in meteorology for aviation // 11th Conf. on Aviation, Range, and aerospace, Hyannis, Mass., 4–8 Oct. 2004. — Amer. Meteorol. Soc. (Boston). — 2004.
11. *Menzel W.P., Frei R.A., Zhang H., et al.* MODIS global cloud-top pressure and amount estimation: algorithm description and results // *Weather and Forecasting.* — 2008. — Vol. 2. — P. 1175–1198.
12. *Minnis P., Smith W.L., Young D.F., Nguyen L., Rapp A.D., Heck P.W., Sun-Mack S., Trepte Q., Chen Y.* A near real-time method for deriving cloud and radiation properties from satellites for weather and climate studies // *Proc. AMS 11th Conf. Satellite Meteorology and Oceanography*, Madison, WI, 15–18 Oct. 2001. — P. 477–480.
13. *Otkin J. A., Greenwald T. J.* Comparisons of WRF model-simulated and MODIS-derived cloud data. *Mon. Weather Rev.* — 2008. — Vol. 136, N. 6. — P. 1957–1970.
14. *Thompson G., Bruintjes R.T., Brown B.G., Hage F.* Intercomparison of in-flight icing algorithms. Part 1. WISP94 real-time icing prediction and evaluation program // *Weather and Forecasting.* — 1997. — Vol. 12. — P. 848–889.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Васильев П.П., Васильева Е.Л., И.А. Горлач И.А.</i> Среднесрочный прогноз температуры воздуха и результаты его испытания	3
<i>Багров А.Н.</i> Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г.)	16
<i>Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В., Горлач И.А.</i> Прогноз приземной температуры воздуха и среднего ветра для регионов внетропической части Северного полушария на основе полулагранжевой модели с постоянным разрешением ПЛАВ-2005 с заблаговременностью до 120 ч (авторы – М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева)	31
<i>Багров А.Н.</i> Результаты сравнения успешности прогнозов элементов приземной погоды, рассчитанных на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г.)	44
<i>Васильев П.П., Васильева Е.Л., И.А. Горлач И.А.</i> Метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации на основе технологии РЭП (автор – П.П. Васильев) и результаты его испытания	61
<i>Бураков Д.А., Гордеев И.Н.</i> Методика прогноза декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС (Саяно-Шушенское и Красноярское) в период открытого русла и результаты ее испытания	69
<i>Ушаков М.В.</i> О результатах производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы	77
<i>Старостина Т.В., Ковригина И.Г.</i> Результаты испытания долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС	84
<i>Лущицкая И.О., Белая Н.И., Александрова Е.А.</i> Технология контроля достоверности исторических данных высоты снежного покрова по постоянной рейке	91
<i>Горлач И.А., Шапотько Е.Н.</i> Успешность краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды и полей метеорологических величин в 2008 году	106
<i>Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А.</i> О результатах испытания метода прогноза турбулентности в ясном небе	132
<i>Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А.</i> О результатах испытания метода прогноза зон возможного обледенения воздушных судов	142

УДК 551.509.313

Среднесрочный прогноз температуры воздуха и результаты его испытания / Васильев П.П., Васильева Е.Л, Горлач И.А. // Информационный сборник № 37. –2010. – С. 3–15.

Излагается усовершенствованная прогностическая технология РЭП (расчет элементов погоды), разработанная в ГУ «Гидрометцентр России» для среднесрочного прогноза на основе статистической интерпретации результатов интегрирования гидродинамических моделей атмосферы. Описывается методология численных прогностических алгоритмов. Приведены результаты оперативных испытаний за период с июля 2007 г. по июнь 2008 г.

Метод прогноза температуры воздуха на декаду для территории России, реализованный на основе технологии РЭП, решением ЦМКП от 24 октября 2008 г. рекомендован к внедрению в оперативную практику в качестве основного.

Табл. 1. Ил. 6. Библ. 2.

УДК 551.509.323:551.509.324

Сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с октября 2007 г. по сентябрь 2008 г.) / Багров А.Н. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 16–30.

В ГУ «Гидрометцентр России» продолжена, начатая в 2007 г. [1], сравнительная оценка успешности прогнозов элементов погоды (приземной температуры и влажности воздуха, осадков, давления на уровне моря и ветра), рассчитанных на основе 11 отечественных и зарубежных моделей атмосферы, из них пять глобальных, одна региональная и пять мезомасштабных. Заблаговременность сравниваемых прогнозов составляла до трех суток; исходный срок прогнозов – 00 ч ВСВ. Период проведения испытаний – октябрь 2007 г. – сентябрь 2008 г. Область оценки – Европейская территория России. Оценка успешности прогнозов проводилась по данным наблюдений 432 синоптических станций, расположенных на этой территории. Дополнительно оценивались результаты прогноза температуры и осадков с использованием метода многомодельного ансамбля. Выполненное сравнение не выявило явных преимуществ успешности прогнозов по мезомасштабным моделям, по сравнению с прогнозами зарубежных глобальных моделей.

Табл. 16. Библ. 1.

УДК 551.509.313

Прогноз приземной температуры воздуха и среднего ветра для регионов ветротропической части Северного полушария на основе полулагранжевой модели с постоянным разрешением ПЛАВ-2005 с заблаговременностью до 120 ч (авторы – М.А. Толстых, Н.Н. Богословский, А.В. Шляева) / Толстых М.А., Богословский Н.Н., Шляева А.В., Горлач И.А. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 31–43.

Кратко описана разработанная в ГУ «Гидрометцентр России» совместно с ИВМ РАН и внедренная в оперативную практику глобальная полулагранжева конечно-разностная модель среднесрочного прогноза погоды (ПЛАВ). Помимо полей метеорологических величин в свободной атмосфере и давления на уровне моря, модель вырабатывает поля осадков (жидкой и твердой фазы), приземной температуры воздуха и ветра.

В статье изложена методика оперативных испытаний прогнозов температуры воздуха и скорости ветра. Приведены результаты испытаний прогнозов температуры воздуха и ветра заблаговременностью до 72 ч по регионам России и указанных прогнозов заблаговременностью до 120 ч по территории Европы, Азии и Северному полушарию.

ЦМКП Росгидромета рекомендовала ГУ «Гидрометцентр России» расширить внедренную технологию прогноза полей метеорологических величин в свободной атмосфере и осадков на основе глобальной модели ПЛАВ-2005 включением прогнозов полей приземной температуры и приземного ветра с заблаговременностью до 120 ч и размещать указанные прогнозы на веб-сайте ГУ «Гидрометцентр России».

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 8.

УДК 551.509.323:551.509.324

Результаты сравнения успешности прогнозов элементов приземной погоды, рассчитанных на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба (в период с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г.) / Багров А.Н. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 44–60.

Приведены результаты сравнительной оценки успешности прогнозов элементов погоды (приземной температуры и влажности воздуха, осадков, давления на уровне моря и ветра), рассчитанных на основе одиннадцати отечественных и зарубежных моделей атмосферы различного масштаба. Сравнение, в котором участвовали пять глобальных, одна региональная и пять мезомасштабных моделей атмосферы, выполнено в период с ноября 2008 г. по октябрь 2009 г. Заблаговременность сравниваемых прогнозов – до трех суток; исходный срок прогнозов – 00 ч ВСВ. Область оценки – Европейская территория России. Оценка успешности прогнозов проводилась по данным наблюдений 432 метеорологических станций, расположенных на указанной территории.

Отмечен наметившийся прогресс в успешности прогнозирования приземной температуры воздуха на основе экспериментальных мезомасштабных моделей и существенные преимущества мезомасштабной модели COSMO.RU при прогнозировании осадков.

Табл. 25. Библ. 2.

УДК 551.509.323

Метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток по административным центрам субъектов Российской Федерации на основе технологии РЭП (автор – П.П. Васильев) и результаты его испытания / Васильев П.П., Васильева Е.Л., Горлач И.А. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 61–68.

Метод прогноза экстремальной температуры воздуха до трех суток основан на реализации программно-технологического комплекса адаптивной статистической модели краткосрочного и среднесрочного прогноза и использует статистическую интерпретацию результатов интегрирования гидродинамических моделей атмосферы. Оперативные испытания метода прогноза минимальной и максимальной температуры воздуха с заблаговременностью 24, 48 и 72 ч проведены в период с июля 2007 г. по июнь 2008 г. Прогнозы рассчитывались по 81 административному центру Российской Федерации.

Сравнение успешности методических и синоптических прогнозов минимальной и максимальной температуры воздуха в течение периода испытаний по месяцам показало преимущество синоптических прогнозов T_{\min} перед методическими прогнозами T_{\min} в зимние месяцы (декабрь, январь, февраль) в среднем на 4–7%. В остальные месяцы года методические прогнозы T_{\min} , а также прогнозы T_{\max} имели преимущество перед синоптическими прогнозами. Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и телюгеофизическим прогнозам Росгидромета рекомендовала прогностическим подразделениям ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р и ЦГМС использовать прогнозы минимальной и максимальной температуры воздуха в оперативной практике в качестве объективной методической основы при подготовке и выпуске краткосрочных прогнозов погоды заблаговременностью до трех суток.

Табл. 1. Ил. 2. Библ. 2.

УДК 556.532.2

Методика прогноза декадного притока воды в водохранилища Енисейских ГЭС (Саяно-Шушенское и Красноярское) в период открытого русла и результаты ее испытания / Бураков Д.А., Гордеев И.Н. // Информационный сборник № 7. – 2010. – С. 69–76.

Представлена программная реализация разработанной ранее модели формирования стока применительно к декадному притоку воды в водохранилища Саяно-Шушенской и Красноярской ГЭС. Она базируется на использовании наземной информации пунктов наблюдений гидрометеорологической сети, спутниковой информации о динамике снегового покрытия территории бассейна в период снеготаяния и прогноза погоды Красноярского гидрометцентра на прогнозируемый период (температура воздуха и количество осадков на станциях бассейна водохранилищ). По результатам двухлетних оперативных испытаний оправдываемость прогноза декадного притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС составила 85 % в 2008 г. и 79 % – в 2007 году. Качество прогнозов притока воды в Саяно-Шушенское водохранилище несколько ниже: 69 % – в 2008 г. и 86 % – в 2007 году.

Технический совет Среднесибирского УГМС 13 ноября 2008 г. в своем решении отметил актуальность и своевременность проделанной работы. Он рекомендовал отделу гидрологических прогнозов Гидрометцентра Красноярского ЦГМС-Р использовать метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Красноярской ГЭС в качестве основного расчетного и метод декадного прогноза притока воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС в качестве вспомогательного расчетного метода на период июнь–август.

Табл. 2. Ил. 1. Библ. 9.

УДК 556.532.2

О результатах производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы / Ушаков М.В. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 77–83.

В статье представлены результаты авторских и производственных испытаний методики прогноза притока воды в Колымское водохранилище на третий квартал, июль и сентябрь месяцы соответственно за периоды 1995–2007 и 2008–2009 гг. Метод разработан в Гидрометеорологическом центре ГУ «Колымское УГМС» и основан на учете месячных индексов атмосферной циркуляции. Удовлетворительные результаты показали прогностические уравнения притока воды на третий квартал и июль месяц.

Табл. 3. Ил. 3. Библ.1.

УДК 631.559:551.509.32

Результаты испытания долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории ответственности Западно-Сибирского УГМС / Старостина Т.В., Ковригина И.Г. // Информационный сборник № 37. – 2010. – С. 84–90.

Кратко изложены основы регионального метода долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур. Представлены результаты авторских и оперативных испытаний методических прогнозов урожайности и валового сбора зерновых и зернобобовых культур по территории трех областей (Новосибирской, Кемеровской, Томской) и Алтайскому краю. Для каждой из указанных территорий испытывалось по три модели прогноза. Проведено сопоставление методических прогнозов с климатологическими и инерционными прогнозами. Выявлена модель с наиболее высокими результатами.

На основании полученных результатов испытания Технический совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-РСМЦ» 14 апреля 2009 г. рекомендовал к внедрению в оперативную практику метод долгосрочного прогноза валового сбора зерновых и зернобобовых культур в качестве основного расчетного метода: по территории Томской области – модель 4, по территории Новосибирской области – модель 7, по территории Кемеровской области – модель 10 и по территории Алтайского края – модель 13.

Табл. 2. Библ. 3.

УДК 551.578.46

Технология контроля достоверности исторических данных высоты снежного покрова по постоянной рейке / Лучицкая И.О., Белая Н.И., Александрова Е.А. // Информационный сборник № 37. — 2010. — С. 91–105.

Представлено описание технологии контроля достоверности многолетних наблюдений за высотой снежного покрова по постоянной рейке, содержащихся в региональном банке данных Западно-Сибирского УГМС. На базе информации выборочных станций на территории Сибирского федерального округа апробирован ряд методов контроля: фильтрация междусуточных изменений параметра, превышающих реально возможный уровень, статистические критерии выявления резко выделяющихся значений — «К-сигм» и модифицированный вариант квантильного анализа. На основе сравнительной оценки методов создан оптимальный комплексный способ и технология контроля данных высоты снежного покрова, обеспечивающие эффективность (соотношение ошибочных и сомнительных значений) на уровне 70 %.

Выполнены авторские испытания технологии по данным 64 станций Западно-Сибирского УГМС, по результатам которых эффективность верификации составила 87 %.

В отделе климата Гидрометцентра Новосибирского ЦГМС-РСМЦ проведено производственное испытание технологии контроля, дана оценка эффективности ее реализации. Для проведения испытаний использовался электронный банк данных по 25 станциям, имеющим период наблюдения с 1936 по 2007 г. Итоги испытания подтверждают достаточно высокую результативность технологии контроля исторических данных о высоте снежного покрова, показатель эффективности равен 93 %.

Технический совет ГУ «Новосибирский ЦГМС-Р» от 14 апреля 2009 г. рекомендовал внедрить в производственную практику Западно-Сибирского УГМС технологию контроля достоверности данных высоты снежного покрова.

Табл. 5. Ил. 3. Библ. 12.

УДК 551.509.5:551.509.323

Успешность краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды и полей метеорологических величин в 2008 году / Горлач И.А., Шаколько Е.Н. // Информационный сборник № 37. — 2010. — С. 106–131.

В статье представлены средние за 2008 год характеристики успешности краткосрочных прогнозов температуры воздуха, осадков, ветра и облачности, выпускаемых в ГУ «Гидрометцентр России», Гидрометбюро Москвы и Московской области оперативно-прогностическими подразделениями (ЦГМС-РСМЦ, ЦГМС-Р и ЦГМС) межрегиональных территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Кроме того, представлены успешности оперативных среднесрочных прогнозов температуры воздуха и осадков по федеральным округам, пунктам Российской Федерации и Республики Беларусь. Приведены показатели успешности прогнозов полей метеорологических величин по региону Европа, рассчитываемых на основе отечественных технологий и получаемых из зарубежных метеорологических центров.

Табл. 13. Ил. 6. Библ. 4.

УДК 551.551.5

О результатах испытания метода прогноза турбулентности в ясном небе / Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А. // Информационный сборник № 37. — 2010. — С. 132–141.

Излагается физическое обоснование метода прогноза зон турбулентности в ясном небе, реализованного в отделе авиационной метеорологии и являющегося составной частью технологии расчета карт особых явлений на верхних и средних уровнях атмосферы для авиации. Представлены результаты оперативных испытаний метода на основе моделей T85L31, ПЛАВ и NCEP по территориям Северного полушария и России. Оперативные испытания показали, что разработанный метод обеспечивает достаточно высокую успешность прогноза, в том числе на выходных данных глобальной модели ПЛАВ, которая в настоящее время является основной прогностической моделью ГУ «Гидрометцентр России». Решением ЦМКП от 1 декабря 2009 года метод рекомендован к внедрению в лаборатории зональных прогнозов для построения карт особых явлений для авиации.

Табл. 2. Библ. 8.

УДК 551.509.324

О результатах испытания метода прогноза зон возможного обледенения воздушных судов / Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Горлач И.А. // Информационный сборник № 37. — 2010. — С. 142–153.

Кратко описаны условия, способствующие возникновению обледенения воздушных судов. Изложена специфика формирования баз данных с обледенением воздушных судов на основе имеющихся современных данных TAMDAR и данных самолетного зондирования за период 1961–1965 гг. Представлен разработанный метод прогноза зон возможного обледенения, реализующий алгоритм NCEP. Метод обеспечивает достаточно высокую успешность прогноза, в том числе на выходных данных глобальной модели ПЛАВ, которая в настоящее время является основной прогностической моделью ГУ «Гидрометцентр России». Решением ЦМКП от 1 декабря 2009 г. метод рекомендован к внедрению в ГУ «Гидрометцентр России» для построения карт особых явлений для авиации.

Табл. 1. Ил. 5. Библ. 14.

Научно-производственное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЙ СБОРНИК № 37

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

Под редакцией
канд. геогр. наук Г.К. Веселовой

Издатель: «Исследовательская группа “Социальные науки”»
СР 1044004204683 от 07.05.2004 г.
249031, г. Обнинск, а/я 1023,
тел. (48439) 7-41-26, e-mail: ig_socin@mail.ru

Корректор: *Н.А. Иванова*
Компьютерная верстка: *М.Г. Сухова*

Подписано в печать 22.04.2010. Формат 60×84/16
Печать офсетная. Печ. л. 9,5. Тираж 500 экз. Заказ № 346
Отпечатано на Фабрике офсетной печати
249039, г. Обнинск, ул. Королева, 6

