

Н.П. Шакина, А.Н. Багров

МЕТОД ПРОГНОЗА ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМАХ ПО ВЫХОДНЫМ ДАННЫМ МЕЗОМАСШТАБНОЙ МОДЕЛИ COSMO-RU7

Метод прогноза высоты нижней границы слоистообразных облаков разработан в отделе авиационной метеорологии Гидрометцентра России в 2011–2013 гг. в рамках темы НИР 1.1.4.1 применительно к аэродромам европейской России и прилегающих территорий ближнего зарубежья [2]. В качестве предиктанта рассматривается наличие либо отсутствие облаков с нижней границей не выше 300 м при количестве облачности не менее 6 окт. Такие характеристики облачности соответствуют «сложным метеорологическим условиям» взлета и посадки воздушных судов [3].

Метод разработан на материале инструментальных наблюдений за высотой нижней границы облаков (ВНГО), выполнявшихся с дискретностью 30 мин или 1 ч на 45 аэродромах на указанной выше территории. Имеющийся архив аэродромных наблюдений включает данные за период 2001–2010 гг. Синхронные предикторы (температура и точка росы) брались из прогностической продукции оперативной мезомасштабной модели COSMO-Ru с шагом по горизонтали 7 км с заблаговременностью 12 и 24 ч на поверхности 1000 гПа в ближайшем к аэродрому узле модельной сетки (никакой интерполяции в пункт наблюдений не производилось).

Архив модельных прогностических данных, использованный для разработки метода, охватывал период с апреля 2010 г. по декабрь 2013 г. На этом материале были определены для каждого аэродрома решающие правила, служащие для разделения условий наличия и отсутствия предиктанта, т. е. облачности с указанными выше характеристиками.

Общий вид решающего правила имеет вид, вытекающий из известной формулы Е. С. Селезневой [4]:

$$(T - T_d) \leq K. \quad (1)$$

Здесь T и T_d – температура и точка росы; K – коэффициент, равный пороговому дефициту точки росы, при котором ВНГО составляет 300 м. Укажем связь (1) с формулой Е.С. Селезневой, согласно которой ВНГО рассчитывается как

$$\text{ВНГО} = 100 \cdot (\gamma - \gamma_\tau) \cdot (T - T_d). \quad (2)$$

Здесь γ и γ_τ – равновесный вертикальный градиент температуры воздуха и вертикальный градиент точки росы, причем под равновесным вертикальным градиентом температуры воздуха подразумевается вертикальный градиент температуры, устанавливающийся при квазистатических условиях в турбулентном потоке в приземном слое, введенный М.И. Будыко и М.И. Юдиным [1]. Средние значения указанных градиентов, согласно [4], составляют, соответственно, $0,65^\circ\text{C}/100$ м и $0,17^\circ\text{C}/100$ м. В этом случае (2) принимает вид:

$$\text{ВНГО} = 208 \cdot (T - T_d). \quad (3)$$

Тогда ВНГО будет равным или менее 300 м при $(T - T_d) \leq 1,44^\circ\text{C}$, т. е. коэффициент K в (1) оказывается равным $1,44^\circ\text{C}$.

Средние значения γ и γ_τ в [4] получены эмпирически по относительно небольшому объему данных самолетного зондирования в конкретных пунктах для слоистых и слоисто-кучевых внутримассовых облаков. В наших условиях выборка случаев наличия низкой неконвективной облачности включает как внутримассовые, так и фронтальные облака St, Sc и Ns во все сезоны на 45 аэродромах, расположенных в заметно различающихся физико-географических и циркуляционных условиях. Применимость выражения (1) к нашей выборке была оценена на материале 10-летнего ряда аэродромных наблюдений (причем значения температуры и точки росы брались из тех же аэродромных наблюдений). Было показано, что дефицит точки росы действительно является

наилучшим синхронным предиктором ВНГО, однако для получения наиболее тесных связей целесообразно определять K для каждого аэродрома на основе локальных данных. Если же ставится цель прогноза ВНГО по выходным данным численной модели, то следует определять K на основе модельных прогностических значений дефицита точки росы.

Такая работа была выполнена, и результаты – значения K для отдельных аэродромов по сезонам – представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения K в (1) по сезонам для различных аэродромов, найденные по данным COSMO-Ru7 о температуре и точке росы на поверхности 1000 гПа с заблаговременностью 24 ч за период апрель 2010 г. – декабрь 2013 г.

Аэродромы	Зима	Весна	Лето	Осень
Архангельск	1,8	2,5	4,0	1,4
Сыктывкар	2,0	2,0	2,0	1,5
Таллинн	1,4	2,0	3,0	2,2
Санкт-Петербург	1,4	1,5	3,0	1,8
Рига	1,4	2,2	3,0	2,0
Вильнюс	1,5	1,5	2,5	1,8
Минск	1,5	2,5	3,0	1,8
Нижний Новгород	1,8	2,5	3,0	1,8
Шереметьево	1,4	2,2	3,5	1,4
Внуково	1,4	2,5	4,0	1,4
Казань	1,5	2,0	4,0	2,0
Домодедово	1,5	1,5	5,0	1,4
Нижнекамск	1,8	2,2	5,5	1,8
Уфа	2,0	2,5	2,5	2,2
Самара	1,5	1,8	5,0	1,8
Одесса	1,8	3,0	5,5	2,2
Симферополь	2,5	3,5	5,0	4,0
Воронеж	1,5	2,0	6,0	2,0
Харьков	1,4	3,0	3,0	2,2
Днепропетровск	1,4	2,5	4,0	2,5
Ростов-на-Дону	1,4	4,0	4,5	4,0
Астрахань	3,0	4,0	5,5	4,0
Краснодар	2,0	2,2	3,5	3,5
Ставрополь	2,0	1,8	2,0	3,5
Минеральные Воды	1,8	2,5	4,5	2,5
Сочи	4,0	2,2	2,0	4,0
Нальчик	3,0	3,0	3,5	3,5

Успешность разделения случаев наличия и отсутствия низкой облачности с ВНГО \leq 300 м при количестве облаков \geq 6 окт на той же выборке (обучающей) показаны в табл. 2–4 в целом за период и отдельно в сроки 0 и 12 ч ВСВ. В сумме за оба срока результаты (критерии Пирса–Обухова PI и Хайдке–Багрова NI) достаточно высокие как в среднем (0,55 и 0,37 соответственно), так и по каждому из аэродромов. Однако успешность прогноза в сроки 0 и 12 ч ВСВ оказывается существенно различной. При исходном сроке 0 ч ВСВ прогноз хотя по-прежнему остается практически значимым как в среднем, так и на подавляющем большинстве аэродромов, однако средние значения критериев успешности заметно ниже (PI=0,48, NI=0,29), а на двух аэродромах (Архангельск и Минск) значения PI оказались ниже уровня практической значимости (0,30).

При начальном сроке 12 ч ВСВ успешность прогноза намного выше (табл. 4): средние значения критериев успешности PI=0,60, NI=0,47, а на индивидуальных аэродромах критерий Пирса–Обухова не опускается ниже 0,47, а в большинстве случаев превышает 0,50. Причиной столь сильной разницы между сроками является, по нашему мнению, низкая точность оценки балла облачности в ночное время. Действительно, количество облаков (в отличие от ВНГО, определяемой инструментально) наблюдатель определяет визуально, и при этом могут допускаться большие ошибки, в особенности в безлунные ночи. В результате данные аэродромных наблюдений за количеством облаков в ночное время являются ненадежными, что и приводит к ухудшению показателей успешности метода.

Оперативные испытания метода проводились в период с 1 января по 30 сентября 2014 года по 27 аэродромам, для которых имелись круглосуточные инструментальные наблюдения ВНГО с дискретностью 30 мин по списку, представленному ниже в табл. 5.

Оценка успешности прогноза ВНГО производилась путем сравнения прогностических данных о наличии или отсутствии ВНГО \leq 300 м при количестве облачности \geq 6 окт с фактом, т. е. с информацией телеграмм в коде METAR с соответствующего аэродрома в срок прогноза (телеграммы в коде METAR оперативно поступают в Гидрометцентр России, раскодируются в отделе авиационной метеорологии и пополняют базу данных аэродромных наблюдений.)

Таблица 2

Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7 наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности ≥ 6 окт за период с апреля 2010 г. по декабрь 2013 г.

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. трев., %	PI	HI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	23,5	47,2	91,5	77,8	73,3	52,8	0,51	0,42	958
Сыктывкар	12,2	27,9	96,3	80,4	71,2	72,1	0,52	0,28	1337
Таллинн	20,5	40,0	93,6	81,9	68,3	60,0	0,50	0,36	2404
С.-Петербург	16,2	31,4	95,2	83,0	65,0	68,6	0,48	0,29	2460
Рига	16,8	35,9	94,3	78,5	71,6	64,1	0,50	0,34	2377
Вильнюс	26,7	50,9	90,0	77,8	72,7	49,1	0,50	0,43	2378
Минск	20,4	35,2	94,5	86,5	59,2	64,8	0,46	0,30	2317
Нижний Новгород	16,4	31,6	95,1	83,0	64,7	68,4	0,48	0,29	2407
Шереметьево	14,6	32,2	96,5	85,2	69,2	67,8	0,54	0,32	2272
Внуково	19,3	35,4	95,1	86,5	62,3	64,6	0,49	0,32	2383
Казань	12,6	29,7	96,1	79,7	72,9	70,3	0,52	0,31	2341
Домодедово	17,2	39,0	95,2	82,0	73,4	61,0	0,55	0,39	2268
Нижнекамск	17,2	42,6	95,6	83,0	76,8	57,4	0,60	0,44	1981
Уфа	11,6	29,0	96,3	78,1	75,0	71,0	0,53	0,31	2209
Самара	11,5	34,7	96,7	79,2	80,6	65,3	0,60	0,38	2462
Одесса	12,1	33,4	96,0	75,8	79,2	66,6	0,55	0,36	2419
Симферополь	11,7	27,6	97,1	84,1	70,8	72,4	0,55	0,29	2370
Воронеж	17,0	44,2	94,8	78,7	79,7	55,8	0,58	0,45	2155
Харьков	15,8	43,5	95,7	80,9	80,2	56,5	0,61	0,45	2421
Днепропетровск	16,2	44,3	94,0	72,6	82,3	55,7	0,55	0,44	2277
Ростов-на-Дону	12,8	32,5	96,2	79,7	75,6	67,5	0,55	0,34	2430
Астрахань	6,9	23,3	97,6	73,1	82,1	76,7	0,55	0,28	2409
Краснодар	6,4	21,4	97,7	72,0	82,0	78,6	0,54	0,26	2454
Ставрополь	12,2	35,0	97,8	87,6	77,4	65,0	0,65	0,40	2381
Минеральные Воды	17,7	45,2	94,3	77,6	79,7	54,8	0,57	0,45	2243
Сочи	4,8	16,9	97,4	53,3	86,8	83,1	0,40	0,20	2194
Нальчик	19,2	51,1	94,9	81,4	81,5	48,9	0,63	0,51	2159
Среднее	15,0	36,0	95,6	80,4	74,8	64,0	0,55	0,37	60466

Таблица 3

**Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7
наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности
 ≥ 6 окт за период с апреля 2010 г. по декабрь 2013 г. за 0 ч ВСВ**

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. трев., %	PI	NI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	31,3	40,8	80,6	72,6	51,9	59,2	0,24	0,20	233
Сыктывкар	16,0	24,8	95,4	87,5	49,4	75,2	0,37	0,18	200
Таллинн	22,7	35,2	92,8	85,8	53,5	64,8	0,39	0,26	1210
С.-Петербург	17,7	27,6	95,5	89,0	49,9	72,4	0,39	0,21	1231
Рига	17,9	29,1	93,2	80,8	57,2	70,9	0,38	0,22	1193
Вильнюс	30,7	44,9	89,8	86,4	53,1	55,1	0,40	0,31	1200
Минск	23,1	29,3	92,9	91,5	33,7	70,7	0,25	0,14	1168
Нижний Новгород	19,2	28,5	93,4	85,5	49,0	71,5	0,34	0,20	1218
Шереметьево	18,8	30,0	94,7	87,2	53,0	70,0	0,40	0,23	1165
Внуково	22,4	32,7	95,3	92,3	45,2	67,3	0,38	0,23	1219
Казань	13,6	23,7	95,4	82,2	58,3	76,3	0,40	0,20	1196
Домодедово	18,8	33,2	95,6	88,4	58,8	66,8	0,47	0,29	1189
Нижнекамск	20,8	41,6	95,9	89,0	67,2	58,4	0,56	0,40	1054
Уфа	13,4	26,8	95,6	80,5	66,0	73,2	0,47	0,25	1152
Самара	13,8	32,5	97,1	86,5	71,2	67,5	0,58	0,34	1233
Одесса	14,0	31,1	96,4	84,1	69,7	68,9	0,54	0,31	1216
Симферополь	15,4	25,3	97,4	92,5	50,3	74,7	0,43	0,20	1210
Воронеж	18,6	38,0	94,6	82,7	69,2	62,0	0,52	0,36	1119
Харьков	17,9	37,9	96,3	88,0	68,6	62,1	0,57	0,37	1214
Днепропетровск	18,1	38,8	94,5	80,8	71,9	61,2	0,53	0,37	1185
Ростов-на-Дону	15,8	31,5	96,5	87,7	64,2	68,5	0,52	0,30	1232
Астрахань	9,5	24,7	97,2	80,0	74,3	75,3	0,54	0,27	1208
Краснодар	7,6	18,6	98,2	85,1	69,2	81,4	0,54	0,21	1230
Ставрополь	14,5	30,8	98,2	93,1	64,4	69,2	0,58	0,31	1207
Минеральные Воды	23,4	42,7	92,2	81,5	66,6	57,3	0,48	0,37	1156
Сочи	5,9	18,1	96,4	48,5	86,2	81,9	0,35	0,19	1115
Нальчик	21,9	48,2	95,3	87,1	73,7	51,8	0,61	0,47	1096
Среднее	17,5	32,3	95,4	85,8	61,9	67,7	0,48	0,29	30049

Таблица 4

**Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7
наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности
 ≥ 6 окт за период с апреля 2010 г. по декабрь 2013 г. за 12 ч ВСВ**

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. трев., %	PI	HI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	21,0	50,6	93,8	80,3	79,2	49,4	0,60	0,49	725
Сыктывкар	11,5	28,9	96,4	78,6	74,9	71,1	0,54	0,31	1137
Таллинн	18,3	49,6	94,2	77,1	82,5	50,4	0,60	0,49	1194
С.-Петербург	14,7	39,0	95,0	75,7	79,6	61,0	0,55	0,40	1229
Рига	15,8	50,0	95,0	75,9	85,8	50,0	0,62	0,51	1184
Вильнюс	22,7	67,2	90,1	65,9	90,6	32,8	0,56	0,57	1178
Минск	17,7	50,8	95,1	79,8	83,4	49,2	0,63	0,52	1149
Нижний Новгород	13,5	38,1	96,1	79,5	79,8	61,9	0,59	0,41	1189
Шереметьево	10,2	37,7	97,6	81,4	84,7	62,3	0,66	0,44	1107
Внуково	16,0	41,2	95,0	78,0	78,8	58,8	0,57	0,42	1164
Казань	11,5	44,9	96,6	76,5	87,8	55,1	0,64	0,49	1145
Домодедово	15,3	54,5	94,9	73,3	88,9	45,5	0,62	0,55	1079
Нижекамск	13,2	45,1	95,4	72,1	86,7	54,9	0,59	0,47	927
Уфа	9,6	33,6	96,9	74,5	84,3	66,4	0,59	0,38	1057
Самара	9,3	40,0	96,5	68,4	89,5	60,0	0,59	0,44	1229
Одесса	10,2	38,7	95,6	64,2	88,4	61,3	0,53	0,41	1203
Симферополь	7,8	37,4	97,0	67,0	90,5	62,6	0,58	0,42	1160
Воронеж	15,3	58,6	95,0	73,4	90,7	41,4	0,64	0,58	1036
Харьков	13,8	56,9	95,3	71,7	91,4	43,1	0,63	0,57	1207
Днепропетровск	14,2	59,7	93,6	61,3	93,2	40,3	0,54	0,54	1092
Ростов-на-Дону	9,7	34,7	96,0	66,4	86,6	65,3	0,53	0,38	1198
Астрахань	4,3	20,0	97,9	57,7	89,6	80,0	0,47	0,25	1201
Краснодар	5,1	34,0	97,3	52,4	94,5	66,0	0,47	0,37	1224
Ставрополь	9,8	46,4	97,5	79,1	90,1	53,6	0,69	0,53	1174
Минеральные Воды	11,7	52,7	95,8	69,3	91,8	47,3	0,61	0,54	1087
Сочи	3,6	15,5	98,4	61,5	87,4	84,5	0,49	0,20	1079
Нальчик	16,4	56,6	94,5	73,6	89,0	43,4	0,62	0,56	1063
Среднее	12,5	44,2	95,7	72,9	86,8	55,8	0,60	0,47	30417

Если было предсказано наличие явления и в срок прогноза на аэродроме наблюдалась низкая облачность в количестве ≥ 6 окт с нижней границей ≤ 300 м, то прогноз считался оправдавшимся. В остальных случаях (ВНГО > 300 м либо количество облаков < 6 окт, включая САВОК) прогноз считался не оправдавшимся. Характеристики оправдаемости для каждого аэродрома за период испытаний и в среднем по всем аэродромам рассчитывались в рамках технологии оценки для дихотомических переменных. Именно, рассчитывались оправдаемость прогноза наличия и отсутствия явления, предупрежденность наличия и отсутствия явления, а также процент ложных тревог. Рассмотрим результаты оперативных испытаний.

В табл. 5–7 приведены показатели успешности методического прогноза на 24 ч за оба срока и за весь период испытаний по 27 аэродромам, а также повторяемость явления и общее число случаев наличия информации о ВНГО на каждом аэродроме и в сумме по всем аэродромам. В среднем за оба срока (табл. 5) повторяемость явления невысока – от 4,3 % в Сочи до 19,4 % в Таллинне. Оправдаемость прогноза наличия явления может считаться удовлетворительной, поскольку она значительно превышает повторяемость явления (в 2–5 раз с минимумом в Архангельске, равным 1,6). На аэродромах с низкой повторяемостью явления при прогнозировании $\text{ВНГО} \leq 300$ м получается высокий процент ложных тревог, что негативно отражается на значениях критериев успешности (PI и NI). Тем не менее в среднем по всем аэродромам эти значения получены весьма высокими (PI=0,59, NI=0,35), по индивидуальным аэродромам они также высоки.

Сравнивая показатели успешности прогноза на сроки 0 и 12 ч ВСВ, снова обнаруживаем, как и при расчетах по обучающей выборке, значительное понижение успешности при прогнозе на срок 0 ч ВСВ, в сравнении со сроком 12 ч ВСВ. Так, в срок 0 ч ВСВ (табл. 6) средние PI и NI составляют 0,51 и 0,27 соответственно, а в срок 12 ч ВСВ – 0,65 и 0,50. По отдельным аэродромам разница также существенна. В Сыктывкаре и Архангельске в срок 0 ч ВСВ значения PI не достигают уровня практической значимости (0,30), критерий Хайдке–Багрова также весьма низок. На других аэродромах понижение успешности не столь заметно, и она остается, безусловно, практически значимой. В срок 12 ч ВСВ (табл. 7) в тех же Сыктывкаре и Архангельске прогноз оказывается вполне успешным, а в среднем по всем аэродромам PI=0,65, NI=0,50.

Таблица 5

**Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7
наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности
 ≥ 6 окт за период январь–октябрь 2014 г.**

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. трев., %	PI	HI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	17,2	27,9	93,5	81,2	56,3	72,1	0,38	0,21	401
Сыктывкар	5,8	11,3	98,7	87,9	57,5	88,7	0,45	0,11	570
Таллинн	19,4	42,9	93,7	79,1	74,5	57,1	0,54	0,41	468
С.-Петербург	17,1	38,8	95,1	81,6	73,5	61,2	0,55	0,38	574
Рига	17,5	43,2	94,3	77,8	78,2	56,8	0,56	0,43	462
Вильнюс	16,3	48,8	95,4	79,2	83,8	51,2	0,63	0,50	472
Минск	12,8	31,8	96,2	80,0	74,9	68,2	0,55	0,33	549
Н. Новгород	7,7	19,0	98,4	86,4	69,4	81,0	0,56	0,21	573
Шереметьево	11,4	36,3	96,5	76,6	82,7	63,7	0,59	0,40	561
Внуково	12,6	36,9	96,6	80,6	80,2	63,1	0,61	0,40	571
Казань	9,5	26,0	98,6	90,2	73,1	74,0	0,63	0,30	538
Домодедово	12,0	38,4	96,8	80,3	82,4	61,6	0,63	0,43	549
Нижекамск	14,9	30,6	98,0	92,6	63,0	69,4	0,56	0,30	455
Уфа	9,7	22,0	96,3	74,0	71,9	78,0	0,46	0,22	517
Самара	8,0	30,7	97,6	76,1	85,1	69,3	0,61	0,36	576
Одесса	12,1	38,4	98,5	91,3	79,8	61,6	0,71	0,45	570
Симферополь	12,2	27,5	98,2	91,3	66,6	72,5	0,58	0,29	378
Воронеж	12,5	56,2	96,4	75,8	91,6	43,8	0,67	0,59	529
Харьков	10,8	43,4	96,6	74,2	88,3	56,6	0,62	0,48	573
Днепро- петровск	9,2	31,5	96,1	65,4	85,5	68,5	0,51	0,34	564
Ростов- на-Дону	10,0	31,4	96,8	75,4	81,7	68,6	0,57	0,35	570
Астрахань	3,0	17,4	99,0	70,6	89,8	82,6	0,60	0,24	575
Краснодар	4,6	17,2	99,3	88,5	79,6	82,8	0,68	0,23	571
Ставрополь	10,0	35,2	98,4	87,7	82,1	64,8	0,70	0,42	570
Мин. Воды	14,5	38,0	94,8	74,0	79,6	62,0	0,54	0,38	532
Сочи	4,3	19,8	98,8	77,3	86,0	80,2	0,63	0,26	514
Нальчик	15,7	42,9	96,6	85,2	78,9	57,1	0,64	0,46	516
Среднее	11,3	32,0	97,0	80,8	78,2	68,0	0,59	0,35	14298

Таблица 6

**Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7
наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности
 ≥ 6 окт за период январь–октябрь 2014 г. за 0 ч ВСВ**

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. грев., %	PI	HI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	18,4	23,1	89,2	77,5	41,8	76,9	0,19	0,10	217
Сыктывкар	6,0	8,5	98,1	88,2	39,6	91,5	0,28	0,05	285
Таллинн	24,0	38,4	91,4	82,6	58,2	61,6	0,41	0,29	192
С.-Петербург	19,9	32,7	93,5	84,2	56,8	67,3	0,41	0,26	286
Рига	22,0	40,2	94,9	88,1	63,1	59,8	0,51	0,36	191
Вильнюс	22,2	37,2	93,4	85,4	59,0	62,8	0,44	0,30	185
Минск	15,2	26,0	97,6	92,9	52,6	74,0	0,45	0,22	276
Нижний Новгород	7,7	14,3	98,6	90,9	54,7	85,7	0,46	0,13	287
Шереметьево	11,3	24,8	96,6	81,2	68,7	75,2	0,50	0,25	284
Внуково	13,6	26,8	96,3	84,6	63,7	73,2	0,48	0,25	287
Казань	11,5	22,0	96,8	84,4	61,1	78,0	0,46	0,20	279
Домодедово	12,3	28,0	97,2	85,7	69,2	72,0	0,55	0,29	285
Нижнекамск	18,6	29,9	97,1	93,5	49,8	70,1	0,43	0,24	247
Уфа	12,1	20,9	94,2	71,9	62,5	79,1	0,34	0,17	264
Самара	10,5	32,0	97,2	80,0	80,2	68,0	0,60	0,36	287
Одесса	12,7	31,2	99,4	97,2	68,8	68,8	0,66	0,35	283
Симферополь	15,1	22,5	97,2	93,1	42,9	77,5	0,36	0,16	192
Воронеж	12,4	46,7	97,2	82,4	86,7	53,3	0,69	0,52	274
Харьков	12,3	34,9	97,0	82,9	78,4	65,1	0,61	0,38	285
Днепропетровск	10,6	26,7	96,5	76,7	75,2	73,3	0,52	0,28	284
Ростов-на-Дону	11,2	25,5	97,2	84,4	68,9	74,5	0,53	0,26	286
Астрахань	4,2	15,7	98,3	66,7	84,4	84,3	0,51	0,20	287
Краснодар	6,6	15,5	98,9	89,5	65,3	84,5	0,55	0,17	287
Ставрополь	13,0	32,7	98,3	91,9	71,7	67,3	0,64	0,36	284
Минеральные Воды	20,2	37,6	92,9	80,0	66,4	62,4	0,46	0,33	272
Сочи	6,4	23,6	98,1	76,5	83,1	76,4	0,60	0,22	266
Нальчик	18,9	41,4	97,4	92,0	69,6	58,6	0,62	0,42	264
Среднее	13,2	27,3	96,7	85,2	65,4	72,7	0,51	0,27	7116

Таблица 7

**Успешность прогноза с заблаговременностью 24 ч по модели COSMO-Ru7
наличия облачности с нижней границей ≤ 300 м при количестве облачности
 ≥ 6 окт за период январь–октябрь 2014 г. за 12 ч ВСВ**

Аэродромы	Повт. явл.	Оправдываем., %		Предупрежд., %		Ложн. трев., %	PI	HI	Число случ.
		налич.	отсут.	налич.	отсут.				
Архангельск	15,8	37,3	96,6	86,2	72,9	62,7	0,59	0,39	184
Сыктывкар	5,6	17,5	99,0	87,5	75,5	82,5	0,63	0,22	285
Таллинн	16,3	49,3	94,7	75,6	84,8	50,7	0,60	0,50	276
С.-Петербург	14,2	54,2	96,1	78,0	89,1	45,8	0,67	0,57	288
Рига	14,4	48,1	94,0	66,7	87,9	51,9	0,55	0,47	271
Вильнюс	12,5	83,9	96,1	72,2	98,0	16,1	0,70	0,75	287
Минск	10,3	65,4	95,5	60,7	96,3	34,6	0,57	0,59	273
Нижний Новгород	7,7	30,0	98,2	81,8	84,1	70,0	0,66	0,37	286
Шереметьево	11,6	76,7	96,4	71,9	97,1	23,3	0,69	0,71	277
Внуково	11,6	73,5	96,8	75,8	96,4	26,5	0,72	0,71	284
Казань	7,3	35,2	100,0	100,0	85,4	64,8	0,85	0,46	259
Домодедово	11,7	74,2	96,6	74,2	96,6	25,8	0,71	0,71	264
Нижнекамск	10,6	32,3	98,6	90,9	77,4	67,7	0,68	0,38	208
Уфа	7,1	24,1	97,9	77,8	81,3	75,9	0,59	0,29	253
Самара	5,5	28,2	98,0	68,8	89,7	71,8	0,58	0,35	289
Одесса	11,5	53,8	97,9	84,8	90,6	46,2	0,75	0,60	287
Симферополь	9,1	45,5	98,7	88,2	89,3	54,5	0,78	0,54	186
Воронеж	12,5	75,9	95,6	68,8	96,9	24,1	0,66	0,68	255
Харьков	9,4	73,9	96,2	63,0	97,7	26,1	0,61	0,65	288
Днепропетровск	7,9	50,0	95,7	50,0	95,7	50,0	0,46	0,46	280
Ростов-на-Дону	8,8	51,6	96,4	64,0	94,2	48,4	0,58	0,52	284
Астрахань	1,7	22,2	99,6	80,0	95,1	77,8	0,75	0,33	288
Краснодар	2,5	25,0	99,6	85,7	93,5	75,0	0,79	0,36	284
Ставрополь	7,0	42,1	98,4	80,0	91,7	57,9	0,72	0,51	286
Минеральные Воды	8,5	39,4	96,0	59,1	91,6	60,6	0,51	0,41	260
Сочи	2,0	12,9	99,5	80,0	88,9	87,1	0,69	0,19	248
Нальчик	12,3	46,0	96,0	74,2	87,8	54,0	0,62	0,49	252
Среднее	9,4	44,1	97,2	74,6	90,2	55,9	0,65	0,50	7182

Отметим, что отношение оправдываемости прогноза наличия явления и его повторяемости в период оперативных испытаний качественно не отличается от обучающей выборки и равно 2–12 для разных аэродромов, а процент ложных тревог несколько ниже, чем по обучающей выборке.

В целом, оперативные испытания показали высокую успешность прогноза ВНГО ≤ 300 м при количестве облачности ≥ 6 окт на основе выходной продукции мезомасштабной модели COSMO-Ru7 по рассмотренным 27 аэродромам. В соответствии с этим разработанный метод был рекомендован ЦМКП к использованию в качестве основного расчетного метода при прогнозировании условий полета на нижних уровнях для авиации на 27 аэродромах европейской России и ближнего зарубежья (акт о внедрении от 4 декабря 2014 г.).

Список литературы

1. Будыко М.И., Юдин М.И. Теплообмен поверхности земли с атмосферой и равновесный градиент температуры // Метеорология и гидрология. – 1948. – № 1. – С. 3–16.
2. Развитие методов и технологий авиационных прогнозов для нижних эшелонов полета: отчет о НИР, № гос. регистрации 01201166561. – М., 2013. – 107 с.
3. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с.
4. Селезнева Е.С. О высоте нижней границы внутримассовых облаков // Труды ГГО. – Вып. 63 (125). – 1956. – С. 22–31.