

Антропогенный фактор формирования метеорологических условий

И. П. Расторгуев¹, Л. М. Акимов²✉, Е. Л. Акимов², И. С. Брагин¹

¹Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Российская Федерация (394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54)

²Воронежский государственный университет, Российская Федерация (394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1)

Аннотация. Цель – оценка влияния антропогенного фактора на метеорологические условия полетов и его учет при прогнозировании метеорологических условий.

Материалы и методы. Использовались данные получасовых наземных метеорологических наблюдений Авиационной метеорологической станции гражданской авиации (АМСГ) аэропортов Московской воздушной зоны и двухсрочного радиозондирования атмосферы в Долгопрудном. Основные методы исследования – графоаналитический и физико-статистический.

Результаты и обсуждение. Разработана методика оценки влияния антропогенного загрязнения воздушной среды и его учета при разработке прогностических моделей характеристик метеорологических условий полетов.

Выводы. Проведена оценка влияния крупной агломерации на метеорологические условия полетов, разработаны прогностические модели для прогноза дальности видимости и высоты нижней границы облаков с учетом антропогенного воздействия на воздушную среду.

Ключевые слова: метеорологические условия полетов, антропогенная нагрузка, загрязнение воздуха, дальность видимости, высота нижней границы облачности, крупная агломерация, прогноз погоды для авиации.

Источник финансирования: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>.

Для цитирования: Расторгуев И. П., Акимов Л. М., Акимов Е. Л., Брагин И. С. Антропогенный фактор формирования метеорологических условий // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 86-99. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/86-99>

ВВЕДЕНИЕ

Метеорологические условия являются ключевым фактором при планировании и реализации деятельности в различных отраслях экономики, а также при обеспечении обороноспособности страны.

Наиболее востребованы данные о фактической и прогностической погоде в авиации. Несмотря на совершенствование авиационных комплексов и технического оснащения аэропортов, актуальность совершенствования метеорологического обеспечения полетов не теряется. Именно учет метеорологической информации позволяет существенно уменьшить количество авиационных инцидентов и авиационных происшествий, при-

водящих к значительным материальным убыткам и человеческим жертвам.

Особенно остро вопрос совершенствования методов анализа и прогноза погоды стоит в аэропортах, расположенных в непосредственной близости от крупных населенных пунктов, за счет дополнительного влияния антропогенных факторов на формирование метеорологических условий.

Дополнительную сложность представляет отсутствие в ведомственных метеорологических подразделениях оперативных данных о характере воздействия городской инфраструктуры на окружающую среду. Поэтому учет антропогенного влияния на пространственно-временное распре-



деление значений метеовеличин представляется возможным производить только по косвенным данным, имеющимся в распоряжении дежурной смены: сопутствующих значений метеовеличин у поверхности земли и в целом в приземном слое, в частности, параметров задерживающих слоев и характера адвекции. Этим определяется актуальность проведения исследования по влиянию крупного очага антропогенного воздействия на формирование метеорологических условий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В развитие подходов анализа и прогноза погоды, учитывающих физико-географические особенности местности [1, 2, 13, 15, 18-23], было проведено исследование по прогнозированию ме-

теорологических условий на фоне значительного антропогенного воздействия на воздушную среду.

Данному вопросу посвящено значительное число исследований [4, 6, 8, 12, 16, 25, 26], в том числе, непосредственно по столичному региону [3, 5, 7, 9- 11].

В качестве района для исследования влияния антропогенных факторов на метеорологические величины и, соответственно, на метеорологические условия полетов авиации была определена Московская агломерация, являющаяся самой большой в Европе, а в качестве исследуемых аэропортов – основные аэропорты Московского авиационного узла: Шереметьево, Домодедово, Внуково и Жуковский (рис. 1).

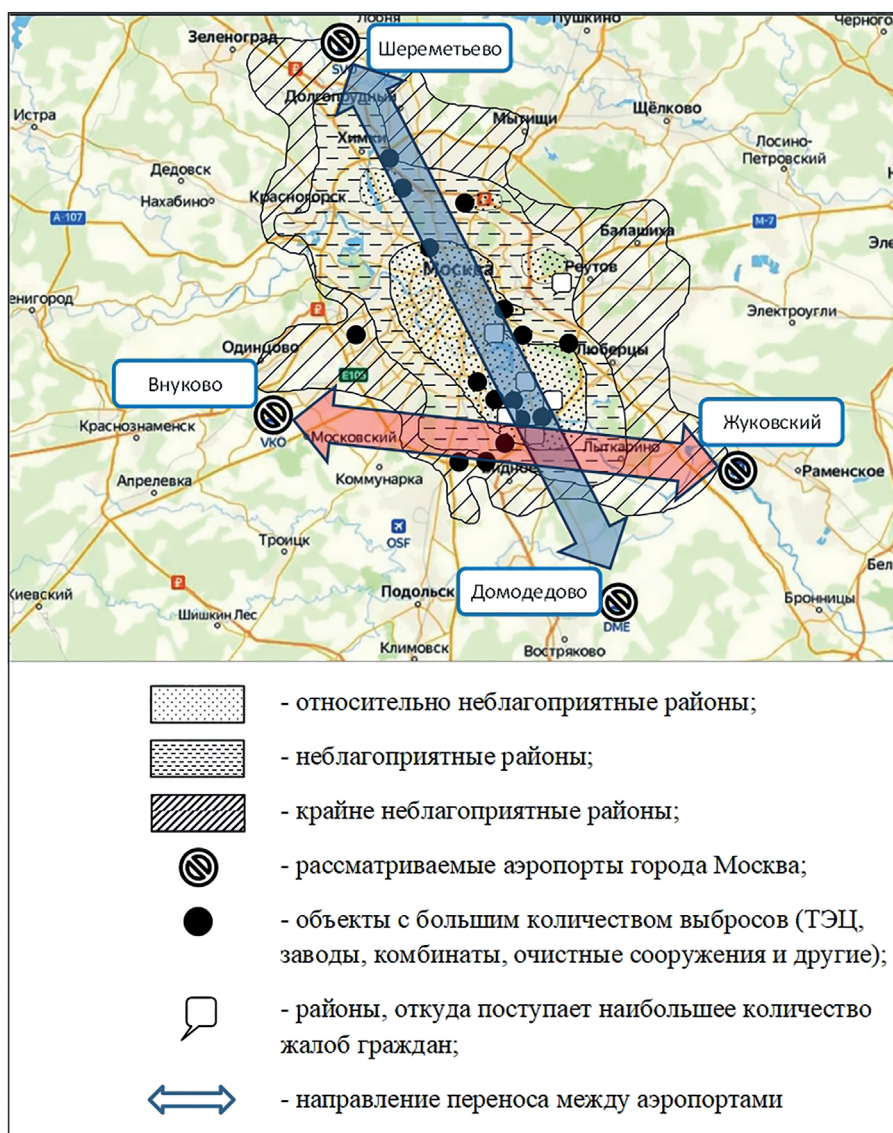


Рис. 1. Расположение рассматриваемых аэропортов Московской воздушной зоны относительно очагов и зон загрязнения города и окрестностей
[Fig. 1. Location of the airports under consideration in the Moscow air zone in relation to pollution hotspots and zones of the city and surroundings]

На предварительном этапе исследования была показана целесообразность использования данных о ветре на уровне 925 гПа для определения направления перемещения воздушной массы. Приземные данные о ветре в условиях масштабной застройки и холмистой местности не являются репрезентативными для отслеживания преобладающего переноса воздуха и содержащихся в нем загрязнений. Наиболее точное представление о смещении загрязнений на протяжении большей части года дает карта AT_{925} и только в летний период, за счет активного развития конвекции, предпочтительнее использовать карту AT_{850} .

Наибольшей информативностью обладают случаи, когда воздушный поток направлен из одного аэропорта в другой и, при этом, пересекает районы агломерации с наиболее загрязненным воздухом. С учетом географического расположения вышеперечисленных аэропортов рассматривались следующие ситуации: для ветров северных и южных направлений бралась пара из аэропортов Шереметьево и Домодедово, для ветров западных и восточных направлений – пара из аэропортов Внуково и Жуковский (на рис. 1 указанные направления показаны стрелками).

Для каждого аэропорта отбирались случаи, когда ветер на уровне 925 гПа был со стороны Москвы. Так, для Шереметьево, находящегося на северо-северо-западе от Москвы, отбирались случаи с направлением ветра на уровне 925 гПа от 135 до 180°; для Жуковского к востоку-юго-востоку от города – 270-340°, для Домодедово к юго-юго-востоку – 320-360°, для Внуково к западу-юго-западу – 20-90°.

Таким образом, были составлены 4 выборки, каждая из которых состояла из 1096 случаев для каждого аэродрома и для каждого срока наблюдений и включала в себя следующие данные: N – общее количество облачности, баллы; Nl – количество облачности нижнего яруса, баллы; h – высота нижней границы облачности, м; V – метеорологическая дальность видимости, км; ff – скорость ветра на высоте 2 м, м/сек; T – температура воздуха, °C; Td – температура точки росы, °C; F – относительная влажность воздуха, %; D – дефицит точки росы, °C, а также данные о явлениях погоды и распределении температурно-влажностных характеристик воздуха и параметров ветра в атмосфере до высоты 2000 м.

Алгоритм проведения исследования антропогенного влияния на метеорологические условия показан на схеме (рис. 2).



Рис. 2. Алгоритм проведения исследования
[Fig. 2. Research algorithm]

Полученные результаты представлены в таблицах 1-3.

При расчете средних значений изменения метеорологической дальности видимости учитывались только те случаи, когда в обоих пунктах наблюдения отсутствовали осадки, поскольку при

их выпадении видимость снижается за счет самих осадков, а не из-за частиц загрязняющих веществ. Рассматривались только случаи с ограниченной видимостью, поскольку детализация значений видимости при значениях более 10 км в METAR не предусмотрена.

Таблица 1

Среднее изменение метеорологических величин при прохождении воздушной массы через город в ночное время
[Table 1. Average change in meteorological values as the air mass passes through the city at night]

Срок наблюдения: 03 час (синхронные наблюдения) / Observation time: 03 hours (synchronous observations)									
Направление ветра / Direction of the wind	N, балл / N, mark	N _p , балл / N _p , mark	h, м	V, км	ff, м/с	T, °C	T _d , °C	F, %	D, °C
Год / Year									
Северное	-1,3	-1,4	16	-1,20	0,0	0,3	-0,8	-6,5	1,1
Южное	0,6	0,7	-46	-1,15	0,1	0,6	0,9	2,8	-0,4
Западное	-0,4	0,0	137	-2,05	-1,0	0,7	0,7	0,3	-0,1
Восточное	0,0	0,0	-164	-1,03	0,3	-0,1	-1,1	-4,9	1,0
Среднее значение	-0,3	-0,2	-14	-1,36	-0,2	0,4	-0,1	-2,1	0,4
Теплое время года / Warm season									
Северное	-2,2	-2,6	-135	-1,38	-0,1	0,5	-0,7	-6,5	1,1
Южное	0,9	1,6	38	-0,81	0,1	0,5	0,8	2,7	-0,3
Западное	-0,7	0,1	134	-3,10	-1,0	0,7	0,7	0,1	0,0
Восточное	0,4	0,5	-171	0,15	0,4	-0,1	-1,1	-5,0	1,1
Среднее значение	-0,4	-0,1	-34	-1,29	-0,2	0,4	-0,1	-2,2	0,5
Холодное время года / Cold season									
Северное	-0,9	-0,9	102	-0,50	0,2	0,1	-1,0	-6,4	1,1
Южное	0,4	0,3	-85	-1,88	0,1	0,7	1,0	2,9	-0,4
Западное	-0,2	-0,1	140	-0,87	-0,9	0,7	0,7	0,6	-0,1
Восточное	-0,8	-0,9	-150	-2,05	0,3	-0,1	-0,9	-4,6	0,8
Среднее значение	-0,4	-0,4	2	-1,33	-0,1	0,3	0,0	-1,9	0,4

Для расчета изменений характеристик воздушной массы были рассчитаны средние дневные и ночные разности всех метеорологических характеристик для теплого и холодного времени года (с апреля по октябрь и с ноября по март соответственно), а также среднегодовые разности между значениями этих величин до и после прохождения воздушной массы через город. Расчеты производились по данным синхронных наблюдений в аэропортах за 03 и 15 часов, а также асинхронных наблюдений, где изначальные данные о метеорологических характеристиках воздушной массы до прохождения над городом брались за 3 часа, а данные воздушной массы, прошедшей через город – за 15 часов.

Согласно данным в таблице 1, в ночное время как в целом за год, так и отдельно в холодное или теплое время года при прохождении воздушной массы

через город незначительно уменьшается скорость ветра у земли (в среднем на 0,2 м/с), увеличивается температура воздуха (в среднем на 0,4 °C) и ухудшается метеорологическая дальность видимости (в среднем за год на 1,36 км, в теплое время года при потоках с запада на восток среднее ухудшение видимости достигает 3,1 км). Высота нижней границы облачности при западных потоках в среднем за год повышается, при восточных – понижается, при северных и южных потоках может как повышаться, так и понижаться в зависимости от времени года.

Анализ изменений метеорологических величин по данным синхронных наблюдений в 15 часов (табл. 2) показал, что при прохождении воздушной массы через город наблюдается в теплое время незначительное уменьшение, а в холодное время увеличение количества общей облачности и облачности нижнего яруса, повышается высота

Среднее изменение метеорологических величин
при прохождении воздушной массы через город в дневное время
[Table 2. Average change in meteorological values as the air mass passes through the city during the day]

Срок наблюдения: 15 час (синхронные наблюдения) / Observation time: 15 hours (synchronous observations)									
Направление ветра / Direction of the wind	N, балл / N, mark	N ₁ , балл / N ₁ , mark	h, м	V, км	ff, м/с	T, °C	T _d , °C	F, %	D, °C
Год / Year									
Северное	-0,8	-0,9	-14	-0,63	0,4	0,6	-0,8	-5,0	1,4
Южное	0,9	1,1	92	-1,24	-0,3	-0,2	1,0	4,4	-1,1
Западное	-1,0	-0,9	-10	-1,36	-0,7	1,0	1,0	0,3	0,0
Восточное	0,6	0,8	93	-1,66	0,6	-0,8	1,0	-1,3	0,2
Среднее значение	-0,1	0,0	40	-1,22	0,0	0,2	0,5	-0,4	0,1
Теплое время года / Warm season									
Северное	-1,1	-1,7	-282	-0,43	0,5	0,4	-0,7	-2,8	1,1
Южное	1,0	1,2	251	-0,63	-0,3	-0,6	0,9	1,5	5,0
Западное	-0,6	-0,6	55	-1,03	-0,6	1,2	1,2	-0,1	0,0
Восточное	1,8	2,2	201	-1,50	0,5	-0,9	-0,9	-0,2	0,1
Среднее значение	-0,3	-0,3	56	-0,90	0,0	0,0	0,1	-0,4	1,6
Холодное время года / Cold season									
Северное	0,3	0,3	3	-1,60	1,0	0,2	-0,6	-4,2	0,9
Южное	0,9	1,0	-13	-1,08	-0,3	0,4	1,0	3,7	-0,6
Западное	-0,5	-0,4	37	-1,00	-0,8	0,6	1,1	2,3	-0,5
Восточное	0,3	0,5	124	-2,00	0,9	-0,5	-1,2	-4,4	0,7
Среднее значение	0,2	0,3	38	-1,42	0,2	0,2	0,1	-0,6	0,1

нижней границы облачности, температура воздуха в среднем повышается на 0,2 °C, а метеорологическая дальность видимости ухудшается, особенно в холодное время года (изменения составляют в среднем -0,9 км летом и -1,42 км зимой, среднегодовое изменение -1,22 км).

Анализ изменений по данным асинхронных наблюдений (табл. 3) показал, что в дневное время наблюдалось большее количество как общей облачности, так и облачности нижнего яруса, повышалась высота нижней границы облачности, в целом улучшалась метеорологическая дальность видимости (за исключением случаев с восточными направлениями ветра), увеличивались скорость ветра и температура воздуха, уменьшалась относительная влажность воздуха. Особенно сильно значения метеорологических величин изменялись в летнее время. Однако основной причиной данных изменений следует считать суточный ход метеорологических величин, на фоне которого влияние антропогенных факторов стало относительно незначительным.

Для более объективной оценки ухудшения видимости дополнительно было рассчитано среднее

значение отношения конечной метеорологической дальности видимости к изначальной относительно прохождения воздушной массы над городской территорией (табл. 4).

Анализ таблицы 4 позволяет заключить, что метеорологическая дальность видимости при прохождении воздушной массы над городом в среднем ухудшается на 15 % в ночное время и на 12 % в дневное время. Большее ухудшение видимости в ночное время можно объяснить частым наличием задерживающих слоев в атмосфере на высоте до 1000 м, возникающей за счет ночного выхолаживания земной поверхности и приземного слоя атмосферы. Инверсии удерживают примеси в под-инверсионном слое, и из-за увеличения их концентрации ухудшается метеорологическая дальность видимости.

С целью оценки влияния антропогенных факторов на выпадение осадков для каждого случая было посчитано количество следующих случаев (табл. 5): 1) осадки были и до, и после прохождения воздушной массы над городской территорией; 2) осадки до прохождения воздушной массы через город были, но после ослабли или прекратились;

Таблица 3

Среднее изменение метеорологических величин
при прохождении воздушной массы через город при асинхронных наблюдениях
[Table 3. Average change in meteorological values
as the air mass passes through the city during asynchronous observations]

Срок наблюдения: 03 и 15 час (асинхронные наблюдения) / Observation term: 03 and 15 hours (asynchronous observations)									
Направление ветра / Direction of the wind	N, балл / N, mark	N _p , балл / N _p , mark	h, м	V, км	ff, м/с	T, °C	T _p , °C	F, %	D, °C
Год / Year									
Северное	0,5	0,5	392	2,47	1,8	6,2	-1,7	-32,0	7,9
Южное	1,1	1,1	160	2,81	1,2	5,0	1,1	-14,4	3,8
Западное	0,5	0,7	390	3,50	0,7	5,8	0,6	-21,0	5,2
Восточное	1,9	1,8	117	-1,75	1,8	0,7	-0,9	-6,9	1,6
Среднее значение	1,0	1,0	265	1,76	1,4	4,4	-0,2	-18,6	4,6
Теплое время года / Warm season									
Северное	0,9	0,9	650	3,70	2,2	8,0	-2,4	-40,5	10,4
Южное	2,2	2,2	483	3,85	1,7	7,5	1,0	-25,0	6,5
Западное	1,2	1,6	572	3,52	1,2	7,6	0,5	-28,0	7,1
Восточное	1,3	1,4	67,5	1,00	1,5	0,8	-2,7	-14,3	3,5
Среднее значение	1,4	1,5	443	3,02	1,6	6,0	-0,9	-27,0	6,9
Холодное время года / Cold season									
Северное	-0,1	-0,1	112	1,64	1,1	3,2	-0,6	-18,4	3,7
Южное	0,4	0,5	-26	2,12	0,6	2,3	1,4	-3,4	0,8
Западное	-0,3	-0,1	194	3,46	0,0	2,9	0,9	-9,5	2,0
Восточное	2,3	2,2	129	-2,67	1,9	0,7	-0,3	-4,4	1,0
Среднее значение	0,6	0,6	102	1,14	0,9	2,3	0,3	-8,9	1,9

Таблица 4

Изменение метеорологической дальности видимости
[Table 4. Change of meteorological visibility range]

Срок наблюдения / Observation period	Отношение конечной видимости к изначальной / Ratio finite visibility to the original	Отношение конечной видимости к изначальной, % / Ratio of final visibility to initial visibility, %	Ухудшение видимости, % / Deterioration of visibility, %
03 час	0,85	85	15
15 час	0,88	88	12

3) осадки после прохождения воздушной массы через город начались либо усилились; 4) осадков не было ни до, ни после прохождения воздушной массы через город.

В 36 % ночных и в 34 % дневных случаях осадки после прохождения воздушной массы через город начинались или усиливались. Это можно объяснить тем, что примеси, содержащиеся в городском воздухе, являются ядрами конденсации и, соответственно, при достаточном содержании влаги в воздухе способствуют конденсации или сублимации водяного пара и выпадению осадков. За счет большой протяженности города на пути

следования воздушной массы (порядка 20-30 км) к моменту, когда частицы воздуха проходят границу города и подходят к одному из пунктов наблюдения, которые также находятся на небольшом удалении от Москвы, водяной пар в ряде случаев успевает сконденсироваться (сублимироваться), в облаках создается коллоидная неустойчивость, что способствует выпадению осадков.

Таким образом, антропогенные факторы, в частности, выбросы загрязняющих веществ от объектов промышленности, отопительных систем, автомобильного транспорта и других источников, попадающие в атмосферу, при прохожде-

Данные о наличии или отсутствии осадков до и после прохождения воздушной массы через город
 [Table 5. Data on the presence or absence of precipitation before and after the passage of the air mass through the city]

Направление ветра / Wind direction	Количество случаев / Number of cases			
	Осадки были и до, и после города / There was precipitation both before and after the city	Осадки до города были, после ослабли либо прекратились / Precipitation before the city was, after that it weakened or stopped	Осадки после города начались либо усилились / Precipitation after the city started or intensified	Осадков не было ни до, ни после города / There was no precipitation before or after the city
Срок наблюдения: 03 час / Observation period: 03 hours				
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	3	1	4	17
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	37	12	24	118
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	21	15	9	202
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	3	3	4	74
Срок наблюдения: 15 час / Observation period: 15 hours				
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	6	4	6	26
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	38	11	22	160
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	27	15	15	252
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	4	18	15	77

нии воздушной массы над Москвой, оказывают влияние на многие метеорологические величины, что может сказаться на деятельности потребителей метеорологической информации. Наиболее чувствительной к таким изменениям на нижнем пределе допустимых значений является авиация, а наиболее важными для авиации метеорологическими величинами являются видимость и высота нижней границы облачности.

Для альтернативного (понизится – повысится) и количественного прогноза изменения основных характеристик метеорологических условий при обеспечении авиации были разработаны прогностические правила на основе дискриминантного и регрессионного анализа. В качестве предикторов были взяты данные аэрологических и наземных наблюдений в 03 часа в каждом из аэропортов, в качестве предиктантов – значения высоты нижней границы облач-

ности и метеорологической дальности видимости в 15 часов в аэропортах, находящихся за городом относительно направления перемещения воздушной массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные дискриминантные функции представлены в таблицах 6 и 8, где ff – скорость ветра на высоте 2 м, м/с; h – высота нижней границы облачности, м; ε – коэффициент эффективности инверсии [14]; D – дефицит точки росы, °С; U – относительная влажность воздуха, %; S – метеорологическая дальность видимости, км; ff_{925} – скорость ветра на уровне 925 гПа, м/с; T – температура воздуха, °С.

В индексе цифра «03» означает, что данные взяты за 03 часов, буква обозначает аэропорт, откуда брались данные или для которого проводится расчет: «Д» – Домодедово, «Ш» – Шереметьево, «В» – Внуково, «Ж» – Жуковский.

Таблица 6

Дискриминантные функции прогноза изменения высоты нижней границы облаков (ВНГО)
[Table 6. Discriminant functions of lower cloud boundary height change prediction]

Направление ветра / Wind direction	Дискриминантная функция / Discriminant function
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	$L_{hД} = -1,648 ff_{03Д} + 0,007h_{03Ш} + 0,135\Theta_{03} + 1,912$
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	$L_{hШ} = 0,01 h_{03Ш} - 1,313D_{03Ш} - 1,865$
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	$L_{hЖ} = 0,005 h_{03В} + 0,62D_{03В} - 0,166ff_{03В} - 2,575$
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	$L_{hВ} = -2,991D_{03В} + 0,004h_{03Ж} - 0,154U_{03Ж} + 0,483ff_{03Ж} + 16,9$

Таблица 7

Значения показателей успешности дискриминантных функций прогноза изменения высоты нижней границы облачности
[Table 7. Values of the success rates of the discriminant functions of forecasting changes in the height of the lower cloud boundary]

Направление ветра / Wind direction	Показатель успешности / Success rate		
	Общая оправдываемость, % / Total plausibility, %	Оправдываемость повышения ВНГО, % / Plausibility of increasing VNGO, %	Оправдываемость понижения ВНГО, % / Plausibility of downgrading VNGO, %
Северное	87,3	93,0	78,6
Южное	86,9	94,4	76,0
Западное	77,2	79,1	74,6
Восточное	65,1	57,9	70,8

Таблица 8

Дискриминантные функции прогноза изменения метеорологической дальности видимости
[Table 8. Discriminant functions of meteorological visibility range change prediction]

Направление ветра / Wind direction	Дискриминантная функция / Discriminant function
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	$L_{SD} = 0,006 h_{03Д} + 0,411U_{03Д} + 0,937S_{03Ш} - 45,393$
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	$L_{SШ} = 0,848 S_{03Ш} - 0,288T_{d03Ш} - 0,213ff_{92503} - 4,192$
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	$L_{SЖ} = 0,753 S_{03В} + 0,113\Theta_{03} - 0,103T_{03Ж} - 6,177$

Прогностическое заключение формулируется исходя из знака дискриминантной функции L_h (L_s). Отрицательным значениям соответствовало ожидаемое понижение (ухудшение), а положительным – повышение (улучшение) высоты нижней границы облачности (метеорологической дальности видимости).

Для оценки полученных дискриминантных функций по данным контрольных выборок были рассчитаны общая оправдываемость и оправдываемости прогноза повышения и понижения ВНГО (табл. 7).

В таблице 8 представлены лишь три дискриминантных функции. Дискриминантную функцию

изменения метеорологической дальности видимости при восточном направлении ветра (поток с Жуковского на Внуково) построить не представилось возможным ввиду недостаточного количества случаев с восточными направлениями ветра. Это являлось прямым следствием того, что восточные ветра в Москве имеют наименьшую повторяемость относительно других направлений ветра как в целом за год, так и отдельно по сезонам.

Аналогичным образом, как и для высоты нижней границы облачности, были оценены дискриминантные функции изменения метеорологической дальности видимости (табл. 9).

Значения показателей успешности дискриминантных функций
изменения метеорологической дальности видимости (МДВ)

[Table 9. Values of success rates of discriminant functions of changes in meteorological range of visibility (MVR)]

Направление ветра / Wind direction	Показатель успешности / Success rate		
	Общая оправдываемость, % / Total plausibility, %	Оправдываемость улучшения МДВ, % / Plausibility of Justification for improving the MVR, %	Оправдываемость ухудшения МДВ, % / Plausibility of MVR deterioration, %
Северное	75,0	80,0	71,2
Южное	90,4	90,9	90,2
Западное	77,9	73,9	80,0

Анализ рассчитанных показателей успешности, представленных в таблицах 7 и 9 показал, что полученные дискриминантные функции для качественного прогноза изменения как высоты нижней границы облачности, так и метеорологической дальности видимости в рассматриваемых аэропортах с заблаговременностью 12 часов по данным наземных и аэрологических наблюдений за 03 часов в целом обладают достаточной точностью для их применения при метеорологическом обеспечении авиации в исследуемом районе.

Для разработки количественного прогноза изменения рассматриваемых метеорологических величин, на предварительном этапе был проведен корреляционный анализ элементов архивной выборки, на основании которого был составлен предварительный перечень предикторов. Непосредственно построение прогностических регрессионных моделей осуществлялось с использованием процедуры последовательного присоединения предикторов пошагового линейного регрессионного анализа (табл. 10, 11).

Таблица 10

Регрессионные модели прогноза изменения высоты нижней границы облачности
[Table 10. Regression models for predicting changes in the height of the lower cloud boundary]

Направление ветра / Wind direction	Регрессионная модель / Regression model
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	$\Delta h_{3-15Д} = -1,058h_{03Ш} + 116,1ff_{03Д} + 13,5T_{03Ш} + 208,14$
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	$\Delta h_{3-15Ш} = -0,918h_{03Д} + 165,8D_{03Д} + 16,97T_{d03Ш} + 131,41$
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	$\Delta h_{3-15Ж} = -0,957h_{03В} - 13,934ff_{92503} + 6,9$
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	$\Delta h_{3-15В} = -1,13h_{03Ж} + 0,812h_{03В} + 83,123D_{03Ж} - 33,494$

Таблица 11

Регрессионные модели прогноза изменения метеорологической дальности видимости
[Table 11. Regression models for predicting changes in meteorological visibility range]

Направление ветра / Wind direction	Регрессионная модель / Regression model
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	$\Delta S_{3-15Д} = -1,376S_{03Ш} - 0,184U_{03Д} - 0,089Э_{03} + 26,9$
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	$\Delta S_{3-15Ш} = -0,692S_{03Д} + 0,222T_{d03Ш} + 1,146\gamma_{u03} + 7,02$
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	$\Delta S_{3-15Ж} = -0,780S_{03В} + 0,431T_{03Ж} - 0,384T_{03В} + 7,02$
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	$\Delta S_{3-15В} = -0,734S_{03Ж} + 0,289S_{03В} + 0,002h_{03Ж} + 4,048$

Критерии успешности разработанных прогностических моделей регрессии для расчета изменения высоты нижней границы облачности и метеорологической дальности видимости представлены в таблицах 12 и 13 соответственно, где Δh_{3-15} и $-\Delta V_{3-15}$

изменения высоты нижней границы облачности (м) и метеорологической дальности видимости (км) между 15 ч и 03 ч в соответствующем аэропорте; γ_u – вертикальный градиент температуры в инверсионном слое до высоты 1000 м, °C/(100 м).

Таблица 12

Показатели успешности прогностических уравнений изменения метеорологической дальности видимости
[Table 12. Indicators of success of predictive equations of changes in meteorological visibility range]

Направление ветра / Wind direction	R ²	$\Delta_{V_{об}}$, км	$\Delta_{V_{к}}$, км	$\Delta_{V_{<3_{об}}}$, км	$\Delta_{V_{<3_{к}}}$, км
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	0,79	1,21	1,65	0,39	0,51
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	0,79	1,21	1,65	0,42	0,61
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	0,74	1,01	1,37	0,37	0,43
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	0,79	1,21	1,46	0,42	0,62

Таблица 13

Показатели успешности прогностических уравнений изменения высоты нижней границы облачности
[Table 13. Indicators of the success of predictive equations of changes in the height of the lower boundary of cloud cover]

Направление ветра / Wind direction	R ²	$\Delta_{h_{об}}$, м	$\Delta_{h_{к}}$, м	$\Delta_{h_{<300_{об}}}$, м	$\Delta_{h_{<300_{к}}}$, м
Северное (поток с Шереметьево на Домодедово)	0,69	112,2	142,5	66,8	77,5
Южное (поток с Домодедово на Шереметьево)	0,78	131,1	158,8	60,4	69,4
Западное (поток с Внуково на Жуковский)	0,62	186,1	217,9	74,3	90,7
Восточное (поток с Жуковского на Внуково)	0,76	179,0	213,6	70,0	82,1

Оценка полученных регрессионных моделей производилась при помощи таких показателей успешности, как коэффициент детерминации (R²) и средняя абсолютная ошибка, которые были рассчитаны по обучающим и контрольным выборкам ($\Delta_{V_{об}}$ и $\Delta_{h_{об}}$, $\Delta_{V_{к}}$ и $\Delta_{h_{к}}$ соответственно). Для большей объективности оценки случаев с низкой облачностью или ограниченной видимостью отдельно были посчитаны средние абсолютные ошибки для случаев с облачностью, высота нижней границы которой менее 300 м ($\Delta_{h_{<300_{об}}}$ и $\Delta_{h_{<300_{к}}}$) и с метеорологической дальностью видимости менее 3000 м ($\Delta_{V_{<3_{об}}}$ и $\Delta_{V_{<3_{к}}}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ оценок качества дискриминантных функций определения тенденции высоты нижней границы облачности и метеорологической дальности видимости позволяет сделать вывод о возможности их применения при метеорологическом обеспечении авиации на рассматриваемых аэропортах Московской воздушной зоны с ограничениями, связанными с направлением выноса от источников загрязнения воздуха. По сравнению с оправдываемостью прогностических способов ВНГО, разработанных Московским главным авиационным метеорологическим центром (МГАМЦ) по данным аэропортов Московского аэроузла для холодного периода года при хорошо выраженной адвекции тепла (80-83 %) [24], представленные модели по-

зволяют повысить оправдываемость при северных и южных выносах.

При проверке на независимом материале полученных моделей регрессии их точность находилась в пределах прогностических градаций, используемых в ведомственных метеорологических подразделениях, при некоторых ситуациях – не далее соседней градации. И только при значениях видимости менее 400 м достичь требуемой точности не удалось – таких случаев наблюдалось менее 1 % от объема контрольной архивной выборки.

Дальнейшее развития представленного подхода возможно за счет увеличения объема исходного архивного материала до объемов, позволяющих разрабатывать прогностические правила дифференцированно по синоптическим ситуациям и сезонам года. Перспективным является также использование аэрологических данных с меньшей пространственной и временной дискретностью за счет использования современных технических средств зондирования пограничного слоя атмосферы, в том числе дистанционно пилотируемых летательных аппаратов мини- и микро-классов [17].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М., Вьонг Х. К., Акимов Е. Л. Эколого-климатические условия провинции ХоаБинь в эпоху глобального потепления // *Региональные эколого-географические исследования*, 2020, с. 13-18.
2. Акимов Л. М. Тенденции изменения термического режима на аридных и сопредельных территориях

европейской части России в летний период // *Аридные экосистемы*, 2021, т. 27, № 4 (89), с. 3-12.

3. Анализ мезоклиматических особенностей Московской агломерации по данным детализированного моделирования и новых систем мониторинга / М. И. Варенцов, Х. Воутерс, В. С. Платонов, П. И. Константинов // *Сборник материалов Международной конференции «Турбулентность, динамика атмосферы и климата»*, 2018, с. 66.

4. Бегишева А. А. Мегалополис – губительное явление современного общества // *Горизонты цивилизации*, 2010, № 1, с. 41-49.

5. Влияние выбросов водяного пара от работы ТЭЦ, котельных и автотранспорта на локальные климатические изменения и климатическую адаптацию мегалополиса на примере Москвы / Е. Г. Гапо, С. В. Гужов, А. С. Белобородова, Н. В. Гукова // *Надежность и безопасность энергетики*, 2019, т. 12, № 3, с. 190-199.

6. Гинзбург А. С., Демченко П. Ф. Антропогенные мезо-метеорологические обратные связи: обзор современных исследований // *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*, 2019, т. 55, № 6, с. 94-113.

7. Гудошникова О. Е., Гришин В. О. Экологические проблемы московской агломерации в контексте развития пассажирского транспорта // *Материалы 3-го Ежегодного международного форума «Общество. Доверие. Риски»*, 2021, с. 197-201.

8. Демин В. И. О роли антропогенных и естественных факторов в оценке городского острова тепла // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, 2019, т. 16, № 5, с. 25-33.

9. Докукин С. А., Гинзбург А. С. Влияние антропогенных потоков тепла на температурный и ветровой режим Московского региона // *Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования*, 2019, с. 145.

10. Изменения климата и экстремальные явления погоды в московской агломерации / А. В. Кислов, Л. И. Алексеева, М. И. Варенцов, П. И. Константинов // *Метеорология и гидрология*, 2020, № 7, с. 64-76.

11. Кузнецова И. Н., Бруслова Н. Е., Нахаев М. И. Городской остров тепла в Москве: определение, границы, изменчивость // *Метеорология и гидрология*, 2017, № 5, с. 49-61.

12. Ладохина Е. М., Рубинштейн К. Г., Цепелев В. Ю. Определение периодов максимальной интенсивности острова тепла в Санкт-Петербурге для валидации модели численных прогнозов погоды в городе // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2020, № 2 (376), с. 109-125.

13. Методика детализации пространственно-временного распределения полей метеорологических величин на основе данных дистанционно пилотируемых летательных аппаратов / И. П. Расторгуев, А. Е. Ефименко, А. В. Максименко, М. М. Зозуля // *Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности»*, 2017, ч. 1, с. 113-118.

14. Назаренко А. В. Метеорологические процессы, определяющие уровень антропогенного загрязнения атмосферы // *Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии*, 2008, с. 225-227.

15. Особенности прогнозирования опасных для авиации конвективных явлений погоды над юго-востоком Африки / Л. М. Акимов, И. П. Расторгуев, А. Н. Неижмак, Т. А. Муехина // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2018, № 2, с. 103-110.

16. Оценка городского острова тепла в условиях сложного рельефа и неоднородной подстилающей поверхности / В. И. Демин, Б. В. Козелов, А. В. Лосев, Е. А. Заров // *Материалы 15-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2017, с. 171.

17. Расторгуев И. П. Беспилотные технологии мониторинга погодных условий // *Гелиогеофизические исследования*, 2014, № 8, с. 51-54.

18. Расторгуев И. П., Максименко А. В., Качмар М. Б. Методика прогноза метеорологических условий полётов при выполнении поисково-спасательных работ в сложных физико-географических условиях местности // *Гелиогеофизические исследования*, 2014, № 8, с. 59-62.

19. Расторгуев И. П., Максименко А. В., Качмар М. Б. Исследование метеорологических условий полётов в районах со сложными физико-географическими особенностями // *Гелиогеофизические исследования*, 2014, № 8, с. 55-58.

20. Расторгуев И. П. Диагноз и прогноз конвективной облачности и явлений погоды над территорией юго-восточной Африки по данным спутникового зондирования // *Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2021, с. 191.

21. Расторгуев И. П., Охунжонов Г. Р. Оценка условий возникновения сильных ветров по спутниковым данным с учетом местных физико-географических особенностей местности // *Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2021, с. 192.

22. Расторгуев И. П., Косса Ж. Ж. Мониторинг атмосферной конвекции в тропической зоне юго-восточной Африки по спутниковым данным // *Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности»*, 2021, ч. 1, с. 288-293.

23. Расторгуев И. П., Охунжонов Г. Р. Исследование режима ветра аэропорта Фергана в целях обеспечения безопасности полетов // *Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности»*, 2021, ч. 1, с. 299-304.

24. Скирда И. А., Ульшин И. И., Мартышкин А. Б. *Авиационные прогнозы погоды*. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. 477 с.

25. Танский А.О., Мазуров Г.И. Анализ острова тепла над некоторыми городами Российской Федерации // *Метеорологический вестник*, 2010, т. 3, № 3, с. 80-122.

26. Трунова Е.О. Влияние городской инфраструктуры и агломерации на природные компоненты окружающей среды // *Интернаука*, 2021, № 22-1 (198), с. 83-85.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 17.05.2023

Принята к публикации 09.06.2023

UDC 551.509.54/.55:551.588.7

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/86-99>

The Anthropogenic Factor in the Formation of Meteorological Conditions

I. P. Rastorguev¹, L. M. Akimov²✉, E. L. Akimov², I. S. Bragin¹

¹*Air Force Military Training and Scientific Center «Air Force Academy named after Prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»*

(54, Starykh Bolshevikov Str., Voronezh, 394064)

²*Voronezh State University, Russian Federation*

(1, Universitetskaya Sq., Voronezh, 394018)

Abstract. The purpose is to assess the impact of the anthropogenic factor on the meteorological conditions of flights and its consideration in the forecasting of meteorological conditions.

Materials and methods. The data of half-hour ground-based meteorological observations of the Aviation Meteorological Station Civil (AMSG) of the airports of the Moscow air zone and two-term radio sounding of the atmosphere in Dolgoprudny were used. The main research methods were graphoanalytic and physical-statistical.

Results and discussion. The methodology has been developed to assess the impact of anthropogenic pollution of the air environment and its consideration in the development of prognostic models of the characteristics of meteorological conditions of flights.

Conclusions. The impact of a large agglomeration on meteorological conditions of flights has been assessed, and predictive models have been developed to forecast visibility range and lower cloud boundary altitude, taking into account the anthropogenic impact on the air environment.

Key words: meteorological flight conditions, anthropogenic load, air pollution, visibility range, lower cloud cover altitude, large agglomeration, weather forecast for aviation.

Funding: The research was carried out with a grant from the Russian Science Foundation № 20-17-00172, <https://rscf.ru/project/20-17-00172/>

For citation: Rastorguev I.P., Akimov L.M., Akimov E.L., Bragin I.S. The Anthropogenic Factor in the Formation of Meteorological Conditions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2023, no. 2, pp. 86-99 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/86-99>

REFERENCES

1. Akimov L.M., Vyong H.K., Akimov E.L. Jekologo-klimaticheskie usloviya provincii HoaBin' v jepohu global'nogo poteplenija [Ecological and climatic conditions of Hoabin Province in the era of global warming]. *Regional'nye jekologo-geograficheskie issledovanija*, 2020, pp. 13-18. (In Russ.)

2. Akimov L.M. Tendencii izmenenija termicheskogo rezhima na aridnyh i sopredel'nyh territorijah evropejskoj

chasti Rossii v letnij period [Trends in changes in the thermal regime in arid and adjacent territories of the European part of Russia in the summer]. *Aridnye jekosistemy*, 2021, vol. 27, no. 4 (89), pp. 3-12. (In Russ.)

3. Analiz mezoklimaticheskikh osobennostej Moskovskoj aglomeracii po dannym detalizirovannogo modelirovaniya i novyh sistem monitoringa [Analysis of mesoclimatic features of the Moscow agglomeration according to detailed modeling and new monitoring systems] / M.I. Varencov,

© Rastorguev I.P., Akimov L.M., Akimov E.L., Bragin I.S., 2023

✉ Leonid M. Akimov, e-mail: akl63@bk.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

H. Vouters, V. S. Platonov, P. I. Konstantinov. *Sbornik materialov Mezhdunarodnaja konferencii «Turbulentnost', dinamika atmosfery i klimata»*, 2018, pp. 66. (In Russ.)

4. Begisheva A. A. Megapolis – gubitel'noe javlenie sovremennoogo obshhestva [Megapolis is a destructive phenomenon of modern society]. *Gorizonty civilizacii*, 2010, no. 1, pp. 41-49. (In Russ.)

5. Vlijanie vybrosov vodjanogo para ot raboty TJeC, kotel'nyh i avtotransporta na lokal'nye klimaticheskie izmenenija i klimaticheskiju adaptaciju megapolisa na primere Moskvy [The impact of water vapor emissions from the operation of thermal power plants, boiler houses and motor transport on local climatic changes and climatic adaptation of the metropolis on the example of Moscow] / E. G. Gasho, S. V. Guzhov, A. S. Beloborodova, N. V. Gukova. *Nadezhnost' i bezopasnost' jenergetiki*, 2019, vol. 12, no. 3, pp. 190-199. (In Russ.)

6. Ginzburg A. S., Demchenko P. F. Antropogennye mezo-meteorologicheskie obratnye svjazi: obzor sovremennyh issledovanij [Anthropogenic mesometeorological feedbacks: a review of modern research]. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*, 2019, vol. 55, no. 6, pp. 94-113. (In Russ.)

7. Gudoshnikova O. E., Grishin V. O. Jekologicheskie problemy moskovskoj aglomeracii v kontekste razvitiya passazhirskogo transporta [Environmental problems of the Moscow agglomeration in the context of passenger transport development]. *Materialy 3-go Ezhegodnogo mezhdunarodnogo foruma «Obshhestvo. Doverie. Riski»*, 2021, pp. 197-201. (In Russ.)

8. Demin V. I. O roli antropogennyh i estestvennyh faktorov v ocenke gorodskogo ostrova tepla [On the role of anthropogenic and natural factors in the assessment of urban heat island]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2019, vol. 16, no. 5, pp. 25-33. (In Russ.)

9. Dokukin S. A., Ginzburg A. S. Vlijanie antropogennyh potokov tepla na temperaturnyj i vetrovoj rezhim Moskovskogo regiona [The influence of anthropogenic heat flows on the temperature and wind regime of the Moscow region]. *Izmenenija klimata: prichiny, riski, posledstvija, problemy adaptacii i regulirovanija*, 2019, pp. 145. (In Russ.)

10. Izmenenija klimata i jekstremal'nye javlenija pogody v moskovskoj aglomeracii [Climate change and extreme weather events in the Moscow agglomeration] / A. V. Kislov, L. I. Alekseeva, M. I. Varcov, P. I. Konstantinov. *Meteorologija i gidrologija*, 2020, no. 7, pp. 64-76. (In Russ.)

11. Kuznecova I. N., Brusova N. E., Nahaev M. I. Gorodskoj ostrov tepla v Moskve: opredelenie, granicy, izmenchivost' [Urban heat island in Moscow: definition, boundaries, variability]. *Meteorologija i gidrologija*, 2017, no. 5, pp. 49-61. (In Russ.)

12. Ladohina E. M., Rubinshtejn K. G., Cepelev V. Ju. Opredelenie periodov maksimal'noj intensivnosti ostrova tepla v Sankt-Peterburge dlja validacii modeli chislennyh prognozov pogody v gorode [Determination of the periods of maximum intensity of the heat island in St. Petersburg for validation of the model of numerical weather forecasts

in the city]. *Gidrometeorologicheskie issledovanija i prognozy*, 2020, no. 2 (376), pp. 109-125. (In Russ.)

13. Metodika detalizacii prostranstvenno-vremennogo raspredelenija polej meteorologicheskikh velichin na osnove dannyh distancionno pilotiruemyh letatel'nyh apparatov [The method of detailing the spatial-temporal distribution of fields of meteorological quantities based on data from remotely piloted aircraft] / I. P. Rastorguev, A. E. Efimenko, A. V. Maksimenko, M. M. Zozulja. *Sbornik materialov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti»*, 2017, ch. 1, s. 113-118.

14. Nazarenko A. V. Meteorologicheskie processy, opredeljajushhie uroven' antropogennogo zagrijaznenija atmosfery [Meteorological processes determining the level of anthropogenic atmospheric pollution]. *Sovremennye problemy landshaftovedenija i geojekologii*, 2008, pp. 225-227. (In Russ.)

15. Osobennosti prognozirovanija opasnyh dlja aviacii konvektivnyh javlenij pogody nad jugo-vostokom Afriki [Features of forecasting convective weather phenomena dangerous for aviation over the south-east of Africa] / L. M. Akimov, I. P. Rastorguev, A. N. Neizhmak, T. A. Muehina. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geojekologija*, 2018, no. 2, pp. 103-110. (In Russ.)

16. Ocenka gorodskogo ostrova tepla v uslovijah slozhnogo rel'efa i neodnorodnoj podstilajushhej poverhnosti [Assessment of the urban heat island in conditions of complex relief and heterogeneous underlying surface] / V. I. Demin, B. V. Kozelov, A. V. Losev, E. A. Zarov. *Materialy 15-j Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa»*, 2017, pp. 171. (In Russ.)

17. Rastorguev I. P. Bepilotnye tehnologii monitoringa pogodnyh uslovij [Unmanned technologies for monitoring weather conditions]. *Geliogeofizicheskie issledovanija*, 2014, no. 8, pp. 51-54. (In Russ.)

18. Rastorguev I. P., Maksimenko A. V., Kachmar M. B. Metodika prognoza meteorologicheskikh uslovij poljotov pri vypolnenii poiskovo-spasatel'nyh rabot v slozhnyh fiziko-geograficheskikh uslovijah mestnosti [Methods of forecasting meteorological conditions of flights when performing search and rescue operations in difficult physical and geographical conditions of the terrain]. *Geliogeofizicheskie issledovanija*, 2014, no. 8, pp. 59-62. (In Russ.)

19. Rastorguev I. P., Maksimenko A. V., Kachmar M. B. Issledovanie meteorologicheskikh uslovij poljotov v rajonah so slozhnymi fiziko-geograficheskimi osobennostjami [Investigation of meteorological flight conditions in areas with complex physical and geographical features]. *Geliogeofizicheskie issledovanija*, 2014, no. 8, pp. 55-58. (In Russ.)

20. Rastorguev I. P. Diagnostika i prognoz konvektivnoj oblachnosti i javlenij pogody nad territoriej jugo-vostochnoj Afriki po dannym sputnikovogo zondirovanija [Diagnosis and forecast of convective clouds and weather phenomena over the territory of south-east Africa according to satellite sensing data]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye problemy*

distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa», 2021, pp. 191. (In Russ.)

21. Rastorguev I. P., Ohunzhonov G. R. Ocenka uslovij vozniknovenija sil'nyh vetrov po sputnikovym dannym s uchetom mestnyh fiziko-geograficheskikh osobennostej mestnosti [Assessment of the conditions for the occurrence of strong winds based on satellite data, taking into account local physical and geographical features of the area]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa»*, 2021, pp. 192. (In Russ.)

22. Rastorguev I. P., Kossa Zh. Zh. Monitoring atmosfernoj konvekcii v tropicheskoj zone jugo-vostochnoj Afriki po sputnikovym dannym [Monitoring of atmospheric convection in the tropical zone of south-east Africa using satellite data]. *Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti»*, 2021, ch. 1, pp. 288-293. (In Russ.)

23. Rastorguev I. P., Ohunzhonov G. R. Issledovanie rezhima vetra ajero-porta Fergana v celjah obespechenija bezopasnosti poletov [Investigation of the wind regime of Fergana Airport in order to ensure flight safety]. *Sbornik*

materialov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Kompleksnye problemy tehnosfernoj bezopasnosti», 2021, ch. 1, pp. 299-304. (In Russ.)

24. Skirda I. A., Ul'shin I. I., Mart'jashkin A. B. *Aviacionnye prognozy pogody* [Aviation weather forecasts]. Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2014. 477. (In Russ.)

25. Tanskij A. O., Mazurov G. I. Analiz ostrova tepla nad nekotorymi gorodami Rossijskoj Federacii [Analysis of the heat island over some cities of the Russian Federation]. *Meteorologicheskij vestnik*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 80-122. (In Russ.)

26. Trunova E. O. Vlijanie gorodskoj infrastruktury i aglomeracii na prirodnye komponenty okruzhajushhej sredy [The impact of urban infrastructure and agglomeration on the natural components of the environment]. *Inter-nauka*, 2021, no. 22-1 (198), pp. 83-85. (In Russ.)

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 17.05.2023

Accepted: 09.06.2023

Расторгуев Игорь Поликарпович

кандидат географических наук, доцент, старший преподаватель кафедры гидрометеорологического обеспечения Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7949-2471, e-mail: iprastor@yandex.ru

Акимов Леонид Мусамудинович

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0749-1976, e-mail: akl63@bk.ru

Игорь Сергеевич Брагин

соискатель Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0005-7982-0351

Igor P. Rastorguev

Cand. Sci. (Geogr), Assoc. Prof., Senior Lecturer of the Department of hydrometeorological support of the Military Educational and Scientific Centre of the Air Force, «Air Force Academy», Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-7949-2471, e-mail: iprastor@yandex.ru

Leonid M. Akimov

Cand. Sci. (Geogr), Assoc. Prof., Head of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0749-1976, e-mail: akl63@bk.ru

Igor S. Bragin

applicant of the Military Training and Scientific Centre of the Air Force "Air Force Academy", Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0005-7982-0351