

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОПАСНЫХ ДЛЯ АВИАЦИИ КОНВЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НАД ЮГО-ВОСТОКОМ АФРИКИ

Л.М. Акимов, И.П. Расторгуев, А.Н. Неижмак, Т.А. Муехина

*Воронежский государственный университет, Россия
Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия
им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия
Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков, Россия
Метеорологическая служба аэропорта Мавалане, Мозамбик*

Поступила в редакцию 25 января 2018 г.

Аннотация: В статье на основе исследования применимости различных подходов к прогнозу атмосферной конвекции над территорией Мозамбика, разработана методика прогноза гроз, адаптированная к местным физико-географическим условиям и обеспеченности исходными данными.

Ключевые слова: конвекция, прогноз, гроза, метеорологические условия полетов, физико-географические условия.

Abstract: Based on a study of the different approaches applicability to the forecast of atmospheric convection over the area of Mozambique, the thunderstorm forecasting technique has been developed. It is adapted to local physical and geographical conditions and provided with initial data.

Key words: convection, forecast, thunderstorm, meteorological conditions of flights, physical and geographical conditions.

Сохранение высокого уровня ущерба, наносимого опасными метеорологическими явлениями конвективного происхождения [3, 4, 5, 7], свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования методов их прогноза.

Прогноз гроз одна из наиболее трудных задач в оперативной работе инженера-синоптика. В настоящее время существуют десятки методов прогноза этого опасного явления, но во многих случаях потребности в информации об ожидаемых опасных конвективных явлениях удовлетворяются лишь частично [1, 2, 7, 10]. Наличие в зоне активной конвекции сильной болтанки, интенсивного обледенения и электризации, поражение воздушных судов молниями, повреждение наземной инфраструктуры аэродромов, обуславливает необходимость разработки детализированных прогнозов гроз с целью повышения безопасности полетов воздушных судов и их эксплуатации на аэродромах.

Формирование опасных метеорологических явлений конвективного происхождения во многом

определяется характером местности, над которой они возникают [1, 2, 4, 5, 6].

Наиболее сложной задачей является прогноз конвективных явлений для территорий, где недостаточно достоверной метеорологической информации. К районам с разреженной сетью метеорологических и аэрологических наблюдений относится территория юго-восточной Африки и конкретно Республики Мозамбик [2, 7, 8, 9].

В настоящей статье предложена усовершенствованная методика прогноза конвективных явлений погоды, повышающая качество метеорологического обеспечения Военно-воздушных сил Мозамбика, в условиях тропического климата.

По результатам анализа метеорологических условий полетов над исследуемой территорией по данным за основные и дополнительные синоптические сроки, охватывающие период 2005-2015 годы, было установлено, что в районе аэропорта Мапуту, преобладают метеорологические условия благоприятные для производства полетов. Ограничения наблюдаются в среднем в каждом десятом случае и связаны с опасными явлениями погоды (далее ОЯП).

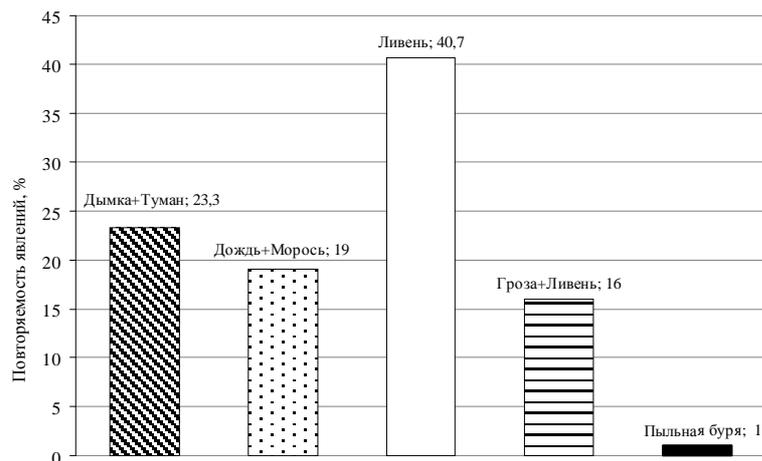


Рис. 1. Повторяемость опасных явлений погоды, %

Таблица 1

Значения показателей успешности методов прогноза гроз

Метод	Оправдываемость, %			Показатель Н.А. Багрова	Показатель А.М. Обухова
	Общая	На наличие	На отсутствие		
Вайтинга	76,7	3,8	97,5	0,07	0,04
Фауста	77,8	0,0	100	0,03	0,02
Симиля	68,1	27,5	79,6	0,08	0,08

Наибольшую повторяемость среди ОЯП имеют явления, связанные с конвективной облачностью (ливень – 40,7 %, гроза и ливень – 16 %) – 56,7 % от всех случаев с ОЯП (рис. 1), что обуславливает приоритетность данных явлений погоды в плане необходимости принятия первоочередных мер по совершенствованию подходов к их прогнозированию.

Значительная географическая протяженность и сложность рельефа создают разнообразные метеорологические условия полетов. В том числе это существенно сказывается на формировании опасных для авиации явлений погоды конвективного происхождения.

Несмотря на общие черты распределения гроз по месяцам, у каждого пункта наблюдаются индивидуальные особенности по формированию гроз и их годовому распределению, из чего следует вывод о целесообразности построения прогностических правил для каждого конкретного пункта.

Для оценки эффективности наиболее часто используемых универсальных методов прогноза гроз для территории Мозамбика была составлена архивная выборка объемом 360 случаев, включающая данные утреннего радиозондирования и наблюдения за облачностью и явлениями погоды в

течение дня за период с 2012 по 2016 годы. В выборку включались только данные с благоприятными условиями для развития конвекции [6, 9]. Расчеты прогноза гроз осуществлялись методами Вайтинга, Симиля и Фауста [6]. Значения показателей успешности применения данных методов представлены в таблице 1.

Несмотря на достаточно высокую общую оправдываемость прогнозов (от 68,1 до 77,8 %), достоверность на наличие опасного явления в лучшем из способов (метод Симиля) составила всего 27,5 %, что недостаточно для практического применения. Наибольшая эффективность прогнозов по способам Вайтинга, Симиля и Фауста наблюдается на отсутствие гроз, особенно метод Фауста – 100 %, метод Вайтинга – 97,5 %.

На следующем этапе исследования была проведена оптимизация пороговых коэффициентов грозоопасности с применением параметрического метода [6]. Результаты оптимизации представлены на рисунках 2-4.

Как видно из графиков, оптимальные значения пороговых коэффициентов грозоопасности составили по методу Вайтинга – 14, по методу Фауста – -7, по методу Симиля – -1 (второй критерий влагосодержания не оптимизировался).

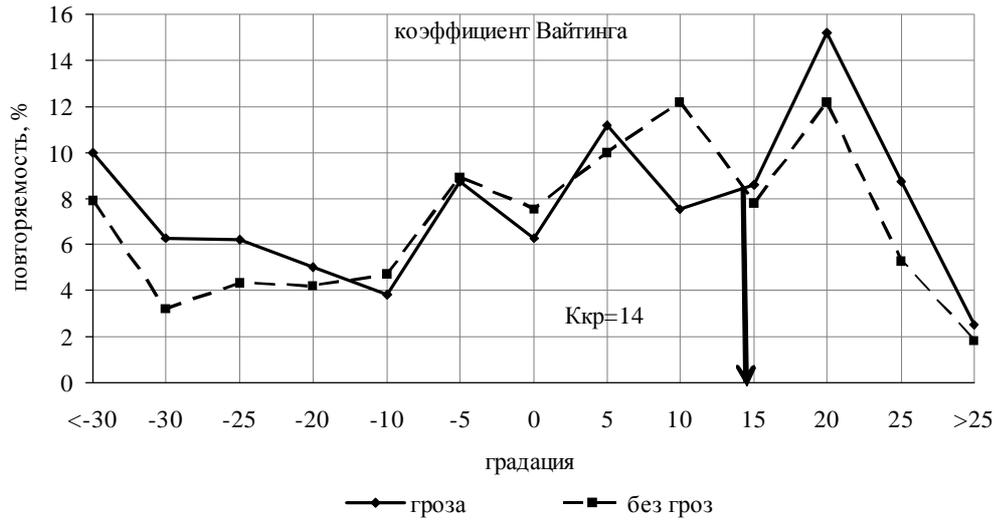


Рис. 2. График повторяемости гроз при различных значениях коэффициента грозоопасности Вайтинга

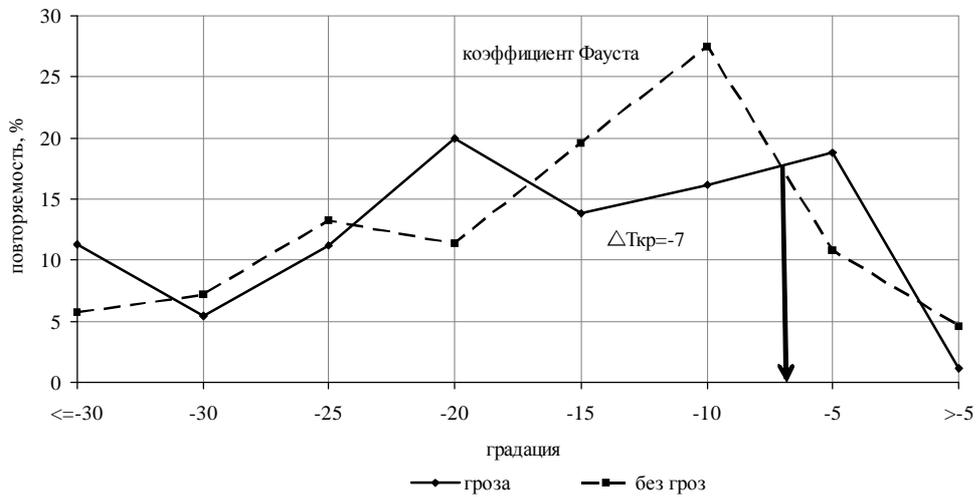


Рис. 3. График повторяемости гроз при различных значениях коэффициента грозоопасности Фауста

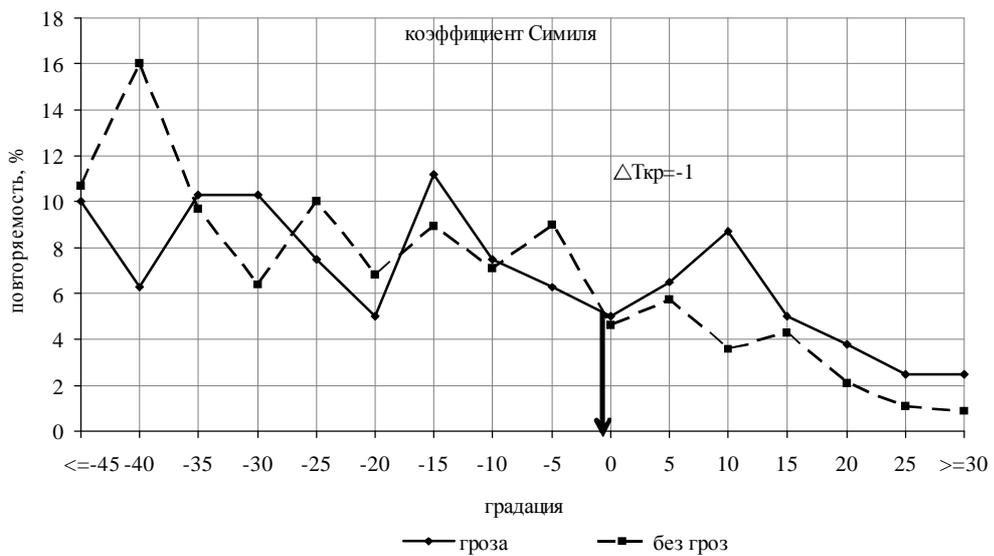


Рис. 4. График повторяемости гроз при различных значениях коэффициента грозоопасности Симия

Таблица 2

Значения показателей успешности методов прогноза гроз по оптимизированным пороговым значениям

Метод	Оправдываемость %			Показатель Н.А. Багрова	Показатель А.М. Обухова
	Общая	На наличие	На отсутствие		
Вайтинга	60,2	38,7	67,9	0,47	0,40
Фауста	71,2	21,4	85,3	0,67	0,76
Симиля	67,5	28,3	78,4	0,34	0,29

Таблица 3

Индексы грозовой активности

№	Название индекса	Код
1	Индекс Шоултера	SHOW
2	Индекс поднятия	LIFT
3	Индекс поднятия, рассчитанный с использованием виртуальной температуры	LFTV
4	Индекс сложности метеорологических условий (BBC США)	SWET
5	Индекс К (коэффициент Вайтинга)	KINX
6	Перекрестный индекс	CTOT
7	Вертикальный индекс	VTOT
8	Суммарный индекс	TOTL
9	Доступная конвективная потенциальная энергия	CAPE
10	Используемая конвективная потенциальная энергия	CAPV
11	Конвективное торможение	CINS
12	Конвективное торможение, рассчитываемое с помощью виртуальной температуры	CINV
13	Уровень конвекции	EQLV
14	Уровень конвекции, рассчитываемый с помощью виртуальной температуры	EQTV
15	Уровень свободной конвекции	LFCT
16	Уровень свободной конвекции, рассчитываемый с помощью виртуальной температуры	LFCV
17	Число Ричардсона	BRCH
18	Число Ричардсона, рассчитанное с использованием CAPV	BRCV
19	Температура [к] на уровне конденсации	LCLT
20	Давление [гПа] на уровне конденсации	LCLP
21	Средняя потенциальная температура в нижнем 500-метровом слое [К]	MLTH
22	Среднее количество водяного пара в нижнем 500-метровом слое [г/кг]	MLMR
23	Толщина слоя от 1000 гПа до 500 гПа	THCK
24	Водозапас во всем облачном слое [мм]	PWAT

С использованием уточненных пороговых коэффициентов были проведены испытания по всем трем рассматриваемым прогностическим методам. Результаты представлены в таблице 2.

После оптимизации пороговых коэффициентов грозоопасности успешность прогнозов гроз на

наличие явлений повысилась (метод Вайтинга – 38,7 %, Фауста – 21,4 %, Симиля – 28,3 %), что наиболее важно в плане обеспечения полетов. Но, указанное повышение достоверности прогнозов гроз, не достигло приемлемых для практических целей значений показателей оправдываемости – наиболь-

Уточненные пороговые значения индексов грозоопасности и их показатели успешности

Индекс	Пороговые значения	Общая оправдываемость, %	Оправдываемость на наличие, %	Оправдываемость на отсутствие, %
SHOW	8	62	50	65
LIFT	5	54	67	50
LFTV	5	62	67	60
SWET	112	58	52	62
KINX	10	67	69	65
CTOT	17,5	54	50	55
VTOT	22	54	37	60
TOTL	37,5	52	52	52
CINV	0	69	67	72
LCLP	941,5	65	50	70
MLTH	992	50	50	50
MLMR	11,5	57	37	65
THCK	<5640	65	79	62
PWAT	24,5	54	50	55

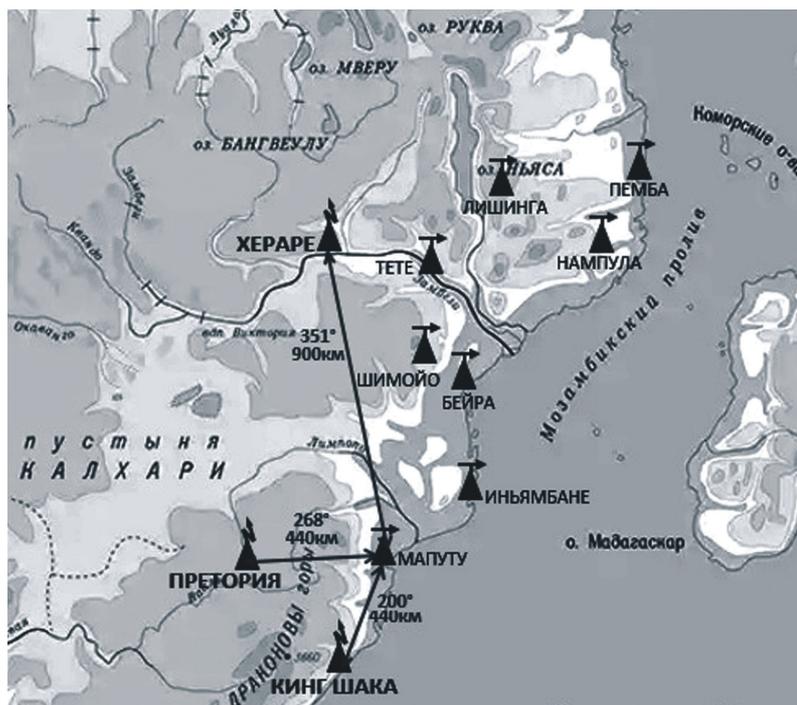


Рис. 5. Схема расположения аэродромной сети и пунктов зондирования атмосферы на территории Мозамбика

шее значение в методе Вайтинга (38,7%). При этом наблюдалось общее снижение оправдываемости прогнозов на отсутствие явлений на 10-15% и общей оправдываемости до 10%.

На третьем этапе исследования, для повышения качества прогнозов гроз по отдельным пунктам над территорией Мозамбика, был проведен анализ применимости индексов грозовой актив-

ности (таблица 3), рекомендованных к использованию Всемирной метеорологической организацией [6].

При проверке и построении прогностических алгоритмов учитывалось отсутствие пунктов радиозондирования на территории Мозамбика и значительная удаленность от аэродромов и аэропортов (рис. 5).



Рис. 6. Методика разработки способа прогноза конвективных явлений погоды над юго-востоком Африки

В выборку включались только случаи с направлением ведущего потока со стороны пунктов зондирования: всего 214 случаев из 848 за месяцы с ноября по апрель 2010-2016 годов, в том числе 55 случаев с грозами (из 196).

В результате проверки применимости приведенных индексов были определены наиболее информативные из них применительно к прогнозу

гроз над территорией Мозамбика. Уточненные пороговые значения указанных индексов и их показатели успешности приведены в таблице 4.

Следует отметить, что индексы, не указанные в таблице 4, имеют показатели успешности на уровне случайных прогнозов.

Из таблицы 4 видно, что наибольшие значения общей оправдываемости (69%) и оправдываемости

мость на отсутствие явления (72 %) наблюдаются при использовании индекса CINV, а наиболее высокое значение оправдываемости на наличие явления (79 %) – у индекса THCK.

В целях повышения качества прогностических алгоритмов была разработана дискриминантная функция [6], в которой в качестве предикторов использовались индексы грозоопасности:

$$L=0,01THCK-0,1CINV-56,33. \quad (1)$$

Показатели успешности данного прогностического правила, полученного на обучающей выборке, составили: общая оправдываемость – 79,86 %, оправдываемость на наличие явления – 75,68 %, оправдываемость на отсутствие явления – 81,31 %.

При проверке прогностического правила на контрольной выборке существенного снижения показателей успешности не произошло: 75,71 %, 72,20 % и 76,92 % соответственно.

Из приведенных данных следует, что успешность полученного в ходе работы нового способа прогноза гроз по показателю общей оправдываемости прогнозов (69 %) на величину около 7 % выше по сравнению с оправдываемостью прогнозов по лучшему из известных критериев грозоопасности.

Таким образом, разработано прогностическое правило, позволяющее прогнозировать грозы по исследуемому району в условиях дефицита аэрологических данных с успешностью, приемлемой для практического использования.

Методику разработки прогностического правила можно представить в виде схемы, отображенной на рисунке 6.

Таким образом, предложенная методика является универсальной и может быть реализована в оперативной работе метеорологических подразделений на территории юго-восточной Африки и других пунктов (территорий), имеющих аналогичные физико-географические условия и ограниченную обеспеченность исходными данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Л. М. Автоматизированная система расчета опасных явлений погоды / Л. М. Акимов, С. С. Новикова, Е. А. Лисиченко // Региональные эффекты глобальных изменений климата (причины, последствия, прогнозы) : материалы Международной научной конференции. – Воронеж, 2012. – С. 455-458.
2. Аюпов А. И. Атлас гидрометеорологических данных. Африка / под ред. А. И. Аюпова, Е. П. Борисенкова. – Ленинград : Картографическая фабрика, 1994. – Ч. 2. – 336 с.

3. Губенко И. М. Исследование физических процессов в конвективных облаках во время гроз на основе численного моделирования : дис. ... канд. физ.-мат. наук / И. М. Губенко. – Москва, 2016. – 130 с.

4. Метеорологические условия в момент авиационных катастроф в странах членах ИКАО. – Санкт-Петербург : ОЛАГА, 2005. – 124 с.

5. Неижмак А. Н. Способ оценки высоты развития кучево-дождевой облачности. / А. Н. Неижмак, И. П. Расторгуев, М. В. Жалнин // Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды. ВКА им. Можайского : сборник материалов 2-й Всероссийской научной конференции. – Санкт-Петербург, 2012. – Т. 1. – С. 218-225.

6. О деятельности Росгидромета в 2015 году и задачах на 2016 год (итоговый доклад). – Москва : Росгидромет, 2016.

7. Расторгуев И. П. Метеорологические условия полетов, влияющие на безопасность полетов в аэропорту Мавалане / И. П. Расторгуев, Т. А. Муехина // Комплексные проблемы техносферной безопасности : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2016. – Ч. I. – С. 121-125.

8. Скирда И. А. Авиационные прогнозы погоды. / И. А. Скирда, И. И. Ульшин, А. Б. Мартышкин. – Воронеж : Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», 2014. – С. 390-433.

9. Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость / М. А. Петросянц [и др.]. – Москва : Макс Пресс, 2005. – 160 с.

10. Шакина Н. П. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. / Н. П. Шакина, А. Р. Иванова. – Москва : Триада ЛТД, 2016. – С. 120-156.

REFERENCES

1. Akimov L. M. Avtomatizirovannaya sistema rascheta opasnykh yavlenij pogody / L. M. Akimov, S. S. Novikova, E. A. Lisichenko // Regional'nye ehffekty global'nykh izmenenij klimata (prichiny, posledstviya, prognozy) : materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii. – Voronezh, 2012. – S. 455-458.
2. Ayupov A. I. Atlas gidrometeorologicheskikh dannykh. Afrika / pod red. A. I. Ayupova, E. P. Borisenkova. – Leningrad : Kartograficheskaya fabrika, 1994. – CH. 2. – 336 s.
3. Gubenko I. M. Issledovanie fizicheskikh protsessov v konvektivnykh oblakakh vo vremya groz na osnove chislenogo modelirovaniya : dis. ... kand. fiz.-mat. nauk / I. M. Gubenko. – Moskva, 2016. – 130 s.
4. Meteorologicheskie usloviya v moment aviatsionnykh katastrof v stranakh chlenakh IKAO. – Sankt-Peterburg : OLAGA, 2005. – 124 s.
5. Neizhmak A. N. Sposob otsenki vysoty razvitiya kuchevo-dozhdevoj oblachnosti. / A. N. Neizhmak,

I. P. Rastorguev, M. V. ZHalnin // Problemy voenno-prikladnoj geofiziki i kontrolya sostoyaniya prirodnoj sredy. VKA im. Mozhajskogo : sbornik materialov 2-j Vserossijskoj nauchnoj konferentsii. – Sankt-Peterburg, 2012. – Т. 1. – S. 218-225.

6. O deyatelnosti Rosgidrometa v 2015 godu i zadachakh na 2016 god (itogovyj doklad). – Moskva : Rosgidromet, 2016.

7. Rastorguev I. P. Meteorologicheskie usloviya poletov, vliyayushhie na bezopasnost' poletov v aehroportu Mavalane / I. P. Rastorguev, T. A. Muekhina // Kompleksnye problemy tekhnosfernoj bezopasnosti : materialy Mezhdunar-

odnoj nauchno-prakticheskij konferentsii. – Voronezh : Voronezhskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2016. – CH. I. – S. 121-125.

8. Skirda I. A. Aviatsionnye prognozy pogody. / I. A. Skirda, I. I. Ul'shin, A. B. Mart'yashkin. – Voronezh : Voennyj uchebno-nauchnyj tsentr Voenno-vozdushnykh sil «Voенно-vozdushnaya akademiya», 2014. – S. 390-433.

9. TSirkulyatsiya atmosfery v tropikakh: klimat i izmenchivost' / M. A. Petrosyants [i dr.]. – Moskva : Maks Press, 2005. – 160 s.

10. SHakina N. P. Prognozirovaniye meteorologicheskikh uslovij dlya aviatsii. / N. P. SHakina, A. R. Ivanova. – Moskva : Triada LTD, 2016. – S. 120-156.

Акимов Леонид Мусамудинович

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. 8-951-850-49-82, E-mail: akl63@bk.ru, deanery@geogr.vsu.ru

Расторгуев Игорь Поликарпович

кандидат географических наук, доцент, старший преподаватель кафедры гидрометеорологического обеспечения Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, т. 8-905-654-67-79, E-mail: iprator@yandex.ru

Неижмак Андрей Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры навигации и боевого применения Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков, г. Краснодар, т. 89002511576, E-mail: kubanec@inbox.ru

Мухина Тайюани Альберто

инженер метеорологической службы аэропорта Мава-лане, г. Мапуту, Республика Мозамбик, т. 8-920-431-54-87

Akimov Leonid Musamudinovitch

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Nature Management, Faculty of Geography, Geoecology and Tourism, Voronezh State University, Voronezh, tel. 8-951-850-49-82, E-mail: akl63@bk.ru, deanery@geogr.vsu.ru

Rastorguyev Igor' Polikarpovitch

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department of Hydrometeorological Support of the Military Training and Scientific Center of the Air Force «Military Air Academy», Voronezh, tel. 8-905-654-67-79, E-mail: iprator@yandex.ru

Neizhmak Andrey Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Navigation and Combat Applications of the Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots, Krasnodar, tel. 89002511576, E-mail: kubanec@inbox.ru

Muyekhina Tayyuani Al'berto

Engineer of Meteorological Service of the Mavalane airport, Maputo, The Republic of Mozambique, tel. 8-920-431-54-87