



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 269–273

*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 269–273

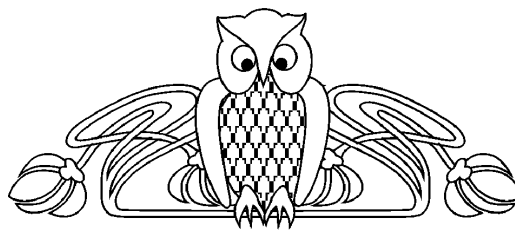
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

Научная статья

УДК 551.501

## Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности на полетную видимость



А. В. Степанов

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Ст. Большевиков, д. 54а

Степанов Алексей Владимирович, кандидат географических наук, докторант кафедры гидрометеорологического обеспечения, [step\\_al@mail.ru](mailto:step_al@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>

**Аннотация. Введение.** Представлена модель полетной видимости, которая учитывает характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности, динамику полета воздушного судна за счет изменения высоты и путевой скорости полета при производстве авиационных работ. **Материал и методика исследований.** Использованы ежечасные микрокольцевые карты погоды Среднерусской равнины Московского аэроузла. Методика исследования основана на построении модели полетной видимости с учетом влияющих на нее факторов, в том числе рельефа местности и характера подстилающей поверхности. **Результаты и их обсуждение.** Полетная видимость существенно зависит от характера подстилающей поверхности, а также от превышения рельефа местности относительно пункта вылета на расстоянии до 150 км. Влияние превышения рельефа местности относительно пункта вылета на 30% весомее, чем влияние характера подстилающей поверхности. **Выводы.** Применение построенной модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических условий, характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности для выполнения авиационных работ под низкими облаками, позволит принимать метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы, что приведет к совершенствованию метеорологического обеспечения полетов при производстве авиационных работ.

**Ключевые слова:** модель полетной видимости, рельеф местности, характер подстилающей поверхности, авиационные работы, динамика полета

**Для цитирования:** Степанов А. В. Оценка влияния физико-географических условий равнинной местности на полетную видимость // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2024. Т. 24, вып. 4. С. 269–273. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Influence assessment of physical and geographical conditions for flat terrain on flight visibility

A. V. Stepanov

Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy, 54a Starykh Bolshevikov St., Voronezh 394064, Russia

Alexey V. Stepanov, [step\\_al@mail.ru](mailto:step_al@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0004-6371-8551>

**Abstract. Introduction.** A flight visibility model is presented that takes into account the nature of the underlying surface, the height of the flat terrain, and the dynamics of the aircraft flight due to changes in altitude and ground speed during aerial work. **Materials and Methods.** Hourly microring weather maps of the Central Russian Plain of the Moscow air hub were used. The research methodology is based on constructing a flight visibility model, taking into account the factors influencing it, including the terrain and the nature of the underlying surface. **Results and their Discussion.** Flight visibility significantly depends on the nature of the underlying surface, as well as on the elevation of the terrain relative to the departure point at a distance of up to 150 km. The influence of the elevation of the terrain relative to the departure point is 30% more significant than the influence of the nature of the underlying surface. **Conclusions.** The use of the constructed flight visibility model, which takes into account the influencing physical and geographical conditions, the nature of the underlying surface, the height of the relief of flat terrain under low clouds, will make it possible to make weather-dependent decisions through the use of an intelligent meteorological system, which leads to the improvement of meteorological support for flights during aviation operations.

**Keywords:** flight visibility model, terrain, nature of the underlying surface, aviation operations, flight dynamics

**For citation:** Stepanov A. V. Influence assessment of physical and geographical conditions for flat terrain on flight visibility. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2024, vol. 24, iss. 4, pp. 269–273 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2024-24-4-269-273>, EDN: VDENVK

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Физико-географические характеристики равнинной местности определяют погоду района полетов влиянием подстилающей поверхности, рельефа, микрорельефа, суточного и годового хода метеорологических величин, что в итоге необходимо учитывать при производстве авиационных работ (АР) [1].

Возникает противоречие между информацией, предоставляемой метеорологической службой о горизонтальной видимости и необходимой при производстве АР наклонной полетной дальности видимости (НПДВ) – видимости пилотом из кабины воздушного судна (ВС) реальных объектов (ориентиров), по которым он оценивает свое пространственное положение [2, 3]. Это подтверждается анализом авиационных происшествий и катастроф гражданской авиации по данным Межгосударственного авиационного комитета, проведенного за 30 лет, который показал, что их причиной в 61% случаев является ограниченная полетная видимость [4].

Возникшее противоречие требует построения модели полетной видимости, учитывающей характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности, динамику полета ВС.

Целью статьи является совершенствование метеорологического обеспечения производства АР путем построения модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических характеристик равнинной местности и динамику полета ВС для различных частей (передней, теплого сектора, центра, тыла) циклона (Zn).

## Материалы и методы

В качестве исходного материала были использованы ежечасные микрокольцевые карты погоды Среднерусской равнины Московского аэроузла, представляющего собой равнинную местность, с 2005 по 2020 гг.

Модель полетной видимости построена автором самостоятельно при  $VНГО \leq 150$  м,  $150 < VНГО \leq 200$  м,  $200 < VНГО \leq 600$  м для значений реальной дальности видимости объектов (ориентиров) на земной поверхности на основе теории негоризонтальной видимости [2, 3].

Для  $VНГО \leq 150$  м,  $150 < VНГО \leq 200$  м:

$$S_{ПДВ} = L_{ЯВЛ} \frac{H_{ПОЛ}}{\cos \theta} \cdot \frac{D \cdot \sqrt{B^2 A \cdot S_P}}{\ln \frac{H_{ПОЛ} \cdot (B + \sqrt{B^2 A \cdot S_P}) + 2 \cdot S_P}{H_{ПОЛ} \cdot (B - \sqrt{B^2 A \cdot S_P}) + 2 \cdot S_P}}, \quad (1)$$

где  $L_{ЯВЛ}$  – коэффициент учета явлений погоды;  $\theta$  – угол визирования объектов (ориентиров) на земной поверхности с  $H_{ПОЛ}$ , °;  $D$  – коэффициент относительной видимости;  $A$ ,  $B$  – коэффициенты, зависящие от  $VНГО$ ;  $S_P$  – горизонтальная видимость реальных объектов (ориентиров), м.

Для  $200 < VНГО \leq 600$  м:

$$S_{ПДВ} = L_{ЯВЛ} \frac{S_P}{\cos \theta} \cdot D.$$

Горизонтальная видимость реальных объектов (ориентиров) [5, 6] определяется по формуле

$$S_P = S_0 \cdot D, \quad (2)$$

где  $S_0$  – МДВ, м.

Коэффициент относительной видимости  $D$  для практической реализации расчетов [5, 6] с учетом сезонов года (лето, осень, зима, весна) и характера подстилающей поверхности определяется по формуле

$$D = \frac{\ln \frac{K}{\epsilon}}{\ln \frac{1}{\epsilon}}, \quad (3)$$

где  $K$  – контраст реальных объектов (ориентиров) на любом фоне местности;  $\epsilon$  – пороговое значение чувствительности глаза человека ( $\epsilon = 0.05$ ).

Учет динамики полета ВС производится по путевой скорости ( $W$ ) [7], зависящей от  $\theta$ :

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad (4)$$

где  $\Delta\theta$  – приращение минимального угла визирования  $\theta_0$  с  $H_{ПОЛ}$ , зависящее от  $W$ , времени аккомодации зрения пилота.

Коэффициенты  $A$  и  $B$  определяются [2, 3]: для  $VНГО \leq 150$  м:

$$A = \frac{0,24S_P + 1,5S_{mH}}{VНГО^2}, \quad (5)$$

$$B = -\frac{1,24S_P + 0,5S_{mH}}{VНГО}; \quad (6)$$

для  $150 < VНГО \leq 200$  м:

$$A = \frac{4S_{mH} - 0,84S_P}{VНГО^2}, \quad (7)$$

$$B = -\frac{3S_{mH} + 0,16S_P}{VНГО}; \quad (8)$$

для  $200 < VНГО \leq 600$  м:

$$A = 0, \quad B = 0. \quad (9)$$

Учет влияния рельефа местности производится по расчету изменения видимости реального объекта у поверхности земли над равнинной местностью ( $\Delta S_P$ ) и  $VНГО$  ( $\Delta VНГО$ ) для различных превышений рельефа относительно пункта вылета [2]:

$$\Delta S_P = \pm d \cdot \Delta h, \quad (10)$$

$$\Delta VНГО = \pm c \cdot \Delta h, \quad (11)$$

где  $\Delta h$  – изменение высоты рельефа равнинной местности, м;  $d$ ,  $c$  – коэффициенты, зависящие от характера подстилающей поверхности.



Коэффициенты  $d$  в качестве примера для различных частей  $Z_n$  представлены в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что  $S_p$  наиболее подвержена изменению в переходный период в тылу  $Z_n$ , когда имеется лес и река ( $d = 12,4$ ). Наименьшие изменения  $S_p$  наблюдаются в центре  $Z_n$  в зимний период, когда имеется поле и река ( $d = 4,3$ ).

В табл. 2 представлена достоверность расчета коэффициента  $d$  по критериям успешности [4, 8]: коэффициента корреляции ( $r$ ); средней абсолютной и относительной ошибки ( $\sigma$ ,  $\eta$ ) для  $S_p$  в различных частях  $Z_n$ .

Коэффициенты  $c$  в качестве примера для различных синоптических ситуаций  $Z_n$  представлены в табл. 3.

Анализ данных, представленных в табл. 3, показывает, что  $\Delta ВНГО$  наиболее подвержено изменению в переходный период в тылу  $Z_n$ , когда имеется лес и река ( $c = 2,1$ ). Наименьшие изменения  $\Delta ВНГО$  наблюдаются в центре  $Z_n$  в зимний период, когда имеется поле, а река отсутствует ( $c = 0,9$ ).

В табл. 4 представлена достоверность расчета коэффициента  $c$  в различных частях  $Z_n$ .

Оценка достоверности расчетов коэффициентов  $c$  и  $d$  (см. табл. 2, 4) с учетом физико-

Таблица 1

**Значение коэффициента  $d$  в различных частях  $Z_n$**

Части $Z_n$	Лес и река		Поле (без реки)		Лес (без реки)		Поле и река	
	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)
Передняя часть $Z_n$	9,2	11,2	7,7	9,7	8,6	10,2	5,2	9,3
Теплый сектор $Z_n$	7,7	10,5	5,1	8,2	7,3	9,1	4,7	8,8
Центр $Z_n$	7,3	10,1	4,8	7,8	6,7	8,9	4,3	8,6
Тыл $Z_n$	11,2	12,4	10,1	12,1	10,2	11,8	8,4	10,6

Таблица 2

**Достоверность расчета коэффициента  $d$  в различных частях  $Z_n$**

Части $Z_n$	В радиусе =50 км			В радиусе =100 км			В радиусе =150 км		
	$r$	$\sigma$	$\eta$	$r$	$\sigma$	$\eta$	$r$	$\sigma$	$\eta$
Передняя часть $Z_n$	0,83	260,2	208,1	0,77	272,5	217,6	0,74	296,4	236,8
Теплый сектор $Z_n$	0,85	233,2	186,4	0,81	237,4	189,7	0,78	242,3	193,8
Центр $Z_n$	0,87	200,2	159,3	0,82	223,4	178,4	0,79	238,5	191,1
Тыл $Z_n$	0,79	315,6	252,5	0,75	331,3	265,4	0,71	351,3	281,4

Таблица 3

**Значение коэффициента  $c$  в различных частях  $Z_n$**

Части $Z_n$	Лес и река		Поле (без реки)		Лес (без реки)		Поле и река	
	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)	Зима	Весна (осень)
Передняя часть $Z_n$	1,3	1,6	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2	1,3
Теплый сектор $Z_n$	1,2	1,2	1,0	0,9	1,1	1,2	1,1	1,2
Центр $Z_n$	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1
Тыл $Z_n$	2,1	2,2	1,8	2,1	2,0	2,3	1,9	2,3

Таблица 4

**Достоверность расчета коэффициента  $c$  в различных частях  $Z_n$**

Части $Z_n$	В радиусе =50 км			В радиусе =100 км			В радиусе =150 км		
	$r$	$\sigma$	$\eta$	$r$	$\sigma$	$\eta$	$r$	$\sigma$	$\eta$
Передняя часть $Z_n$	0,84	10,6	8,4	0,79	15,8	12,1	0,76	21,5	17,4
Теплый сектор $Z_n$	0,86	8,2	6,2	0,82	12,2	9,8	0,80	15,6	12,6
Центр $Z_n$	0,89	8,3	6,3	0,84	12,1	9,7	0,82	15,2	12,4
Тыл $Z_n$	0,80	15,4	12,5	0,77	25,1	19,6	0,72	28,4	22,6



географических характеристик указывает на возможность их использования при расчете полетной видимости на расстоянии до 150 км относительно пункта вылета.

### Результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2 представлены результаты расчетов НПДВ по разработанной нами методике для различного характера подстилающей поверхности и превышения рельефа местности относительно пункта вылета. Видно, что НПДВ существенно зависит от характера подстилающей

поверхности, а также от превышения рельефа местности относительно пункта вылета. При этом влияние превышения рельефа местности относительно пункта вылета на 30% весомее, чем влияние характера подстилающей поверхности.

### Выводы

Применение построенной модели полетной видимости, учитывающей влияние физико-географических условий, характер подстилающей поверхности, высоту рельефа равнинной местности для выполнения авиационных работ под

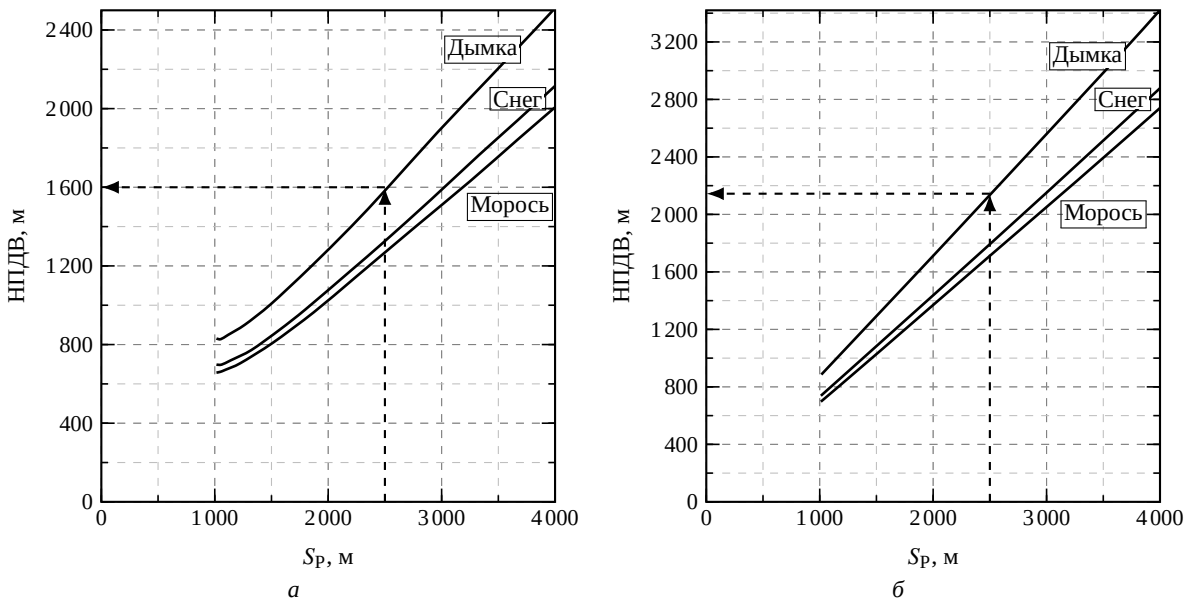


Рис. 1. Зависимость НПДВ от  $S_p$  при наличии леса и реки (а) и поля без реки (б) в тылу  $Z_p$  весной (осенью) для  $H_{\text{ПОЛ}} = 150$  м,  $W = 600$  км/ч в различных явлениях погоды

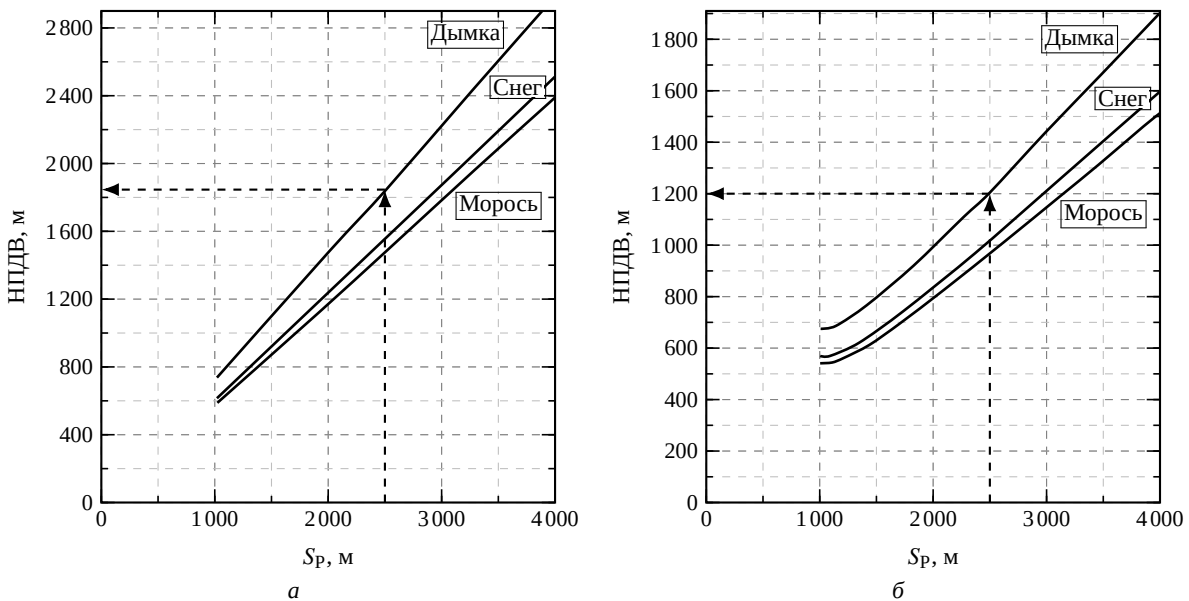


Рис. 2. Зависимость НПДВ от  $S_p$  в пункте вылета (а) и при превышении рельефа на 50 м относительно пункта вылета (б) для  $H_{\text{ПОЛ}} = 100$  м,  $W = 600$  км/ч в различных явлениях погоды



низкими облаками, и последующая коррекция возможности выполнения авиационных работ за счет динамики полета ВС позволят принимать метеозависимые решения за счет использования интеллектуальной метеорологической системы, что приведет к усовершенствованию метеорологического обеспечения полетов при производстве авиационных работ.

#### Библиографический список

1. Васильев А. А. Метеорологические условия полетов воздушных судов на малых высотах : пособие для специалистов АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ и для летного и диспетчерского состава гражданской авиации. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 90 с.
2. Дорофеев В. В., Бакланов И. О., Жильчук И. А., Степанов А. В., Ковалёв В. И. Полетная видимость : монография. Воронеж : ЦНТИ, 2013. 250 с. EDN: ZDXQGT
3. Рацмор М. Я. Наклонная видимость : методическое пособие для специалистов ГАМЦ, ЗАМЦ, АМЦ и АМСГ. Л. : Гидрометеиздат, 1987. 136 с.
4. Шакина Н. П., Иванова А. Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации : научно-методическое пособие. М. : Гидрометцентр России, 2016. 310 с. EDN: UTVQEK
5. Крито А. А., Смирнов П. И. Общий курс метеорологии. Л. : ВВИА им. проф. А. Ф. Можайского, 1959. Ч. II. 182 с.
6. Horvath H. Atmospheric Visibility // Atmospheric Environment. 1981. Vol. 15. P. 11–15.
7. Жаренков Л. А., Матвеев Ю. А., Ремянников Е. П. Воздушная навигация в различных условиях полетов : учебник для курсантов высших военных авиационных училищ штурманов. М. : Воениздат, 1985. 175 с.
8. Wilks D. Statistical methods in the atmospheric sciences. Academic Press, 2006. 648 p.

Поступила в редакцию 08.08.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024; принята к публикации 27.09.2024; опубликована 29.11.2024

The article was submitted 08.08.2024; approved after reviewing 24.09.2024; accepted for publication 27.09.2024; published 29.11.2024