

УДК 551.512

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Кузнецов И. Е.¹, Черепанов Д. В.², Насонов А. А.³, Дорофеев В. В.⁴

*^{1,2,3,4}Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация
E-mail: ³alexeynasonov@list.ru*

В статье представлен способ прогноза высоты нижней границы облачности в различных синоптических ситуациях характерных для весенне-летнего периода прибрежных районов юга Приморского края.

Ключевые слова: синоптические ситуации, высота нижней границы облачности, прогноз, сложные метеорологические условия, безопасность полётов.

ВВЕДЕНИЕ

Высота нижней границы облачности (ВНГО) и видимость являются основными факторами определяющими степень сложности метеорологических условий при выполнении полётов авиацией. К сложным метеорологическим условиям (СМУ) относятся визуальные полёты, выполняемые воздушными судами (ВС) под низкими облаками (ВНГО менее 600 метров) Для каждого типа ВС определены значения ВНГО и видимости, при которых полеты считаются выполненными в СМУ [1].

ВНГО определяет тип распределения горизонтальной видимости под облаками, являющиеся наклонной полетной видимостью из кабины ВС.

Поэтому при прогнозировании метеорологических условий (ВНГО и видимости) при полетах авиации по правилам визуальных полётов возникает противоречие, заключающиеся в отождествлении метеорологической дальности видимости (видимости у земли на фоне неба) с полётной видимостью (видимостью из кабины ВС). Представленное противоречие в особенности актуально для прибрежных районов Приморского края, где в весенне-летний период характерен муссонный климат.

Методы, разработанные для Европейской территории, практически полностью не удовлетворяют требованиям потребителей метеорологической информации.

Разрешить противоречие возможно с помощью решения научной задачи, заключающейся в прогнозировании ВНГО в муссонном климате и выявлении при этом связей и закономерностей, влияющих на значения полетной дальности видимости.

1. СПОСОБ ПРОГНОЗА ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

От точного прогноза ВНГО зависит качество подбора лётного состава, способного, исходя из уровня подготовки, выполнить запланированные авиационные полёты.

В целях повышения безопасности полётов от метеоспециалистов требуется знание условий образования опасных явлений погоды, умение сочетать

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

возникновение опасных явлений с характерными синоптическими процессами и барическими системами.

Опыт планирования и производства полётов показывает, что только всесторонняя и грамотная оценка метеорологической обстановки на земле и в воздухе гарантирует безопасность полетов в метеорологическом отношении.

Исходя из этого, прогноз ВНГО является одним из основных и значимых прогнозов при планировании и выполнении полётов ВС.

Появление низкой облачности обуславливает:

- высокое влагосодержание воздуха в приземном слое (влажность больше 85 %);
- активный турбулентный обмен, в антициклоне присутствует постоянно, в районах с малоподвижными барическими образованиями наблюдается при вертикальном градиенте температуры в нижнем слое атмосферы $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{м}$;
- наличие инверсии оседания, расположенной выше уровня конденсации.

Наличие нисходящих потоков движения и радиационных понижений температуры способствует образованию приподнятой инверсии. В силу этого слой воздуха расположенный под слоем инверсии будет изолирован от влияния вышележащих слоев. Активный турбулентный обмен будет наблюдаться только в слое от земли до нижней границы инверсии ($Ri < 1$). Накопление влаги под слоем инверсии способствует достижению в некотором слое воздуха состояния насыщения, то есть в данном слое образуется облачность [2].

Используемые в настоящее время способы прогноза ВНГО были разработаны для Европейской территории страны, а их оправдываемость составляет не более 75 % (способы Абрамовича Г.К., Гоголевой Е.И., Волконского В.Н., Спарышкиной З.А., Швеца М.Е., Лугченко А.К., Рубинштейна М.В.) [3].

Апробация указанных способов в южных районах Приморского края, не даёт требуемой точности прогнозов, а некоторые из них не применялись, в связи с отсутствием значений метеорологических величин используемых в качестве предикторов. Следовательно, рассматриваемый метеорологический параметр необходимо прогнозировать иными способами [4].

При разработке способа прогноза высоты нижней границы внутримассовой облачности, рассматривался весенне-летний период, в котором наблюдается максимальная повторяемость внутримассовой низкой облачности (таблица 1) [4,5].

Из таблицы 1 видно, что повторяемость внутримассовой облачности с нижней границей менее 300 метров и более 300 метров отличается не значительно, что затрудняет использование синоптического метода прогноза образования низкой облачности в указанный период.

Целью работы является улучшение качества прогнозов ВНГО ниже 300м в различных синоптических ситуациях и получения точной метеорологической информации, необходимой потребителю [6, 7].

Таблица 1.

Повторяемость высоты нижней границы облаков

Тип синоптической ситуации	Количество случаев со значениями ВНГО	
	ВНГО менее 300м	ВНГО более 300 м
Передняя часть Zп (циклона)	91	55
Тёплый сектор Zп (циклона)	78	64
Западная периферия Az (антициклона)	69	77
Всего	238	196

2. ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ВНУТРИМАССОВОЙ ОБЛАЧНОСТИ В ПЕРЕДНЕЙ ЧАСТИ ЦИКЛОНА

В основу способа на первом этапе для прогноза высоты нижней границы менее 300 метров использовался дискриминантный анализ. После формирования выборки, отбора предикторов методом просеивания, для анализа промежуточных результатов на основе непараметрического метода было получено уравнение дискриминантной функции (формула 1) [3,4].

$$\frac{\sqrt{(Td_+ - Td)^2 + (Ri_+ - Ri)^2} + (T_{925+} - T_{925})^2}{\sqrt{(Td_- - Td)^2 + (Ri_- - Ri)^2} + (T_{925-} - T_{925})^2} \quad (1)$$

где Td – значение температуры точки росы у поверхности земли, Ri – значение параметра Ричардсона, T_{925} – значение температуры воздуха на поверхности 925 гПа.

Результаты прогноза высоты нижней границы облаков в передней части циклона менее 300 метров представлены на рис. 1.

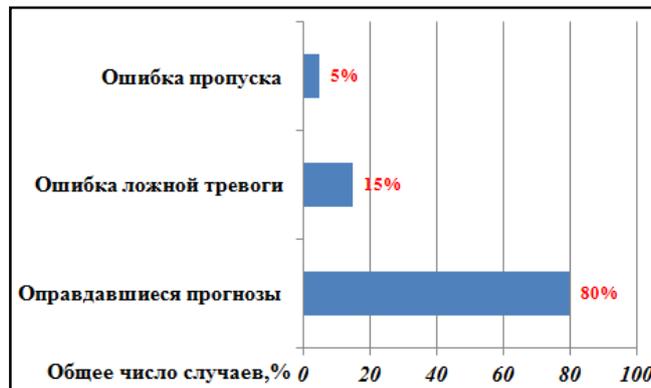


Рис.1. Результаты прогноза высоты нижней границы облачности.

Составлено авторами.

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Из рис.1 видно, что, число оправдавшихся прогнозов составляет 80%, а число ошибок составляет 20%.

В качестве критериев успешности разработанного прогностического способа были использованы общая оправдываемость, критерий Обухова и Багрова [3,4].

В таблице 2 представлены расчетные значения критериев успешности прогноза.

Таблица 2.

Критерии успешности прогноза			
Тип выборки	Общая оправдываемость	Критерий Багрова	Критерий Обухова
Обучающая	0,81	0,66	0,63
Контрольная	0,79	0,62	0,6

Из анализа расчётных значений, представленных в таблице 2 видно, что данный способ может быть применим для дальнейшего использования.

После анализа первичных результатов, прогнозирование ВНГО, возможно выполнить используя следующее уравнение регрессии (формула 2):

$$H_{+12} = 253,8 + 73,3D + 16,6(T - T_{925}) - 17,3Ri \quad (2)$$

где H_{+12} – прогностическое значение высоты нижней границы облаков через 12 часов, D – значение дефицита у поверхности земли, $T - T_{925}$ – разность температур у поверхности земли на поверхности 925гПа.

На рис. 2 представлены результаты сравнения ошибок прогноза ВНГО разработанным способом и способом Абрамовича.

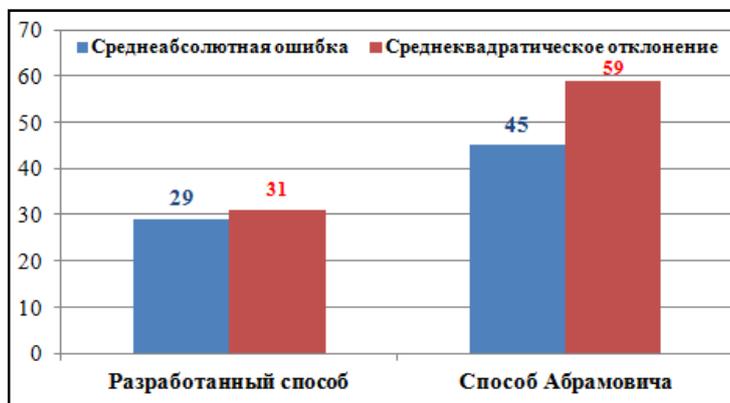


Рис. 2. Значения среднеабсолютных и среднеквадратических ошибок прогнозов высоты нижней границы облаков.

Составлено авторами.

Из рис. 2 видно, что среднеабсолютная ошибка и среднеквадратическая ошибка разработанного способа составляют 29 и 31 метр, а способа Абрамовича 45 и 59 метров. Ошибки разработанного способа прогнозирования ВНГО меньше практически в 2 раза.

3. ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ВНУТРИМАССОВОЙ ОБЛАЧНОСТИ В ТЕПЛОМ СЕКТОРЕ ЦИКЛОНА

Промежуточные результаты получены при использовании уравнения 1 (формула 1), представлены на рис. 3.

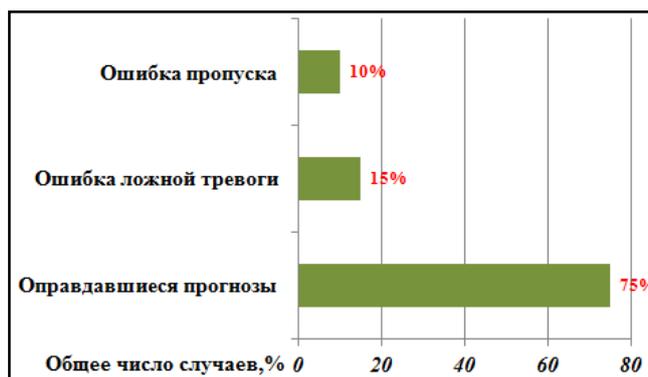


Рис. 3. Результаты прогноза высоты нижней границы облачности.
Составлено авторами.

Из анализа рисунка 3 видно, что число оправдавшихся прогнозов составляет 75%, а число неоправдавшихся прогнозов составляет 25%, из которых ошибки ложной тревоги 15%, а ошибки пропуска 10%.

В таблице 3 представлены расчетные значения критериев успешности прогноза.

Таблица 3.

Тип выборки	Критерии успешности прогноза		
	Общая оправдываемость	Критерий Багрова	Критерий Обухова
Обучающая	0,80	0,68	0,67
Контрольная	0,75	0,64	0,60

Проанализировав значения критериев успешности, представленных в таблице 3, видим, что уравнение 1(формула 1) возможно использовать и для прогноза ВНГО в теплом секторе циклона.

После анализа первичных результатов, прогнозирование ВНГО, возможно выполнить используя следующее уравнение регрессии (формула 3):

$$H_{+12} = 220,8 + 75,3D + 3,7T - 586,8Ri \quad (3)$$

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Разработанный способ более точно прогнозирует ВНГО (рис. 4).

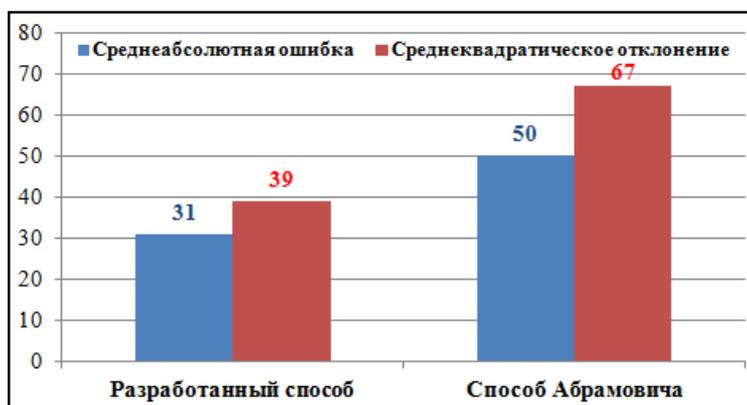


Рис. 4. Значения среднеабсолютных и среднеквадратических ошибок прогнозов высоты нижней границы облаков.

Составлено авторами.

Анализ рис.4 показал, что среднеабсолютная ошибка и среднеквадратическая ошибка разработанного способа составляют 31 и 39 метров, а способа, разработанного Абрамовичем, — 50 и 67 метров.

4. ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ВНУТРИМАССОВОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА ПЕРИФЕРИИ АНТИЦИКЛОНА

Для получения промежуточных результатов было использовано уравнение дискриминантной функции на основе метода наименьших квадратов (формула 4).

$$L = 0,42 - 0,04D - 0,02D_{925} - 0,01Td_{925} + 0,27Ri \quad (4)$$

где L – значение функции принадлежности, D_{925} – дефицит на поверхности 925 гПа, Td_{925} – температура точки росы на поверхности 925 гПа.

Число оправдавшихся прогнозов составляет 78%, а число неоправдавшихся прогнозов составляет 22%, из которых ошибки ложной тревоги 12%, а ошибки пропуска 10% (рис. 5).

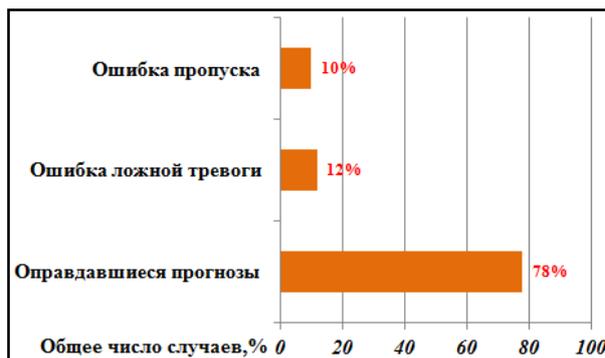


Рис. 5. Результаты прогноза высоты нижней границы облачности.
Составлено авторами.

В таблице 4 представлены расчетные значения критериев успешности прогноза ВНГО, которые удовлетворяют требованиям предъявляемых к метеорологической информации потребителями [8, 9, 10, 11].

Таблица 4.

Критерии успешности прогноза

Тип выборки	Общая оправдываемость	Критерий Багрова	Критерий Обухова
Обучающая	0,82	0,65	0,68
Контрольная	0,76	0,62	0,65

После получения первичных результатов, применяем уравнение регрессии для уточнения ВНГО (формула 5).

$$H_{+12} = 170 + 114,7D - 16,1D_{925} + 5,3Td_{925} - 29,7Ri \quad (5)$$

Среднеабсолютные и среднеквадратические ошибки представлены на (рис.6).

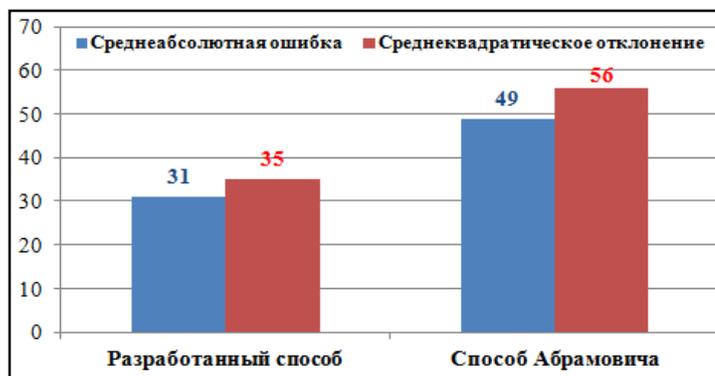


Рис. 6. Значения среднеабсолютных и среднеквадратических ошибок прогнозов ВНГО.
Составлено авторами.

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Анализ рис. 6 показал, что среднеабсолютная ошибка и среднеквадратическая ошибка разработанного способа составляют 31 и 35 метров, а способа Абрамовича 49 и 56 метров.

Разработанный способ по отношению к ранее используемому способу позволяет в 1,5 раза точнее прогнозировать ВНГО, что предоставляет более точные данные значений ВНГО при планировании и выполнении полётов авиации.

ВЫВОДЫ

Разработанный способ прогноза ВНГО с заблаговременностью до 12 часов в южных районах Приморского края, основанный на использовании методов регрессионного и дискриминантного анализа позволяют точнее спрогнозировать высоту нижней границы внутримассовой облачности, что в свою очередь существенно повлияет на определение полётной видимости и безопасность выполнения спланированных авиационных полётов ВС.

Полученные результаты отражают качество разработанного способа прогнозирования ВНГО и удовлетворяют требованиям потребителей метеорологической информации.

Важным фактором является то, что в ходе разработки прогноза были минимизированы ошибки пропуска по отношению к ошибкам ложной тревоги, что существенно улучшает возможность применения разработанного способа при прогнозировании метеорологических условий (ВНГО и видимости).

Список литературы

1. Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации (ФАПП – 2002). М.: Воениздат, 2002. 96 с.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 780 с.
3. Баранов А.М. Авиационная метеорология / А.М. Баранов, С.В. Солонин. СПб.: Гидрометеиздат, 1981, 186 с.
4. Швер У.А. Климат Владивостока. Л.: Гидрометеиздат, 1978, 250 с.
5. Полякова О.О., Каплуненко Д.Д. Типы атмосферной циркуляции над северной частью Тихого океана и их изменчивость. // Изучение глобальных изменений на Дальнем Востоке/ ТИГ ДВО РАН. Владивосток, 2007, С. 141–150.
6. Дорофеев В.В., Нахмансон Г.С., Ковалев В.И. Полетная видимость. Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2013. 280 с.
7. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95) (1995). М.: Транспорт. 204 с.
8. Федеральное агентство воздушного транспорта Российской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://m.favt.gov.ru> (дата обращения: 12.04.2022).
9. Содружество авиационных экспертов: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (дата обращения: 24.02.2022).
10. Анализ состояния безопасности полётов в гражданской авиации: [Электронный ресурс] URL:<https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (дата обращения: 15.04.2022).
11. Межгосударственный авиационный комитет: [Электронный ресурс]. URL:<https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 04.05.2022).

**FORECAST OF THE HEIGHT OF THE LOWER BOUND OF CLOUD IN THE
SOUTHERN REGIONS OF PRIMORSKY KRAI
IN THE SPRING-SUMMER PERIOD**

Kuznetsov I. E.¹, Cherepanov D. V.², Nasonov A. A.³, Dorofeev V. V.⁴

^{1,2,3,4}Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation

E-mail: ³alexeynasonov@list.ru

The height of the cloud base (CLB) and visibility are the main factors determining the degree of complexity of meteorological conditions during aviation flights. Severe meteorological conditions (SMC) include visual flights performed by aircraft (AC) under low clouds (VLGO less than 600 meters). For each type of aircraft, the values of VNGO and visibility are determined, at which flights are considered to be performed in SMU.

VNGO determines the type of distribution of horizontal visibility under the clouds, which is oblique flight visibility from the cockpit.

Therefore, when predicting meteorological conditions (VNGO and visibility) during aviation flights according to the rules of visual flights, a contradiction arises, consisting in identifying the meteorological visibility range (visibility near the ground against the sky) with flight visibility (visibility from the aircraft cockpit). The presented contradiction is especially relevant for the coastal regions of Primorsky Krai, where the monsoon climate is typical in the spring-summer period.

It is possible to resolve the contradiction by solving a scientific problem, which consists in forecasting VNGO in a monsoon climate and identifying relationships and patterns that affect the values of the flight visibility range.

Keywords: synoptic situations, cloud base height, forecast, difficult meteorological conditions, flight safety.

References

1. Federal'nyye aviatsionnyye pravila poletov v vozdušnom prostranstve Rossiyskoy Federatsii (FAPP – 2002). M.: Voenizdat, 2002. 96 s. (in Russian).
2. Matveyev L.T. Fizika atmosfery / L. T. Matveyev. SPb.: Gidrometeoizdat, 2000. 780 s. (in Russian).
3. Baranov A.M. Aviatsionnaya meteorologiya /A.M. Baranov, S.V. Solonin. SPb.: Gidrometeoizdat, 1981, 186 s. (in Russian).
4. Shver U.A. Klimat Vladivostoka. L.: Gidrometeoizdat, 1978, 250 s. (in Russian).
5. Polyakova O.O., Kaplunenko D.D. Tipy atmosfery tsirkulyatsii nad severnoy chast'yu Tikhogo okeana i ikh izmenchivost'. // Izucheniye global'nykh izmeneniy na Dal'nem Vostoke/ TIG DVO RAN. Vladivostok, 2007, S. 141–150. (in Russian)
6. Dorofeev V.V., Nakhmanson G.S., Kovalev V.I. flight visibility. - Voronezh: Voronezh TSNTI - branch of the Federal State Budgetary Institution "REA" of the Ministry of Energy of Russia, 2013. 280 p. (in Russian).
7. Manual on the meteorological support of civil aviation in Russia (NMO GA-95) (1995). M.: Transport. 204 p. (in Russian).
8. . Federal Air Transport Agency of the Russian Aviation: [Electronic resource] URL: <https://m.favt.gov.ru> (date of access: 12/04/2022). (in Russian).
9. Commonwealth of Aviation Experts: [Electronic resource] URL: <https://www.aex.ru/docs/4/> (date of access: 24/02/2022). (in Russian)

ПРОГНОЗ ВЫСОТЫ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ОБЛАЧНОСТИ В ЮЖНЫХ
РАЙОНАХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

10. Aviation accidents: causes, analysis, reports, investigations: [Electronic resource] URL: <https://avia.pro/blog/aviacionnye-proisshestviya> (date of access: 15/04/2022). (in Russian).
11. Analysis of the state of flight safety in civil aviation: [Electronic resource] URL: <https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com> (date of access: 04/05/2022). (in Russian).

Поступила в редакцию 22.01.2023 г.