

Комплексная система наукастинга для авиации в технологии ГИС Метео

Ю. И. Юсупов
(ООО «НПЦ «Мэп Мейкер»)

В статье представлена комплексная система наукастинга для авиации в технологии ГИС Метео, разработанная для производства прогнозов в пределах 6 часов с шагом 10 минут явлений погоды, связанных с активной конвекцией по данным метеорологических радиолокаторов и по информации геостационарных спутников, а также таких характеристик как метеорологическая дальность видимости, высота нижней границы облаков, порывов ветра, температуры, осадков, QNH с помощью технологии блендинга.



Введение

По определению Всемирной метеорологической организации, наукастингом называется детальное описание текущей погоды и прогноз в пределах 6 часов от срока наблюдения. Развитие наукастинга обусловлено необходимостью получения как можно более точных прогнозов начала, продолжительности и интенсивности явлений погоды в условиях сильной изменчивости атмосферных процессов. Основными объектами наукастинга для авиации являются явления погоды, оказывающие наиболее сильное влияние на безопасность полетов воздушных судов. Это явления, связанные с активной конвекцией (грозы, шквалы, град, ливни), а также явления погоды, влияющие на дальность видимости, высоту нижней границы облачности, сдвиги ветра, переход температуры через 0.

Для сверхкраткосрочного прогноза конвективных явлений в метеорологической практике обычно применяются данные метеорологических радиолокаторов, информация геостационарных спутников. Задача решается путем переноса текущего

положения зон активной конвекции в направлении, определенном либо путем экстраполяции, либо по прогностическим полям ветра [6, 7]. Иногда применяется смешанный способ для построения траекторий: в первые полчаса больший вес имеют данные экстраполяционного метода, а далее — данные из гидродинамических моделей [7].

Для прогноза таких характеристик как дальность видимости, высота нижней границы облаков, приземная температура, ветер применяется технология блендинга — смешивание данных наблюдений и результатов расчетов гидродинамической модели [4].

В данной работе представлена комплексная система наукастинга, позволяющая рассчитывать и выводить на экран оператора наиболее важные, с точки зрения авиации, детальные прогнозы в пределах 6 часов от срока наблюдения зон активной конвекции, дальности видимости, высоты нижней границы облаков, приземной температуры, осадков, порывов ветра, QNH.

1. Мезомасштабная модель WRF-ARW, используемая в комплексной системе наукастинга

В последние годы значительно возросла популярность использования результатов расчета мезомасштабных негидростатических моделей для краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза погоды. Модель WRF-ARW является свободно распространяемой моделью, созданной в Национальном центре по исследованию атмосферы (NCAR), США. В комплексной системе наукастинга в настоящее время используется модель WRF-ARW версия 3.7.1 [8]. Это полностью сжимаемая негидростатическая модель, основанная на уравнениях в форме Эйлера, с вертикальной сигма-координатой, следующей за подстилающей поверхностью. Расчет проводился на 45-ти вертикальных уровнях с использованием схемы Рунге-Кутты 3-го порядка и переменного шага интегрирования по времени, на трех вложенных сетках с

горизонтальным разрешением 2 км (54 - 57° с. ш., 35 - 40° в. д.), 6 км (52 - 59° с. ш., 32 - 42° в. д.) и 18 км (40 - 68° с. ш., 12 - 50° в. д.). За основу была взята конфигурация, оптимизированная для работы в высоких широтах, но с некоторыми модификациями. Для параметризации пограничного слоя выбрана схема MYJ в паре с параметризацией приземного слоя Мони́на-Обухова. Использовалась микрофизическая схема Годдарда, схема RRTMG для коротковолновой и длинноволновой радиации, ансамблевая схема Грелла-Фрейтас для описания конвективных процессов, схема Noah для процессов в почве. Расчет производится 4 раза в сутки с заблаговременностью до 24 ч, с шагом по времени 1 час с усвоением данных наблюдений с синоптических станций (за 0 и 12 — и аэрологических), а также данных метеорологических радиолокаторов.

2. Наукастинг зон активной конвекции

В работе [3] было описано программное средство для производства наукастинга конвективных явлений, выполненное в технологии ГИС Метео. Будущее положение зон радиолокационной отражаемости рассчитывалось с использованием полей ветра из глобальных прогностических моделей, с коррекцией скорости и направления перемещения, определенной по экстраполяционному методу. Это программное средство успешно применялось для прогноза времени подхода зон осадков к локальным объектам при метеорологическом обеспечении XXII Олимпийских игр в 2014 г. [3].

В числе выходных параметров модели WRF-ARW есть имитация радиолокационной отражаемости. Радиолокационная отражаемость моделируется по прогностическим значениям отношения смеси гидрометеоров на различных уровнях с учетом рассеяния Релея на сферических частицах известной плотности и размеров [5]. С целью получения более полной картины и покрытия мест, где отсутствует информация от МРЛ, в качестве начальных данных предлагается совместно использовать фактическую и прогностическую (соответствующей заблаговременности) радиолокационной отражаемости, чтобы затем в соответствии с алгоритмом, изложенном в [3], иметь возможность прогноза перемещения зон активной конвекции с шагом 10 минут в пределах ближайших 6 часов. В России метеорологические радиолокаторы (МРЛ) имеют достаточно плотную сеть только в Европейской части, но даже здесь есть места, где информация от МРЛ не перекрывается, а учитывая, что некоторые станции временами не передают информацию — воссоздать реальное синоптическое положение бывает достаточно сложно. Ожидается, что предлагаемая схема даст

возможность дежурному синоптику лучше представить истинную картину процессов, происходящих в атмосфере, и позволит точнее дать прогноз таких явлений как ливни, грозы, шквалы, град.

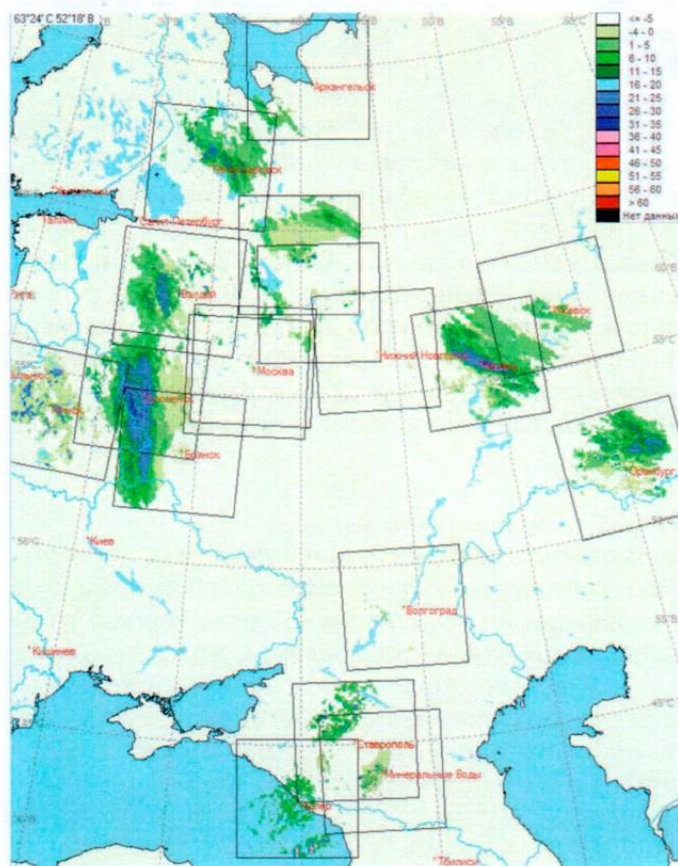
В соответствии с построенным алгоритмом для расчетов используется полученная по модели WRF-ARW радиолокационная отражаемость, как на отдельных изобарических поверхностях, так и максимальная в тропосфере. Далее эта информация стыкуется с данными о фактической радиолокационной отражаемости. При удалении от центральной точки радиолокатора на расстояние более 100 км вес прогностической информации увеличивается и достигает 1 в неосвещенных местах.

Для построения прогностического положения радиоэха используется траекторная модель, построенная на изобарической поверхности, соответствующей максимальной радиолокационной отражаемости [3].

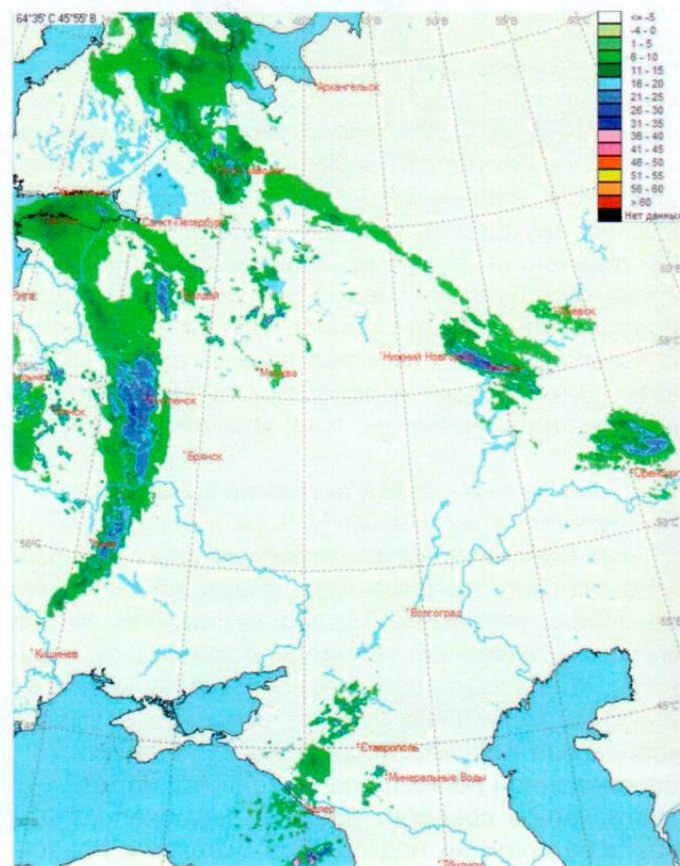
На рис.1а представлена карта радиолокационной отражаемости по данным метеорологических радиолокаторов за 8 ноября 2015 г. 15 ч МСВ. Зоны действия локаторов обведены черными прямоугольниками. На рис. 1б — прогноз с заблаговременностью 2 ч положения зон радиолокационной отражаемости, выполненный по стыкованному данным о фактической радиолокационной отражаемости за 8 ноября 2015 г. 13 ч МСВ и прогностической радиолокационной отражаемости по модели WRF-ARW, рассчитанной с заблаговременностью 7 ч по данным за 8 ноября 2015 г. 6 ч МСВ. Анализ этих рисунков показывает, что прогностическая карта (рис. 1б) выглядит полнее за счет присутствия информации модели WRF-ARW. Отчетливо видна фронтальная зона, протянувшаяся

яся от Балтийского моря до границы Украины с Молдавией. Правильно спрогнозированы осадки в Смоленске, Петрозаводске, Казани, Оренбурге. Но, главное, использование дополнительных прогностических данных о радиолокационной отража-

емости модели WRF-ARW позволило правильно спрогнозировать осадки в Прибалтике и ливневые осадки в окрестностях Киева, в местах, где на момент начала прогноза отсутствовали радиолокационные наблюдения.



а)



б)

Рисунок 1. Фактические данные о радиолокационной отражаемости 8 ноября 2015 г. 15 ч МСВ (а) и прогноз с заблаговременностью 2 ч, выполненный по стыкованным данным МРЛ за 8 ноября 2015 г. 13 ч МСВ и информации модели WRF-ARW за 8 ноября 2015 г. 6 ч, с заблаговременностью 7 ч. (б)

Среди информации, передающейся от метеорологических радиолокаторов, кроме радиолокационной отражаемости на разных уровнях, есть данные о явлениях погоды (осадки, ливни, грозы, шквалы, град), рассчитанные по комплексным критериям распознавания [1]. Способ перевода значе-

$$\lg Z = (dBZ - 18) / 10.$$

Таким образом, появляется возможность сверхкраткосрочного (в пределах 0–6 ч с шагом 10 минут) прогноза по данным модельной радиолокационной отражаемости таких явлений погоды как осадки, ливни, грозы, шквалы, град. На рис. 26 представлен наукастинг, выполненный с заблаговременностью 2 ч с использованием данных от метеорологических радиолокаторов за 20 сентября 2015 г. 19 ч МСВ и информации модели WRF-ARW

ний радиолокационной отражаемости в различные явления погоды представлен в [1]. В модели WRF-ARW прогностические значения радиолокационной отражаемости Z передаются в dB. Чтобы воспользоваться таблицами [1], необходимо перевести эти значения в $\lg Z$:

за 20 сентября 2015 г. 12 ч МСВ, с заблаговременностью 7 ч. Данные о явлениях погоды от метеорологических радиолокаторов используются напрямую из телеграмм BUFR. Явления погоды по данным модели WRF-ARW рассчитываются, согласно [1], с использованием комплексных критериев распознавания. Для сравнения, на рис. 2а представлены фактические данные МРЛ за 20 сентября 2015 г. 21 ч МСВ. Анализ Рис. 2 и данные наблюдений на

сигнала в осадках или присутствием зоны экранирующих осадков [1]. Правильный прогноз по отсутствию осадков в указанный срок в г. Дмитрове, Александрове, Павловом Посаде, Клину, на метеостанциях Шереметьево, Тушино (рис 2б) подтвержден информацией с метеостанций. К сожалению, невозможно проверить были или нет осадки на севере Московской области, между г. Дмитровым и г. Савелово, ввиду отсутствия там метеонаблюдений.

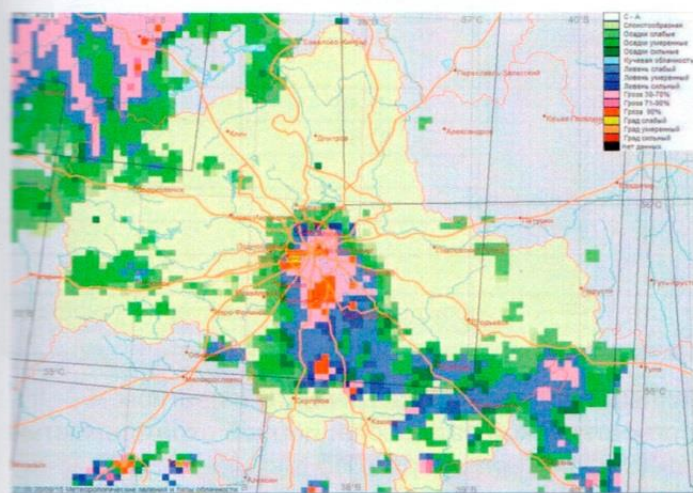


Рисунок 2. Явления погоды по данным МРЛ 20 сентября 2015 г. 21 ч МСВ (а) и наукастинг с заблаговременностью 2 ч по стыкованным данным МРЛ и WRF-ARW (б)

данные о виртуальной радиолокационной отражаемости, присутствующей в неосвещенных радиолокаторами местах. Поэтому проведение оценки путем сравнения с фактическими данными радиолокаторов не имело смысла, оно повторяло бы оценки [3].

В настоящей работе оценка успешности прогноза осадков предлагаемого метода проводилась в соответствии с [2] по факту, путем сравнения с данными станций наблюдений. Прогностические данные, расположенные в узлах регулярной сетки с шагом 4×4 км, с помощью билинейной интерполяции приводились к координатам станций наблюдений и сравнивались с данными о погоде в срок наблюдения. Прогноз считался оправдавшимся, если в соответствующем пункте прогнозировались осадки, и в фактических данных присутствовали осадки (в любом виде) в срок наблюдения. Результаты испытаний представлены в табл. 1–3. В табл. 1 представлена матрица сопряженности для прогноза осадков по данным МРЛ с заблаговременностью 2 ч без учета прогностических данных о радиолокационной отражаемости по WRF-ARW; в табл. 2 — с учетом данных о радиолокационной отражаемости по WRF-ARW. Для сравнения, в табл. 3 представлены матрица сопряженности осадков по данным наблюдений за срок 12 ч МСВ и данным МРЛ за срок 12 ч МСВ.

Анализ результатов показывает, что характеристики успешности прогноза осадков в табл. 1 и табл. 2 довольно близки, что говорит о том, что применение данных WRF-ARW не ухудшает прогноз, однако более полная картина дает дополнительную информацию дежурному синоптику для оценки

синоптического положения. Отличие в значениях общего числа выборки для табл. 1 и табл. 2 объясняется в значительно большем покрытии исследуемой территории прогностическими данными в случае применения данных WRF-ARW совместно с данными метеорологических радиолокаторов.

Таблица 1. Таблица сопряженности осадков по данным наблюдений за 12 ч МСВ с прогнозом осадков с заблаговременностью 2 ч по данным МРЛ и прогностических полей ветра модели WRF-ARW за 10 ч. 1–30 сентября 2015 г.

Прогноз	Наблюдения		Сумма	U	U + П
	Осадки	Без осадков			
Осадки	1098	249	1347	0.82	1.41
Без осадков	759	4482	5241	0.86	1.80
Сумма	1857	4731	6588		
П	0.59	0.95			
Т			0.54		
Н			0.59		

Условные обозначения в табл. 1 – табл. 3: U — оправдываемость; П — предупрежденность; Т — критерий качества прогноза Пирси-Обухова; Н — критерий надежности Багрова [5].

Таблица 2. Таблица сопряженности осадков по данным наблюдений за 12 ч МСВ с прогнозом осадков с заблаговременностью 2 ч по данным МРЛ, прогностической радиолокационной отражаемостью и полей ветра модели WRF-ARW за 10 ч. 1–30 сентября 2015 г.

Прогноз	Наблюдения		Сумма	U	U + П
	Осадки	Без осадков			
Осадки	4493	1411	5904	0.76	1.39
Без осадков	2652	13518	16170	0.84	1.74
Сумма	7145	14929	22074		
П	0.62	0.84			
Т			0.53		
Н			0.56		

Таблица 3. Таблица сопряженности осадков по данным наблюдений с данными МРЛ об осадках за срок 12 ч. 1–30 сентября 2015 г.

Прогноз	Наблюдения		Сумма	U	U + П
	Осадки	Без осадков			
Осадки	1288	164	1452	0.89	1.55
Без осадков	642	4590	5232	0.89	1.84
Сумма	1930	4754	6684		
П	0.67	0.97			
Т			0.63		
Н			0.68		

Анализ результатов, представленных в табл. 1–2 и 3 показывает, что несколько худшее качество успешности прогнозов осадков (табл. 1 и табл. 2) по сравнению с табл. 3 может быть объяснено временем жизни конвективных процессов (которое иногда не превышает получаса), однако основные показатели — критерий качества Пирси-Обухова, критерий надежности Багрова, суммарный показатель оправдываемости и предупрежденности осад-

ков — характеризуют удовлетворительное качество прогнозов.

На рис. 3 показана стыкованная карта данных МРЛ и модели WRF-ARW за 20 сентября 2016 г. 20 ч МСВ. На этом же рисунке представлена таблица детального прогноза явлений погоды с 20 ч на ближайшие 3 ч с шагом 10 минут. Список пунктов наблюдений, по которым составляется прогноз, произвольный и может редактироваться оператором.

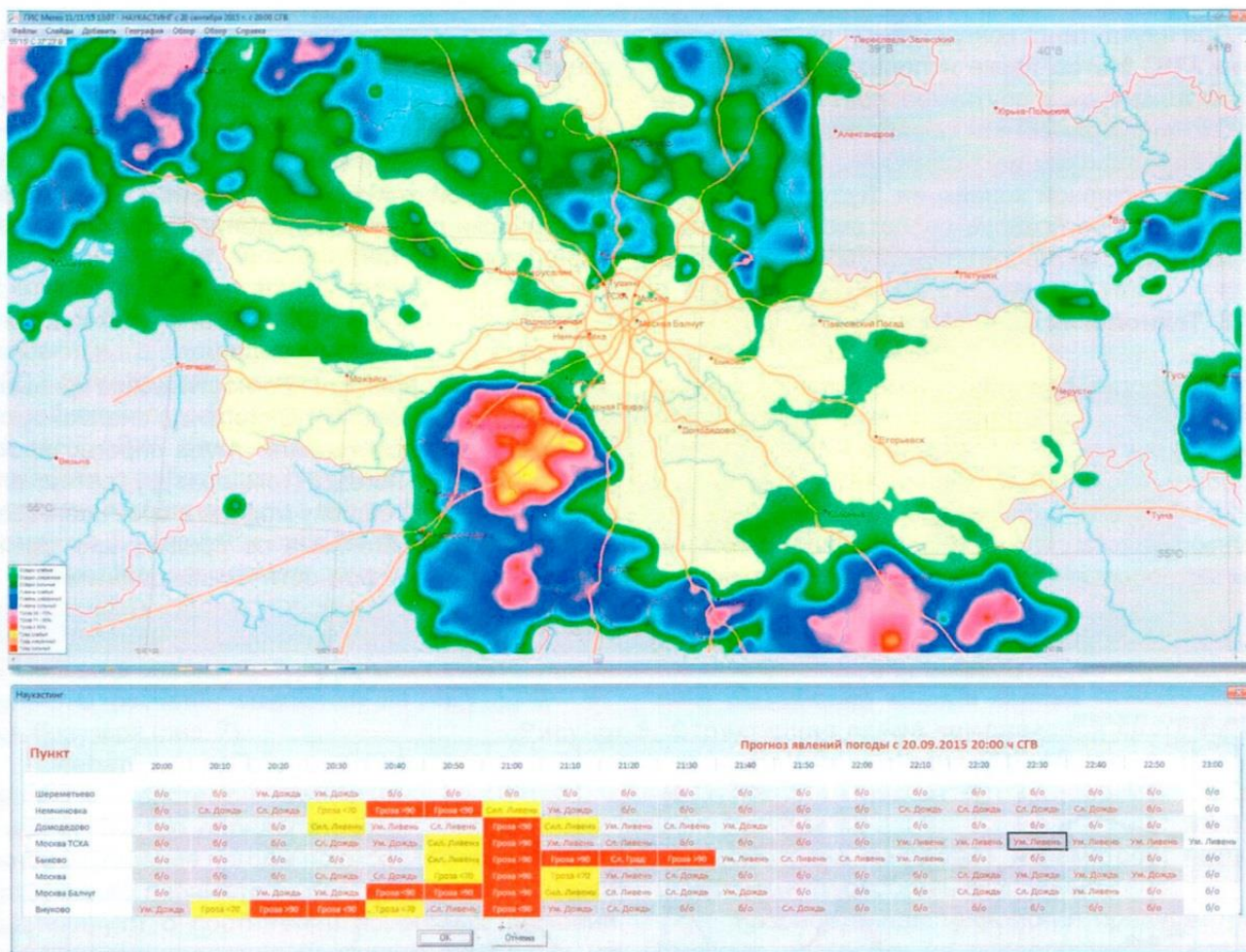


Рисунок 3. Пример наукастинга конвективных явлений по данным МРЛ и модели WRF-ARW 20.09.2016 с 20:00 СГВ

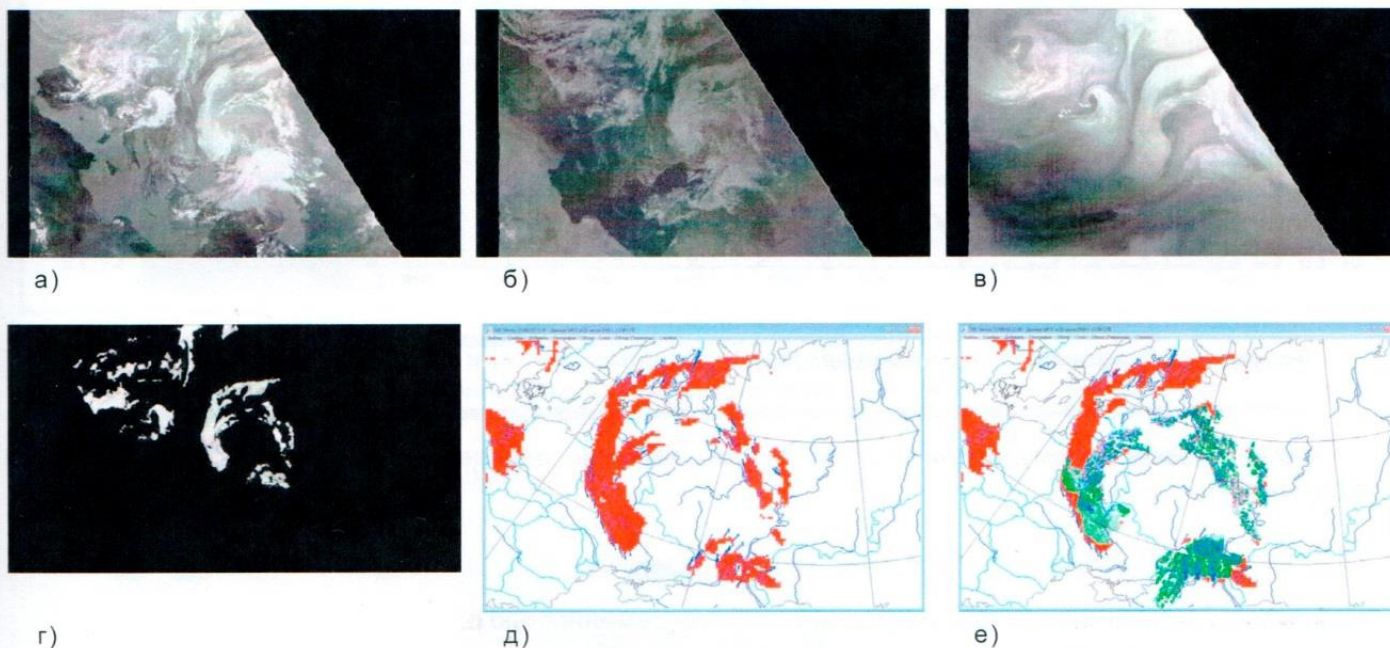


Рисунок 4. IR (а), VIS (б), WV (в) — каналы геостационарного спутника MSG3 21 июля 2016 г. 12 ч. МСВ; итоговое изображение конвективных зон (г); конвективные зоны с векторами, определенными по экстраполяционному методу (д); сравнение полученных конвективных зон с радиолокационной отражаемостью (е)

Для наукастинга конвективных явлений в технологии ГИС Метео также используется информация геостационарных спутников, поступающая каждые 15 минут. Совместная обработка каналов VIS, IR и WV по алгоритму, изложенному в [9], позволяет найти зоны активной конвекции. Будущее положение этих зон прогнозируется по экстраполяционному методу и по прогностическим полям ветра,

аналогично алгоритму перемещения зон радиолокационной отражаемости, описанному выше.

Сравнение полученных после обработки спутниковых снимков потенциально опасных зон активной конвекции (рис. 4 д) с фактической радиолокационной отражаемостью (рис. 4 е) показывает практически полное совпадение с зонами осадков, определенными МРЛ.

3. Технология блендинга

Технология блендинга (смешивания данных наблюдений и результатов расчета гидродинамической модели) была применена в ГИС Метео при метеорологическом обеспечении XXII Олимпийских игр в 2014 г. Было создано программное средство, позволяющее выводить на экран данные автоматических метеорологических станций (АМС), и на этом

же графике изображать прогностические кривые тех же параметров (рис. 5). Синоптику, анализирующему графики, не составляло труда спрогнозировать характеристики погоды (температуру, ветер, влажность), учитывая ошибку модели в срок наблюдения и тренды, определяемые по предыдущим данным наблюдений и по прогностическим данным.

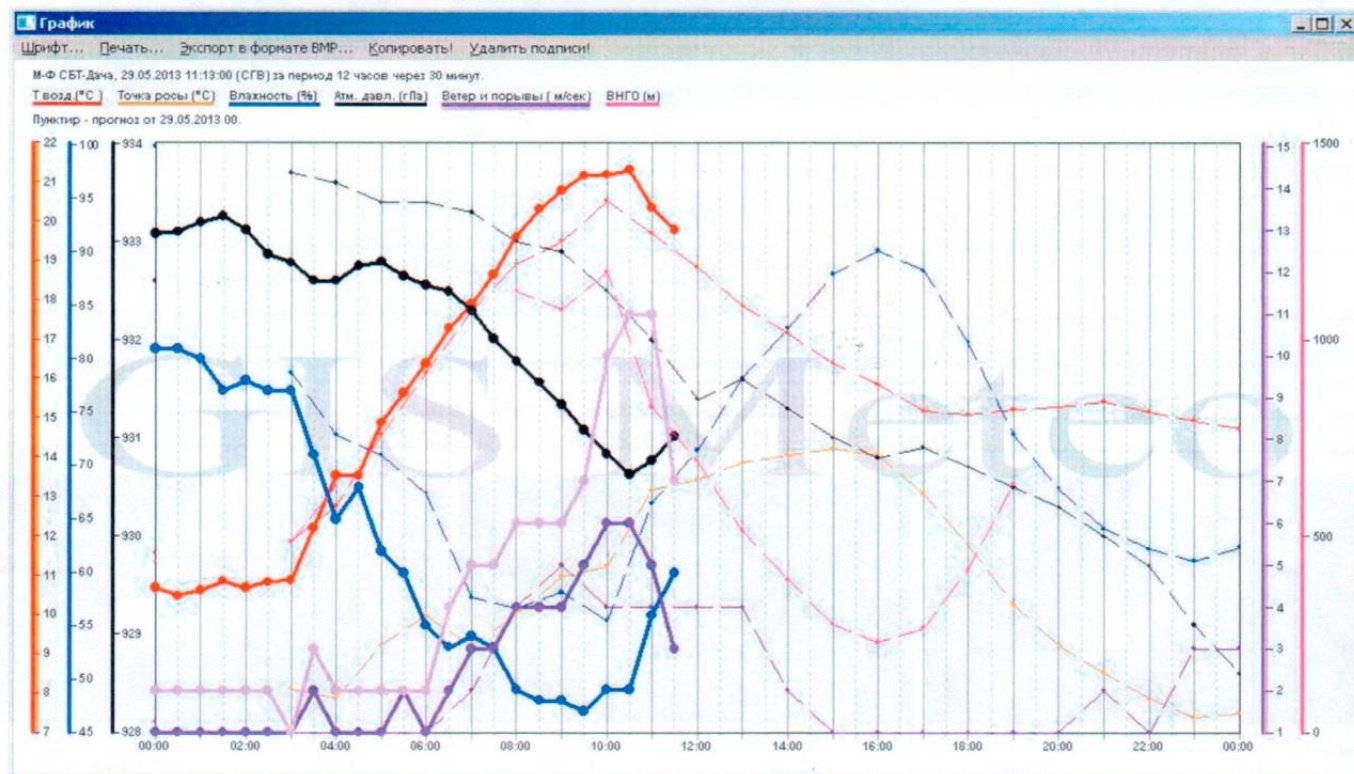


Рисунок 5. Графики данных наблюдений (сплошные линии) и прогностические значения тех же параметров (пунктирные линии)

Аналитическая формула для прогностических величин, определяемых по технологии блендинга следующая [4]:

$$V_{c+p} = o_c + s_p(o_{c+p} - o_c) + r_p(m_{c+p} - m_c),$$

где V_{c+p} — прогнозируемый параметр с заблаговременностью p ;

o_c — данные наблюдений;

o_{c+p} — прогноз, определенный по экстраполяции данных наблюдений;

m_c, m_{c+p} — прогностические данные по расчетам гидродинамической модели, соответствующие временам c и $c+p$;

s_p, r_p — весовые множители.

4. Комплексная система наукастинга

На рис. 6 представлена структурная схема комплексной системы наукастинга в технологии ГИС Метео. В центр сбора данных поступает информация от АМС, метеорологических радиолокаторов, геостационарных спутников. Данные наблюдений (в настоящий момент от АМС и МРЛ) усваиваются с помощью модуля WRFDA-3DVAR при расчете мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW. Каждые 10 минут включаются в работу два блока, отвечающие соответственно за прогноз конвективных явлений и прогноз таких параметров, как метеорологическая дальность видимости, высота нижней границы облачности, приземные ветер и температура, QNH. Результаты расчетов выводятся на экран браузера (рис. 7).

Оператор, работающий с комплексной системой наукастинга, может быстро определить возможное ухудшение погоды по окраске в шкале соответствующего параметра. Желтый и красный цвета сигнализируют о достижении пороговых значений погодных характеристик, негативно влияющих на безопасность полетов. Поскольку пороговые значения могут быть разными для разных аэродромов,



Рисунок 6. Структурная схема комплексной системы наукастинга в технологии ГИС Метео

предусмотрена настройка параметров, позволяющая изменить пороговые значения.

Разработанная технология предусматривает быструю настройку на проведение расчетов наукастинга в любой географической точке Земного шара.

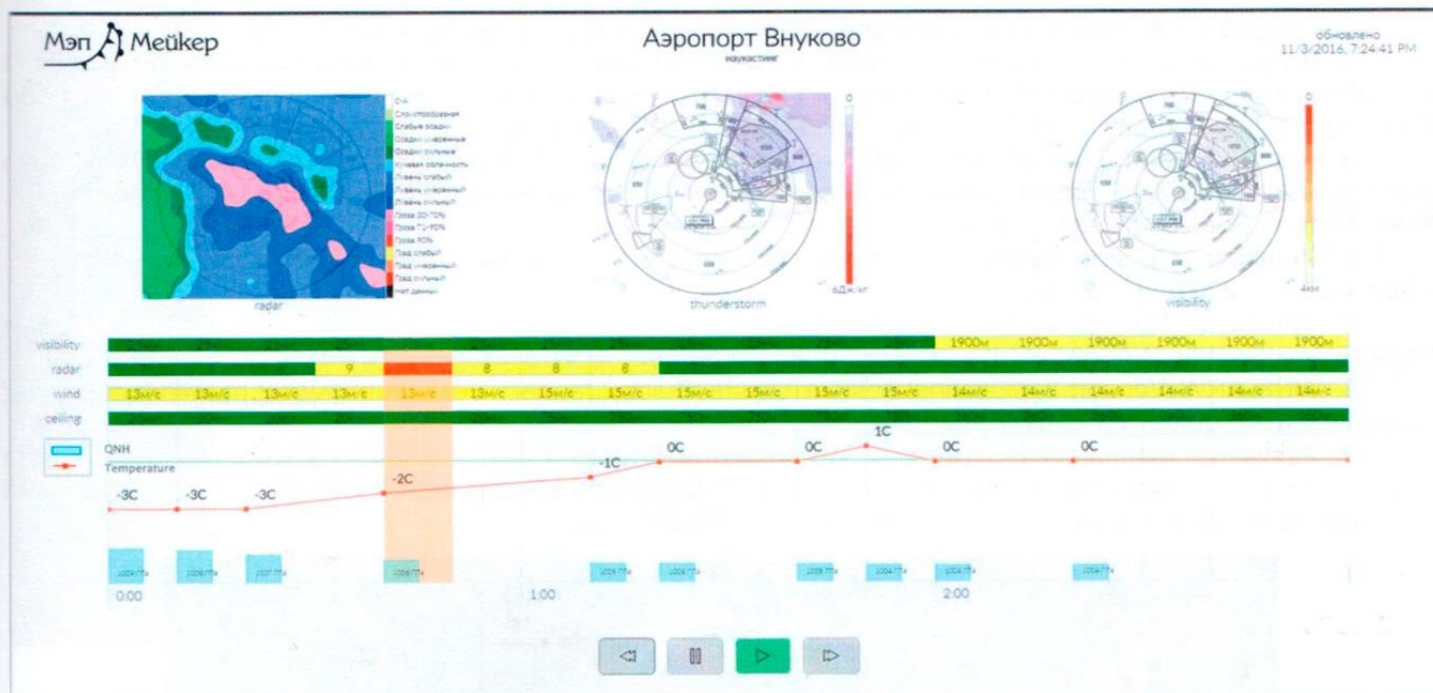


Рисунок 7. Информационное табло комплексной системы наукастинга в технологии ГИС Метео

Заключение

В статье представлено экспериментальное программное средство, предназначенное для производства наукастинга для авиации, выполненное в технологии ГИС Метео. В качестве входных параметров используются данные метеорологических радиолокаторов, геостационарных спутников, АМС, а также информация модели WRF-ARW. Расчет явлений погоды по виртуальной радиолокационной отражаемости модели WRF-ARW, выполненный с использованием комплексных критериев распознавания [4] и добавленный к информации о явлениях погоды, передающейся от метеорологических радиолокаторов, дает возможность дежурному синоптику обратить внимание на явления погоды, не обнаруженные МРЛ из-за сильного ослабления радиоволн в осадках или расположенными за зоной экранирующих осадков. Использование информации геостационарных спутников позволяет проводить мониторинг и сверхкраткосрочный прогноз опасных явлений погоды для областей, не имеющих своих МРЛ, что чрезвычайно важно для такой сферы деятельности как авиация.

Технология блендинга, примененная к прогнозу таких важных для авиации параметров как метеорологическая дальность видимости, высота нижней границы облачности, приземная температура и др., позволяет свести к минимуму ошибки прогноза в пределах ближайших 6 часов, вызванные несовершенством гидродинамических моделей. В ближайших планах по развитию комплексной системы наукастинга — разработка блока, учитывающего эволюцию грозовых облаков, с помощью расчета конвергенции потока влаги в приземном слое по алгоритму, изложенному в [6], ежечасное усвоение данных наблюдений (в том числе и МРЛ) с помощью модуля WRFDA-3DVAR и ежечасный расчет прогноза с выдачей результатов каждые 10 минут. Построенная технология позволяет произвести быструю настройку на новые виды данных наблюдений, которые в настоящий момент не используются для расчета наукастинга. Речь идет о грозопеленгации, профилемерах, лидарах, содарах и т. п.

Работа выполнена в научно-производственном центре «Мэп Мейкер».

Список использованных источников

1. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — 358 с.
2. Руководящий документ. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 31-40.
3. Юсупов Ю. И. Наукастинг в технологии ГИС Метео // Метеоспектр. — 2015. — № 1. — С. 43-48.
4. Bailey, M. E., G.A. Isaac, I. Gultepe, I. Heckman and J. Reid, 2014: Adaptive Blending of Model and Observations for Automated Short Range Forecasting: Examples from the Vancouver 2010 Olympic and Paralympic Winter Games. Pure Appl. Geophys. 171, 257–276, (DOI 10.1007/s00024-012-0553-x).
5. Koch S. E. et al. The use of simulated radar reflectivity fields in the diagnosis of mesoscale phenomena from high-resolution WRF model forecasts. / Preprints, 11th Conf. on Mesoscale Processes, Albuquerque, NM, Amer. Meteor. Soc., J4J., 2005, vol. 7.
6. Steinheimer M. and Haiden T. Improved nowcasting of precipitation based on convective analysis fields. — Adv. Geosci., 2007, vol. 10, pp. 125–131.
7. Wilson J. Thunderstorm nowcasting: past, present and future. / Preprints, 31st Conf. on Radar Meteorology, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., 2003, J13–J19.
8. WRF-ARW Version 3 Modeling System User's Guide, January 2016 http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3.7/ARWUsersGuideV3.7.pdf
9. Zinner T., Mannstein H., Tafferner A. Cb-TRAM: Tracking and monitoring severe convection from onset over rapid development to mature phase using multi-channel Meteosat-8 SEVIRI data // Meteorology and Atmospheric Physics. — 2008. — T. 101. — №. 3-4. — С. 191-210.

