

МЕТОД КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА НАЛИЧИЯ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ ДЛЯ АВИАЦИИ

Введение

Наличие низкой облачности, высота ее нижней границы являются, наряду с горизонтальной видимостью, наиболее важными погодными характеристиками, ограничивающими нормальное функционирование авиации. Поэтому к точности их прогноза, и в частности прогноза наличия низкой облачности, предъявляются высокие требования. В настоящее время в мировой практике прогноз низкой облачности для авиации выполняется главным образом путем применения схем постпроцессинга модельных полей температуры, влажности и некоторых других величин. Схемы постпроцессинга, встроенные в прогностические численные модели, позволяют прогнозировать наличие (балл) низкой облачности в числе другой выходной продукции моделей. Реалистичный краткосрочный прогноз низкой облачности, отличающийся высокой пространственной и временной изменчивостью, возможен при достаточно высоком пространственном разрешении численной модели; он обычно разрабатывается в едином блоке с наукастингом и сверхкраткосрочным прогнозом. Так, развитая в США и оперативно используемая в Национальной службе погоды программа LAMP (Localized Aviation MOS Program) рассчитывает ежечасные (заблаговременностью до 25 ч) прогнозы ряда погодных характеристик, в том числе низкой облачности [4, 5]; прогностические соотношения, используемые для прогноза, широко используют данные наземной сети станций.

1. Сущность метода

С появлением в оперативной практике Росгидромета современных численных моделей появилась возможность разработки статистических методов постпроцессинга их продукции. Метод прогноза наличия низкой облачности был разработан в 2008–2010 гг. в Отделе авиационной метеорологии ФГБУ «Гидрометцентр России» [2].

В качестве реальных данных использованы аэродромные наблюдения на 45 аэродромах Европейской России и прилегающих территорий республик бывшего СССР за 2001–2008 гг. (обучающая выборка) и 2009–2010 гг. (независимая выборка) с временным разрешением 30 мин, реже – 1 ч. База аэродромных наблюдений была создана в Отделе путем декодирования

поступающих в ФГБУ «Гидрометцентр России» телеграмм в коде METAR. Данные аэродромных наблюдений из телеграмм уступают в точности и полноте аналогичным данным из дневников погоды: так, температура и точка росы в телеграммах передаются в целых градусах, а информация о формах облаков ограничивается указанием на характер облачности (конвективный либо неконвективный).

В качестве источника данных на стандартных изобарических поверхностях использовался объективный анализ атмосферных полей из базы ФГБУ «Гидрометцентр России» за сроки 0 и 12 ч ВСВ на географической сетке с шагом $2,5^\circ$ (до 2005 г.) и $1,25^\circ$ (с 2005 г.).

Выборки данных METAR были разделены на подвыборки с количеством низкой (≤ 1500 м) облачности: 0–3, ≥ 4 , ≥ 6 и 8 окт. Первая подвыборка считается объединяющей случаи «отсутствия низкой облачности», остальные обозначаются как НО4, НО6, НО8 соответственно.

В процессе анализа распределений повторяемости низкой облачности на конкретных аэродромах были замечены определенные черты сходства условий существования низкой облачности на некоторых аэродромах. Это сходство использовано для объединения аэродромов в группы, чтобы затем искать статистические зависимости в пределах групп, что увеличит статистическую обеспеченность результатов. Для разбиения всего набора аэродромов на группы был использован аппарат кластерного анализа. В качестве признаков, по которым оценивалось сходство условий различных аэродромов, были выбраны следующие характеристики: 1) средняя повторяемость низкой облачности по месяцам; 2) средняя за год повторяемость 5-процентных градаций относительной влажности на поверхности 925 гПа; 3) средняя за год повторяемость градаций вертикального градиента температуры в слое 925–850 гПа; 4) набор синоптических ситуаций (определяемых объективно с помощью программы, описанной в [3]), в которых наблюдается достаточно большое число случаев низкой облачности. Выбранные признаки характеризуют режим и наиболее общие черты условий существования низкой облачности на конкретном аэродроме. После ряда экспериментов было принято разбиение на семь кластеров методом «дерева» [1], представленное в табл. 1.

На следующем этапе был выполнен дискриминантный анализ по каждому кластеру, показавший, что наиболее информативными синхронными предикторами наличия низкой облачности являются относительная влажность на поверхности 925 гПа или у земли (z) и вертикальные градиенты температуры в слоях 925–850 гПа, земля–925 гПа и 850–700 гПа. Анализ проводился отдельно для каждого из двух предиктантов НО6 и НО8 (первый из которых представляет наибольший интерес с точки зрения метеорологического обеспечения

авиации). На зависимой выборке полученные дискриминантные функции дают вполне практически значимую успешность разделения случаев наличия и отсутствия явления по всем 45 аэродромам. Существенно, что градации количества облаков НО6 и НО8 определяются со сравнимой успешностью.

На независимой выборке был подтвержден в целом вполне значимый и достаточно высокий уровень успешности разделения случаев наличия и отсутствия низкой облачности в обеих градациях ее количества.

Таблица 1

Разбиение множества аэродромов на 7 кластеров и дискриминантные функции h_k для выборок случаев наличия и отсутствия НО4 по кластерам (RH – относительная влажность, γ – вертикальный градиент температуры, D^2 – квадрат расстояния Махаланобиса)

Кластеры	Аэродромы	$h_k = b_{k1}X_1 + b_{k2}X_2 + b_{k0}$	D^2
Кластер № 1 (9 аэродромов)	Брест, Львов, Кишинев, Одесса, Симферополь, Волгоград, Мин. Воды, Нальчик, Махачкала	$h_k = 0,052 RH_{925} - 0,70 \gamma_{925-850} - 3,03$	0,44
Кластер № 2 (3 аэродрома)	Краснодар, Ставрополь, Майкоп	$h_k = 0,047 RH_{925} + 0,61 \gamma_{z-925} - 3,16$	0,43
Кластер № 3 (5 аэродромов)	Мурманск, Салехард, Ханты-Мансийск, Анапа, Сочи	$h_k = 0,015 RH_z + 0,04 RH_{925} - 3,73$	0,34
Кластер № 4 (5 аэродромов)	Домодедово, Самара, Луганск, Запорожье, Ростов-на-Дону	$h_k = 0,058 RH_z + 1,81 \gamma_{z-925} - 4,81$	0,51
Кластер № 5 (8 аэродромов)	Архангельск, Сыктывкар, Внуково, Шереметьево, Казань, Ульяновск, Нижнекамск, Уфа	$h_k = 0,061 RH_{925} - 0,57 \gamma_{925-850} - 4,03$	0,50
Кластер № 6 (7 аэродромов)	Таллинн, Рига, Вильнюс, Минск, Н. Новгород, Саратов, Харьков	$h_k = 0,072 RH_{925} - 0,84 \gamma_{925-850} - 4,53$	0,57
Кластер № 7 (8 аэродромов)	Санкт-Петербург, Гомель, Киев, Кривой Рог, Воронеж, Днепропетровск, Донецк, Астрахань	$h_k = 0,068 RH_z + 2,03 \gamma_{z-925} - 5,74$	0,54

2. Прогноз наличия низкой облачности по аэродрому

Полученные дискриминантные функции затем были применены к задаче прогноза низкой облачности по прогностическим (на 12 и 24 ч) модельным значениям предикторов. Оценки успешности таких прогнозов были получены для глобальной модели ПЛАВ (ФГБУ «Гидрометцентр России») с шагом $0,256^\circ$ по широте и $0,56^\circ$ по долготе и мезомасштабной модели COSMO-RU07 с шагом по горизонтали 7 км, а также для модели NCEP (США) с шагом 1° по широте и долготе. Для первой из перечисленных моделей были заархивированы как прогностические, так и начальные (объективный анализ) поля предикторов за период с июля 2010 по июль 2011 г., для второй – аналогичные поля с января 2009 по июль 2011 г. Расчеты показали, что успешность прогноза наличия низкой облачности по выходным

данным COSMO-RU07 заметно выше, чем по ПЛАВ. В частности, для НО8 при прогнозе на 24 ч по COSMO-RU07 получены значения критерия качества Пирси-Обухова $PI < 0,30$ только в Мурманске и Ханты-Мансийске, тогда как по ПЛАВ – по 11 аэродромам. Средние значения PI по всем 45 аэродромам для НО6 составили 0,47 и 0,36 по COSMO-RU07 и ПЛАВ соответственно. Результаты прогноза наличия низкой облачности, полученные по выходным данным модели NCEP, близки к таковым для модели COSMO-RU07. Именно среднее значение PI при прогнозе НО6 на 24 ч составляет 0,45, причем в трех пунктах – Мурманск, Салехард и Ханты-Мансийск оказалось $PI < 0,30$.

Таким образом, полученные на материалах аэродромных наблюдений прогностические соотношения для прогноза низкой облачности более 6 и 8 окт показали практически значимую успешность при использовании модельных значений предикторов, что указывает на целесообразность практического применения разработанных статистических соотношений.

3. Прогноз наличия низкой облачности по территории Европейской России

Для построения карты особых явлений на нижних уровнях для авиации недостаточно сформулировать прогноз в конечном числе точек, соответствующих положению аэродромов. Прогноз должен быть дан во всех узлах сетки на всей области прогноза.

Отдавая себе отчет в наличии локальных влияний (роль которых хорошо видна на примере трех московских аэродромов), авторы метода по необходимости приняли предположение о возможности распространения условий существования низкой облачности на аэродроме на некоторую окрестность последнего. Была предложена «мозаичная» схема прогноза низкой облачности по всей области расчета. Согласно этой схеме, линейная дискриминантная функция, полученная для определенного кластера, применяется не только для прогноза в узлах сетки, ближайших к аэродромам, входящим в данный кластер, но и ко всем узлам модельной сетки в окрестностях этих аэродромов. Таким образом, вся область (европейская часть бывшего СССР, исключая Кавказ и Закавказье) представляется в виде мозаики (рисунок), на элементах которой в каждом узле сетки производится расчет наличия НО6 или НО8 по линейным дискриминантным функциям для соответствующего кластера.

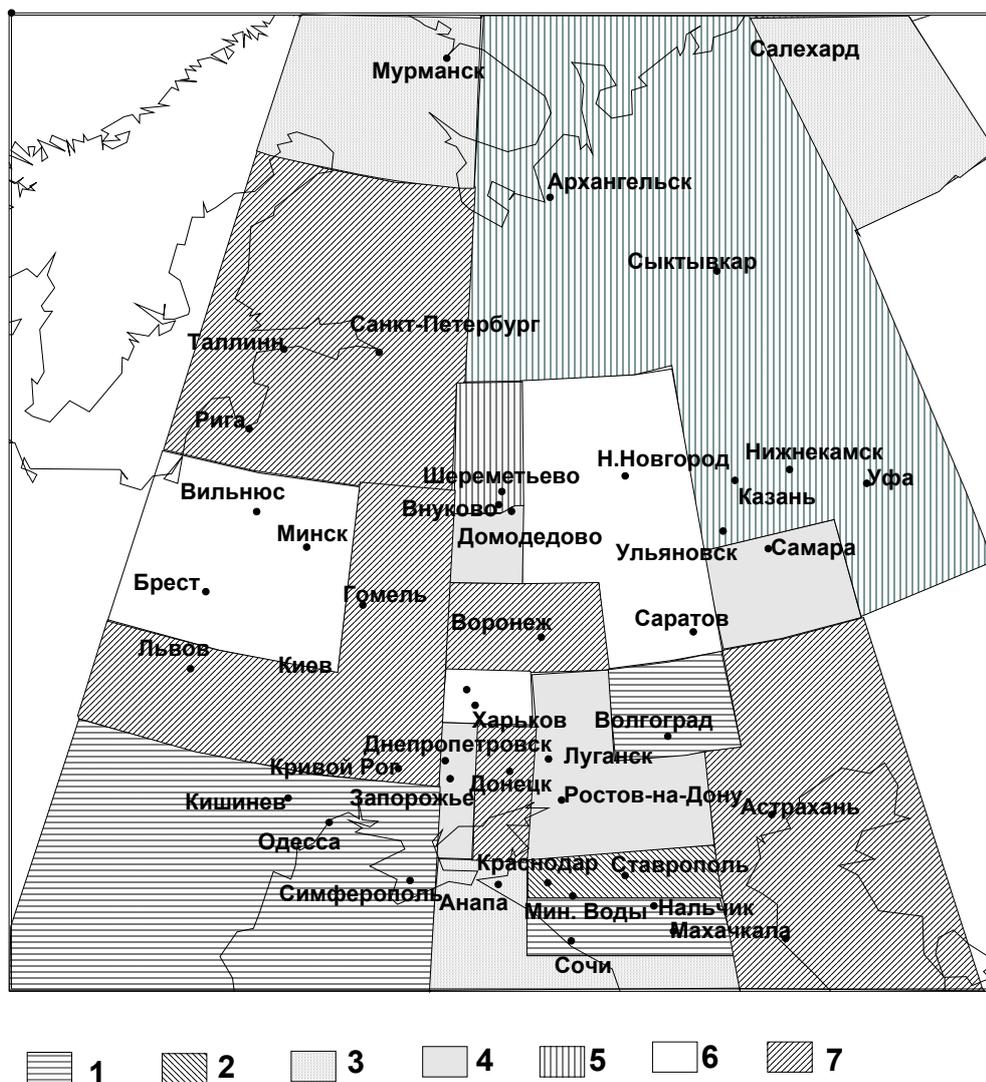


Рисунок. Разбиение территории европейской части бывшего СССР на участки для расчета карты наличия низкой облачности по дискриминантным функциям для семи кластеров (номера кластеров указаны в нижней части рисунка).

4. Оперативные испытания

На испытания выносился метод прогноза наличия низкой облачности по территории, включающей Европейскую Россию и прилегающие европейские территории республик бывшего СССР в следующих границах: 27° в.д., 65° в.д., 45° с.ш., 75° с.ш. В качестве предиктанта рассматривается наличие либо отсутствие облаков с нижней границей не выше 1500 м в количестве не менее 6 окт. В качестве предикторов используются прогностические (с заблаговременностью 12 и 24 ч) поля температуры и влажности моделей ПЛАВ и COSMO-RU07.

Расчет дискриминантных функций в узлах модельных сеток по схеме, представленной на рисунке, производится как по начальным, так и по прогностическим полям температуры и

влажности по модели ПЛАВ (программа сдана в АСООИ). Результаты расчета в виде значений дихотомической переменной в узлах сетки записываются в базу данных LAG-2 каждые 12 ч. Аналогично получаются результаты расчета на сетке COSMO-RU07. Для оценки точности прогноза необходимо сравнить результаты расчета в узлах сетки по прогностическим и начальным (на момент прогноза) полям на всей области расчета. Оценка степени соответствия расчетов по полям анализа и прогноза будет представлять собой оценку успешности прогноза низкой облачности (по области) относительно ее диагноза, принимаемого за факт. Такая оценка представляет собой, по существу, оценку успешности прогноза предикторов низкой облачности с соответствующей заблаговременностью.

Предусмотрена также оценка успешности прогноза низкой облачности по отдельным аэродромам с использованием в качестве факта наличия низкой облачности информации из телеграмм в коде METAR в момент прогноза. Для этой цели выбраны 30 российских аэродромов с дискретностью наблюдений, равной 30 мин, и определены ближайшие к ним узлы сетки модели COSMO-RU07, результаты расчета в которых сравнивались с наблюдениями на аэродромах. По техническим причинам аналогичное сравнение для модели ПЛАВ проводилось только для 23 аэродромов.

Испытания метода прогноза низкой облачности по модели ПЛАВ проводились в период, включавший 732 срока, с 1 мая 2011 г., по модели COSMO-RU07 – с 1 июля 2011 г. по 30 апреля 2012 г. (610 сроков).

5. Результаты испытаний метода

В табл. 2 представлены результаты испытаний прогноза НО6 по территории. Как видно из таблицы, все характеристики оправдываемости, включая критерии качества Пирси-Обухова (PI) и Хайдке-Багрова (H_B), указывают на высокое качество прогноза наличия низкой облачности. Как уже сказано выше, это означает, что предикторы дискриминантных функций предсказываются моделями с высокой точностью.

Результаты испытаний метода прогноза наличия низкой облачности по конкретным аэродромам на основе выходных данных модели ПЛАВ приведены в табл. 3–5 для заблаговременностей 0, 12 и 24 ч, в табл. 6–8 даны аналогичные результаты по модели COSMO-RU07. Оправдываемость прогноза наличия явления в среднем несколько выше по модели COSMO-RU07, предупреденность наличия явления выше по модели ПЛАВ, но при этом выше и процент ложных тревог. Критерии PI и H_B практически одинаковы при заблаговременностях 0 и 12 ч, но при заблаговременности 24 ч модель COSMO-RU07 дает заметно лучшие результаты: ниже процент ложных тревог, выше PI и H_B . В целом следует

признать, что обе модели пригодны для прогноза на их основе низкой облачности по рассматриваемой территории и по аэродромам.

Таблица 2

**Успешность прогноза низкой облачности ≥ 6 окт по территории
с заблаговременностью 12 и 24 ч по моделям COSMO-RU07 и ПЛАВ**

Модель, заблаговре- менность	Число узлов	Повторя- емость, %	Оправдывае- мость, %		Предупрежден- ность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б
			налич	отсут	налич	отсут.			
ПЛАВ, 12 ч	1344223	59,3	89,0	85,4	90,2	83,9	11,0	0,74	0,74
ПЛАВ, 24 ч	1342374	59,3	87,6	82,3	87,9	81,8	12,4	0,70	0,70
COSMO, 12 ч	102805200	51,0	85,5	85,7	86,4	84,7	14,4	0,71	0,71
COSMO, 24 ч	105009600	50,3	83,5	84,8	85,3	83,0	16,5	0,68	0,68

6. Точность прогноза облачности в модели COSMO-RU07

Представляет интерес сравнение точности прогнозов облачности ≥ 6 окт испытываемым методом с результатами аналогичных прогнозов непосредственно в модели COSMO-RU07 (насколько нам известно, оценка успешности прогноза облачности по данной модели произведена впервые). В период испытаний имелась возможность оперативного сравнения методического и модельного прогнозов. Модельная облачность отличается от регистрируемой на аэродромах: она определяется как наличие продуктов конденсации влаги в слое от земли до поверхности 800 гПа. Сравнивая модельную облачность с наблюдаемой, мы оцениваем, насколько они близки друг к другу и, значит, можно ли интерпретировать модельную облачность непосредственно как наблюдаемую.

Оценка успешности модельных прогнозов облачности в указанном выше смысле производилась по тем же аэродромам, что и методических, представленных в табл. 6–8. Результаты оценки представлены в табл. 9–11. Из таблиц видно, что модельный прогноз облачности на оба срока (12 и 24 ч) является значимым ($PI = N_B = 0,48$ при прогнозе на сутки), хотя методический прогноз более успешен. Это видно и по значениям PI и N_Б, и особенно по более низкой (66,5 %) предупреденности наличия явления (против 77,7 % у методического прогноза), что означает больший процент непредсказанных явлений (33,5 % против 22,3 %).

Следует сделать вывод, что модельный прогноз низкой облачности является практически значимым, однако уступает аналогичному прогнозу, развитому в ФГБУ «Гидрометцентр России» статистическим методом, что подтверждается результатами, полученными в период оперативных испытаний, особенно в отношении такой важной характеристики, как предупреденность явления.

Заключение

Как показали оперативные испытания, статистический метод прогноза наличия низкой облачности ≥ 6 окт с нижней границей ≤ 1500 м, разработанный на реальных данных (аэродромные наблюдения и объективный анализ), т. е. в рамках концепции РР, обеспечивает практически значимые и достаточно высокие результаты на выходных данных моделей ПЛАВ и COSMO-RU07.

В процессе оперативных испытаний также показано, что «облачность нижнего яруса», прогнозируемая в модели COSMO-RU07, обнаруживает практически значимый уровень согласия с наблюдениями на аэродромах, но с более низкой предупреденностью наличия явления, в сравнении со статистическим методом. На этом основании можно сделать вывод, с одной стороны, о возможности использования модельного прогноза на практике (но с учетом того, что из каждых трех явлений предсказаны будут только два); с другой стороны, о наличии определенных перспектив дальнейшего усовершенствования прогноза низкой облачности при использовании модельной облачности в качестве одного из предикторов (концепция MOS). Предварительные оценки за период испытаний показали, что таким путем удастся несколько повысить успешность модельного прогноза.

Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) в своем решении от 13 июня 2012 г. отметила, что в ФГБУ «Гидрометцентр России» ведется постоянная работа по созданию автоматизированных методов прогноза опасных для авиации явлений и выпуску прогностических карт для использования при метеорологическом обеспечении авиации. Представленный к рассмотрению ЦМКП метод прогноза по выходным данным глобальной полулагранжевой модели (ПЛАВ) и мезомасштабной модели COSMO-RU07 наличия низкой (с нижней границей не выше 1500 м при количестве облаков не менее 6 окт) облачности разработан в рамках темы НИР 1.4.1 (2008–2010 гг.), предусматривавшей создание технологии выпуска прогностических карт особых явлений погоды на нижних уровнях для авиации; технология подготовлена к внедрению в 2011 г., ее внедрение связывается с перспективой утверждения новых ФАППП. Представленный метод позволяет прогнозировать с высокой оправдываемостью наличие низкой облачности по выходным данным указанных выше моделей с заблаговременностью 12 и 24 ч по Европейской территории России, стран СНГ и Балтии и по 30 аэродромам в пределах данной территории.

Эффективность представленного метода прогноза наличия низкой облачности по конкретным аэродромам оценена путем сравнения прогнозируемого наличия или отсутствия явления в ближайшем к аэродрому узле модельной сетки с наблюдениями на аэродроме в

срок прогноза в течение периода оперативных испытаний (май 2011 – апрель 2012 г. для модели ПЛАВ и июль 2011 – апрель 2012 г. для модели COSMO-RU07); эффективность прогноза по территории оценена путем сравнения прогнозируемого наличия либо отсутствия явления с аналогичным расчетом по начальным полям модели в срок прогноза. Показатели успешности, согласно оперативным испытаниям (критерии Пирси-Обухова и Хайдке-Багрова), высокие в обоих вариантах метода (по конкретным аэродромам и по территории).

ЦМКП одобрила работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по созданию метода прогноза наличия низкой облачности по выходным данным глобальной полулагранжевой модели ПЛАВ и мезомасштабной модели COSMO-RU07 и рекомендовала использовать разработанный метод прогноза наличия низкой облачности по выходным данным моделей ПЛАВ и COSMO-RU07 в качестве основного расчетного метода при прогнозировании условий полета на нижних уровнях для авиации. Также ЦМКП постановила считать целесообразной организацию выпуска в ФГБУ «Гидрометцентр России» карт особых явлений на нижних уровнях для использования при метеообеспечении авиации. ФГБУ «Гидрометцентр России» рекомендовано продолжить работу по развитию метода прогноза наличия низкой облачности по выходным данным модели COSMO-RU с другими вариантами горизонтального разрешения и над другими территориями.

Список литературы

1. Прикладная статистика: классификация и снижение размерности / под ред. С.А. Айвазяна – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
2. Ветрова Е.И., Скриптунова Е.Н., Шакина Н.П. Режим низкой облачности и ее прогноз на аэродромах европейской территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. – 2013. – № 1. – С. 2–31.
3. Шакина Н.П., Калугина Г.Ю., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р. Субъективный и объективный анализы атмосферных фронтов. 1. Объективные характеристики фронтов, проведенных синоптиками // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 7. – С. 19–30.
4. Ghirardelli J.E.: An overview of the redeveloped Localized Aviation MOS (LAMP) for short-range forecasting. – 2005. – <http://ams.confex.com.ams/pdf/papers/95038.pdf>.
5. Rudack D.E., Ghirardelli J.E. A comparative verification of localized aviation model output statistic program (LAMP) and numerical weather prediction (NWP) model forecasts of ceiling height and visibility // Wea. Forec. – 2010. – Vol. 25. – P. 1161 – 1178.

**Успешность расчета по начальным полям модели ПЛАВ («идеальный прогноз») наличия
низкой (ВНГО ≤1500 м) облачности ≥ 6 окт за период с мая 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,468	70,1	84,	85,5	67,8	29,9	0,53	0,53	532
Сыктывкар	0,385	57,6	84,7	81,9	62,3	42,4	0,44	0,41	720
С.Петербург	0,547	75,1	74,9	81,4	67,3	24,9	0,51	0,52	728
Минск	0,547	75,1	74,9	81,4	67,3	24,9	0,49	0,49	716
Н.Новгород	0,474	77,5	90,6	91,3	76,1	22,5	0,67	0,67	724
Шереметьево	0,455	74,4	90,1	90,3	74,1	25,6	0,64	0,63	701
Внуково	0,498	76,6	84,6	86,5	73,7	23,4	0,60	0,60	713
Казань	0,420	72,3	93,8	93,3	74,1	27,7	0,67	0,65	707
Домодедово	0,439	73,1	91,5	91,3	73,7	26,9	0,65	0,63	704
Нижнекамск	0,319	56,7	93,8	90,4	67,7	43,4	0,58	0,50	618
Уфа	0,485	73,8	82,4	83,6	72,1	26,2	0,56	0,56	668
Самара	0,320	62,9	96,3	94,0	73,9	37,1	0,68	0,60	728
Одесса	0,351	63,5	88,0	81,2	74,8	36,5	0,56	0,53	727
Симферополь	0,376	60,1	88,1	85,3	65,9	39,9	0,51	0,47	723
Воронеж	0,449	71,4	85,4	84,8	72,4	28,6	0,57	0,56	688
Харьков	0,548	71,8	74,4	82,9	60,6	28,3	0,43	0,44	724
Днепропетровск	0,350	47,4	83,1	80,4	51,9	52,6	0,32	0,28	700
Донецк	0,445	59,4	74,6	75,0	58,9	40,6	0,34	0,33	728
Луганск	0,414	63,3	86,3	85,4	64,9	36,7	0,50	0,48	647
Ростов-на-Дону	0,292	52,2	89,2	79,5	70,0	47,8	0,50	0,43	720
Астрахань	0,267	55,0	94,2	87,6	73,9	45,0	0,61	0,52	726
Краснодар	0,379	62,2	86,1	81,5	69,7	37,8	0,51	0,48	728
Майкоп	0,252	38,7	89,8	80,9	56,9	61,3	0,38	0,28	726
Среднее	0,411	65,1	86,9	85,3	68,0	34,9	0,53	0,51	16096

Таблица 4

Успешность прогноза наличия низкой (ВНГО ≤ 1500 м) облачности ≥ 6 окт с
заблаговременностью 12 ч по модели ПЛАВ за период с мая 2011 по апрель 2012 г.

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,467	70,8	79,0	78,2	71,7	29,2	0,50	0,50	531
Сыктывкар	0,384	57,3	84,4	81,5	62,1	42,7	0,44	0,40	719
С.Петербург	0,538	72,8	79,0	85,7	62,8	27,2	0,48	0,49	727
Минск	0,547	76,9	77,7	83,4	69,8	23,1	0,53	0,54	715
Н.Новгород	0,474	72,1	88,2	89,8	68,7	27,9	0,59	0,58	723
Шереметьево	0,456	73,3	87,7	87,8	73,2	26,7	0,61	0,60	700
Внуково	0,499	77,3	84,8	86,5	74,8	22,7	0,61	0,61	712
Казань	0,419	70,8	93,7	93,2	72,2	29,2	0,65	0,63	706
Домодедово	0,440	72,5	88,0	87,1	74,1	27,5	0,61	0,60	703
Нижнекамск	0,319	55,3	93,0	89,3	66,3	44,7	0,56	0,48	618
Уфа	0,484	74,4	78,6	78,3	74,7	25,6	0,53	0,53	667
Самара	0,319	60,6	95,2	92,2	71,9	39,4	0,64	0,56	727
Одесса	0,350	62,4	84,6	74,4	75,8	37,6	0,50	0,48	726
Симферополь	0,375	60,4	88,0	84,9	66,5	39,6	0,51	0,48	722
Воронеж	0,450	72,6	87,1	86,7	73,3	27,4	0,60	0,59	687
Харьков	0,549	75,4	75,3	81,9	67,5	24,6	0,49	0,50	723
Днепропетровск	0,351	61,2	84,5	74,7	74,4	38,8	0,49	0,47	699
Донецк	0,446	72,0	80,3	76,9	75,9	28,0	0,53	0,52	727
Луганск	0,415	64,7	87,8	86,9	66,4	35,3	0,53	0,51	646
Ростов-на-Дону	0,292	48,9	86,7	74,8	67,8	51,1	0,42	0,37	719
Астрахань	0,268	53,9	91,7	81,4	74,6	46,1	0,56	0,48	725
Краснодар	0,380	62,1	85,6	80,8	69,8	37,9	0,51	0,48	727
Майкоп	0,252	36,8	89,4	81,4	53,0	63,1	0,34	0,25	725
Среднее	0,411	65,8	85,9	83,6	69,7	34,2	0,53	0,51	16074

Таблица 5

**Успешность прогноза наличия низкой (ВНГО ≤ 1500 м) облачности ≥ 6 окт с
заблаговременностью 24 ч по модели ПЛАВ за период с мая 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Нб	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,466	70,3	76,0	73,7	72,8	29,7	0,46	0,46	530
Сыктывкар	0,384	54,1	82,0	79,7	57,7	45,9	0,37	0,34	718
С.Петербург	0,537	72,3	77,0	83,8	62,8	27,7	0,47	0,47	726
Минск	0,546	76,0	75,9	81,8	68,8	24,0	0,51	0,51	714
Н.Новгород	0,474	69,1	85,4	87,7	64,7	30,9	0,52	0,52	722
Шереметьево	0,456	70,2	83,9	84,0	70,0	29,8	0,54	0,53	699
Внуково	0,499	75,1	81,4	83,4	72,5	24,9	0,56	0,56	711
Казань	0,418	71,2	92,9	92,2	73,2	28,8	0,65	0,63	705
Домодедово	0,440	68,9	85,4	84,9	70,0	31,1	0,55	0,54	702
Нижнекамск	0,319	55,1	92,1	87,8	66,5	44,9	0,54	0,47	618
Уфа	0,483	74,3	76,7	75,5	75,6	25,7	0,51	0,51	666
Самара	0,320	59,9	95,9	93,5	70,6	40,1	0,64	0,56	726
Одесса	0,349	61,1	85,7	77,1	73,7	38,9	0,51	0,48	725
Симферополь	0,374	61,6	87,4	83,3	69,0	38,4	0,52	0,49	721
Воронеж	0,450	72,0	84,0	83,2	72,1	29,0	0,55	0,54	686
Харьков	0,548	72,3	67,3	73,7	65,6	27,7	0,39	0,40	722
Днепропетровск	0,351	60,3	85,8	78,0	72,2	39,7	0,50	0,47	698
Донецк	0,446	70,1	82,0	80,2	72,4	29,9	0,53	0,52	726
Луганск	0,414	64,4	83,3	80,5	68,5	35,6	0,49	0,47	645
Ростов-на-Дону	0,292	51,7	86,8	73,8	71,5	48,3	0,45	0,40	718
Астрахань	0,268	53,9	90,7	78,9	75,3	46,1	0,54	0,47	724
Краснодар	0,380	61,4	83,4	77,2	70,2	38,6	0,47	0,45	726
Майкоп	0,253	35,1	87,4	78,1	51,2	64,9	0,29	0,21	724
Среднее	0,411	64,6	84,2	81,5	68,8	35,4	0,50	0,48	16052

**Успешность расчета наличия низкой облачности ≥ 6 окт по начальным полям
модели COSMO-RU07 за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.			
Архангельск	0,475	76,4	79,7	78,0	78,2	23,6	0,52	402
Салехард	0,136	28,8	96,3	83,6	67,5	71,2	0,51	537
Сыктывкар	0,419	62,1	81,2	79,0	65,3	37,9	0,44	535
Таллинн	0,564	82,9	65,8	66,9	82,2	17,1	0,49	541
С.Петербург	0,549	79,2	67,5	69,1	78,0	20,8	0,47	543
Рига	0,494	83,3	76,4	72,8	85,8	16,7	0,59	543
Вильнюс	0,591	82,5	63,9	69,2	78,8	17,5	0,48	543
Минск	0,571	79,7	65,3	69,5	76,4	20,3	0,46	534
Н.Новгород	0,481	80,3	79,5	76,9	82,6	19,7	0,60	541
Шереметьево	0,481	74,0	85,5	86,9	71,7	26,0	0,59	524
Внуково	0,522	80,5	79,9	81,9	78,3	19,5	0,60	531
Казань	0,422	82,5	87,5	82,9	87,2	17,5	0,70	526
Домодедово	0,462	77,9	81,4	78,5	80,9	22,1	0,59	524
Нижнекамск	0,319	60,9	89,3	80,5	75,8	39,1	0,56	467
Уфа	0,491	77,7	75,9	73,9	79,5	22,3	0,53	499
Самара	0,328	72,1	91,6	84,3	84,1	27,9	0,68	543
Одесса	0,368	62,9	83,3	74,5	74,3	37,1	0,49	54,3
Симферополь	0,372	73,0	77,7	57,7	87,4	27,0	0,45	541
Воронеж	0,464	67,4	84,7	86,7	63,7	32,6	0,50	519
Харьков	0,546	73,2	68,8	74,7	67,1	26,8	0,42	542
Днепропетровск	0,358	67,2	82,7	69,7	81,0	32,8	0,51	525
Донецк	0,451	75,1	80,3	76,3	79,2	24,9	0,56	543
Луганск	0,415	71,2	80,6	73,3	79,0	28,8	0,52	496
Ростов-на-Дону	0,287	57,6	89,9	78,6	76,8	42,4	0,55	537
Астрахань	0,258	57,6	90,5	75,7	80,6	42,4	0,56	542
Краснодар	0,366	71,2	82,1	68,3	84,0	28,8	0,52	543
Майкоп	0,262	47,5	88,7	74,6	70,7	52,5	0,45	541
Мин. Воды	0,438	70,4	74,2	64,9	78,7	29,6	0,44	527
Сочи	0,248	59,0	83,6	46,8	89,3	41,0	0,36	509
Нальчик	0,318	44,0	79,5	66,5	60,6	56,0	0,27	506
Среднее	0,415	70,0	80,8	74,1	77,4	30,0	0,52	15747

**Успешность прогноза наличия низкой облачности ≥ 6 окт с заблаговременностью 12 ч
по модели COSMO-RU07 за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,482	67,8	78,2	80,8	64,3	32,2	0,45	0,45	400
Салехард	0,137	26,2	95,4	80,6	64,1	73,8	0,45	0,24	526
Сыктывкар	0,422	56,6	80,4	81,9	54,1	43,4	0,36	0,34	524
Таллинн	0,559	86,6	72,2	74,1	85,5	13,4	0,60	0,58	531
С.Петербург	0,545	77,6	74,3	79,0	72,7	22,4	0,52	0,52	532
Рига	0,496	80,6	79,6	78,8	81,3	19,4	0,60	0,60	532
Вильнюс	0,598	84,6	69,1	76,1	79,4	15,4	0,56	0,54	532
Минск	0,570	82,5	73,5	78,9	77,8	17,5	0,57	0,56	523
Н.Новгород	0,485	79,0	84,6	84,8	78,8	21,0	0,64	0,63	530
Шереметьево	0,487	72,6	87,7	90,0	67,7	27,4	0,58	0,57	513
Внуково	0,530	81,8	80,5	83,0	79,2	18,2	0,62	0,62	521
Казань	0,434	80,3	87,2	83,9	84,2	19,7	0,68	0,68	516
Домодедово	0,478	76,3	82,1	81,6	76,9	23,7	0,58	0,58	513
Нижнекамск	0,329	61,7	88,8	80,7	75,5	38,3	0,56	0,52	456
Уфа	0,497	82,1	74,1	70,0	85,0	17,9	0,55	0,55	489
Самара	0,327	65,3	90,1	82,2	78,8	34,7	0,61	0,57	532
Одесса	0,368	65,3	83,5	74,0	77,1	34,7	0,51	0,50	532
Симферополь	0,375	75,1	80,7	65,3	87,0	24,9	0,52	0,54	530
Воронеж	0,458	70,1	87,0	87,9	68,2	29,9	0,56	0,55	506
Харьков	0,552	75,7	76,2	82,9	67,2	24,3	0,50	0,51	531
Днепропетровск	0,359	67,3	84,6	73,9	79,9	32,7	0,54	0,53	513
Донецк	0,455	79,2	83,3	80,2	82,4	20,8	0,63	0,62	532
Луганск	0,414	70,9	80,3	72,6	78,9	29,1	0,52	0,51	485
Ростов-на-Дону	0,283	54,8	90,6	80,5	73,8	45,2	0,54	0,48	527
Астрахань	0,269	59,3	88,8	71,3	82,0	40,7	0,53	0,50	531
Краснодар	0,376	74,5	81,9	68,5	85,8	25,5	0,54	0,55	532
Майкоп	0,262	49,0	86,9	68,3	74,7	51,0	0,43	0,38	531
Мин. Воды	0,443	72,5	76,3	69,0	79,2	27,5	0,48	0,48	517
Сочи	0,244	51,7	87,0	62,3	81,3	48,3	0,44	0,41	501
Нальчик	0,325	55,0	83,0	68,9	72,8	45,0	0,42	0,39	496
Среднее	0,419	70,4	82,6	77,7	76,5	29,6	0,54	0,53	15434

**Успешность прогноза наличия низкой облачности ≥ 6 окт с заблаговременностью 24 ч
по модели COSMO-RU07 за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,485	67,6	78,2	81,3	63,3	32,4	0,56	0,56	408
Салехард	0,130	23,4	95,8	82,9	59,3	76,6	0,51	0,28	537
Сыктывкар	0,411	54,0	78,9	80,0	52,4	46,0	0,44	0,43	535
Таллинн	0,556	78,2	68,6	72,8	74,6	21,8	0,49	0,47	541
С.Петербург	0,547	75,0	71,1	76,8	69,1	25,0	0,47	0,46	543
Рига	0,501	77,8	73,9	72,1	79,3	22,2	0,59	0,59	543
Вильнюс	0,589	84,9	71,3	77,5	80,3	15,1	0,48	0,46	543
Минск	0,567	85,0	75,8	80,2	81,4	15,0	0,46	0,45	534
Н.Новгород	0,486	78,7	83,0	82,9	78,8	21,3	0,60	0,60	541
Шереметьево	0,484	71,8	85,5	87,7	67,8	28,2	0,59	0,58	523
Внуково	0,530	79,3	78,5	81,6	76,0	20,7	0,60	0,60	532
Казань	0,433	78,1	87,5	84,6	81,9	21,9	0,70	0,70	526
Домодедово	0,472	78,6	84,0	83,1	79,8	21,4	0,59	0,59	525
Нижнекамск	0,328	62,2	91,1	85,0	74,8	37,8	0,56	0,52	467
Уфа	0,494	81,0	74,6	70,9	83,8	19,0	0,53	0,54	500
Самара	0,331	63,2	92,5	87,8	74,7	36,8	0,68	0,66	542
Одесса	0,368	61,4	84,0	76,5	72,0	38,6	0,49	0,47	543
Симферополь	0,379	76,7	80,2	64,4	88,1	23,3	0,45	0,47	541
Воронеж	0,470	69,9	85,9	87,7	66,5	30,1	0,50	0,49	519
Харьков	0,548	76,3	79,8	85,9	67,8	23,7	0,42	0,42	541
Днепропетровск	0,359	63,9	85,3	76,7	75,7	36,1	0,51	0,50	526
Донецк	0,460	77,1	81,0	78,0	80,2	22,9	0,56	0,55	543
Луганск	0,411	66,8	81,4	76,0	73,6	33,2	0,52	0,52	496
Ростов-на-Дону	0,287	53,3	89,1	77,9	72,6	46,7	0,55	0,50	537
Астрахань	0,268	61,8	89,2	72,4	83,6	38,2	0,56	0,51	542
Краснодар	0,383	75,4	80,6	66,3	86,6	24,6	0,52	0,53	543
Майкоп	0,262	48,7	86,6	67,6	74,7	51,3	0,45	0,38	541
Мин. Воды	0,449	76,9	74,6	64,8	84,1	23,1	0,44	0,44	526
Сочи	0,245	47,9	87,1	64,8	77,2	52,1	0,36	0,39	511
Нальчик	0,323	58,8	84,7	71,3	76,1	41,2	0,27	0,24	507
Среднее	0,419	69,2	82,3	77,6	75,1	30,8	0,51	0,51	15758

**Успешность модельной облачности ≥ 6 окт в начальных полях модели COSMO-RU07
за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,475	80,0	77,5	73,3	83,4	20,0	0,57	0,57	402
Салехард	0,136	21,9	93,4	74,0	58,4	78,1	0,32	0,16	537
Сыктывкар	0,419	61,5	80,7	78,6	64,6	38,5	0,43	0,42	535
Таллинн	0,564	81,9	61,3	59,3	83,1	18,1	0,42	0,41	541
С.Петербург	0,549	79,6	64,7	64,1	80,0	20,4	0,44	0,43	543
Рига	0,494	85,6	73,4	66,8	89,1	14,4	0,56	0,56	543
Вильнюс	0,591	83,4	59,4	61,1	82,4	16,6	0,44	0,41	543
Минск	0,571	81,6	60,5	59,7	82,1	18,4	0,42	0,40	534
Н.Новгород	0,481	82,5	77,0	72,3	85,8	17,5	0,58	0,58	541
Шереметьево	0,481	78,1	75,9	72,2	81,2	21,9	0,54	0,54	524
Внуково	0,522	82,6	73,1	71,8	83,5	17,4	0,55	0,55	531
Казань	0,422	82,0	83,4	76,1	87,8	18,0	0,64	0,65	526
Домодедово	0,462	81,1	78,5	72,7	85,5	18,9	0,58	0,59	524
Нижнекамск	0,319	61,2	87,0	75,2	77,7	38,8	0,53	0,50	467
Уфа	0,491	79,3	65,7	53,1	86,6	20,7	0,40	0,40	499
Самара	0,328	74,7	88,4	76,4	87,4	25,3	0,64	0,63	543
Одесса	0,368	76,0	75,4	49,0	91,0	24,0	0,40	0,43	54,3
Симферополь	0,372	72,3	74,0	46,8	89,4	27,7	0,36	0,39	541
Воронеж	0,464	79,1	69,7	56,4	87,1	20,9	0,44	0,44	519
Харьков	0,546	81,5	57,5	46,3	87,4	18,5	0,34	0,32	542
Днепропетровск	0,358	72,0	76,3	50,5	89,0	28,0	0,40	0,42	525
Донецк	0,451	81,4	71,0	55,5	89,6	18,6	0,45	0,46	543
Луганск	0,415	74,9	75,4	60,7	85,5	25,1	0,46	0,48	496
Ростов-на-Дону	0,287	63,6	86,4	66,9	84,6	36,4	0,52	0,51	537
Астрахань	0,258	62,0	85,5	57,1	87,8	38,0	0,45	0,46	542
Краснодар	0,366	79,8	76,8	51,8	92,4	20,2	0,44	0,48	543
Майкоп	0,262	59,3	83,5	51,4	87,5	40,7	0,39	0,41	541
Мин. Воды	0,438	81,5	71,3	53,2	90,5	18,5	0,44	0,46	527
Сочи	0,248	57,4	78,6	21,4	94,8	42,6	0,16	0,20	509
Нальчик	0,318	53,3	78,6	54,7	77,7	46,7	0,32	0,32	506
Среднее	0,415	73,4	75,4	61,3	84,2	26,6	0,46	0,47	15747

**Успешность модельного прогноза облачности ≥ 6 окт с заблаговременностью 12 ч
в модели COSMO-RU07 за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,482	69,2	74,5	74,6	69,1	30,8	0,44	0,44	400
Салехард	0,137	21,2	93,4	75,0	55,7	78,8	0,31	0,15	526
Сыктывкар	0,422	55,7	80,2	82,4	52,1	44,3	0,34	0,32	524
Таллинн	0,559	88,2	68,3	67,7	88,5	11,8	0,56	0,54	531
С.Петербург	0,545	77,9	71,4	75,2	74,4	22,1	0,50	0,49	532
Рига	0,496	82,8	76,0	72,7	85,1	17,2	0,58	0,58	532
Вильнюс	0,598	87,1	64,1	67,9	85,0	12,9	0,53	0,50	532
Минск	0,570	85,7	68,3	70,7	84,4	14,3	0,55	0,53	523
Н.Новгород	0,485	81,3	81,3	79,8	82,8	18,7	0,63	0,63	530
Шереметьево	0,487	75,6	76,0	74,4	77,2	24,4	0,52	0,52	513
Внуково	0,530	83,1	74,4	74,6	82,9	16,9	0,58	0,57	521
Казань	0,434	80,6	84,7	79,9	85,3	19,4	0,65	0,65	516
Домодедово	0,478	78,4	78,3	75,5	81,0	21,6	0,56	0,57	513
Нижнекамск	0,329	65,5	87,2	76,0	80,4	34,5	0,56	0,54	456
Уфа	0,497	84,5	66,5	53,9	90,2	15,5	0,44	0,44	489
Самара	0,327	67,5	88,8	78,7	81,6	32,5	0,60	0,58	532
Одесса	0,368	77,6	74,5	45,9	92,3	22,4	0,38	0,42	532
Симферополь	0,375	72,6	74,4	49,2	88,8	27,4	0,38	0,41	530
Воронеж	0,458	76,0	74,5	66,8	82,1	24,0	0,49	0,49	506
Харьков	0,552	84,7	61,3	54,9	87,8	15,3	0,43	0,41	531
Днепропетровск	0,359	72,9	78,0	55,4	88,4	27,1	0,44	0,46	513
Донецк	0,455	86,0	73,7	60,7	91,7	14,0	0,52	0,54	532
Луганск	0,414	71,2	74,6	60,2	82,7	28,8	0,43	0,44	485
Ростов-на-Дону	0,283	58,4	86,4	67,8	81,0	41,6	0,49	0,46	527
Астрахань	0,269	61,8	83,6	53,1	87,9	38,2	0,41	0,43	531
Краснодар	0,376	80,5	74,6	47,5	93,1	19,5	0,41	0,44	532
Майкоп	0,262	57,5	83,7	52,5	86,2	42,5	0,39	0,40	531
Мин. Воды	0,443	82,0	72,8	57,6	89,9	18,0	0,48	0,49	517
Сочи	0,244	50,1	84,2	50,1	84,2	49,2	0,35	0,35	501
Нальчик	0,325	58,7	81,5	62,7	78,8	41,3	0,42	0,41	496
Среднее	0,419	72,7	77,1	66,1	82,1	27,3	0,48	0,49	15434

**Успешность модельного прогноза облачности ≥ 6 окт с заблаговременностью 24 ч
в модели COSMO-RU07 за период с июля 2011 по апрель 2012 г.**

Аэродромы	Повтор. явлен.	Оправдываемость, %		Предупрежденность, %		Ложн. тревоги, %	PI	Н _Б	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	0,485	68,5	74,6	75,8	67,1	31,5	0,43	0,43	408
Салехард	0,130	20,4	95,2	82,9	51,4	79,6	0,34	0,15	537
Сыктывкар	0,411	55,3	82,2	83,6	52,7	44,7	0,36	0,34	535
Таллинн	0,556	78,9	64,5	65,8	77,9	21,1	0,44	0,43	541
С.Петербург	0,547	76,3	69,5	73,7	72,4	23,7	0,46	0,46	543
Рига	0,501	80,0	71,1	66,2	83,4	20,0	0,50	0,50	543
Вильнюс	0,589	86,0	65,6	69,4	83,9	14,0	0,53	0,51	543
Минск	0,567	87,6	70,4	72,3	86,6	12,4	0,59	0,57	534
Н.Новгород	0,486	80,5	81,1	79,8	81,7	19,5	0,62	0,62	541
Шереметьево	0,484	77,0	76,7	74,3	79,3	23,0	0,54	0,54	523
Внуково	0,530	82,0	74,9	75,9	81,2	18,0	0,57	0,57	532
Казань	0,433	77,9	84,5	80,3	82,6	22,1	0,63	0,63	526
Домодедово	0,472	80,0	80,4	77,4	82,7	20,0	0,60	0,60	525
Нижнекамск	0,328	64,7	89,2	80,4	78,7	35,3	0,59	0,56	467
Уфа	0,494	85,1	67,6	55,5	90,5	14,9	0,46	0,46	500
Самара	0,331	66,2	90,3	82,8	79,1	33,8	0,62	0,58	542
Одесса	0,368	81,1	74,5	45,0	93,9	18,9	0,39	0,43	543
Симферополь	0,379	80,3	75,1	49,8	92,6	19,7	0,42	0,46	541
Воронеж	0,470	73,2	73,5	68,4	77,8	26,8	0,46	0,46	519
Харьков	0,548	86,1	63,6	58,2	88,6	13,9	0,47	0,45	541
Днепропетровск	0,359	69,3	77,7	56,1	86,1	30,7	0,42	0,44	526
Донецк	0,460	85,5	74,5	63,6	90,8	14,5	0,54	0,55	543
Луганск	0,411	67,9	75,5	63,2	79,1	32,1	0,42	0,43	496
Ростов-на-Дону	0,287	56,9	84,1	61,7	81,2	43,1	0,43	0,42	537
Астрахань	0,268	66,7	84,2	53,8	90,2	33,3	0,44	0,47	542
Краснодар	0,383	79,5	73,0	44,7	92,8	20,5	0,38	0,41	543
Майкоп	0,262	58,1	83,7	52,8	86,5	41,9	0,39	0,40	541
Мин. Воды	0,449	83,4	71,5	55,5	91,0	16,6	0,46	0,48	526
Сочи	0,245	51,2	84,0	50,4	84,5	48,7	0,35	0,35	511
Нальчик	0,323	59,6	80,9	60,4	80,5	40,4	0,41	0,41	507
Среднее	0,419	71,9	77,1	66,5	81,3	28,1	0,48	0,48	15758