

## Специализированный биометеорологический показатель

В. С. Балакин, Ю. В. Шипко✉, О. В. Колычев

Центральный научно-исследовательский институт  
Военно-воздушных сил (Минобороны России), Российская Федерация  
(127083, г. Москва, аллея Петровско-Разумовская, 12А, стр. 4)

**Аннотация:** Цель – совершенствование метеорологического обеспечения функционирования авиационных подразделений в районах с жарким климатом путем разработки специализированного биометеорологического показателя оценки безопасности работ персонала на открытой местности в условиях повышенных температур.

**Методы и материалы.** Модель показателя построена на основе подхода Харрингтона (обобщенной функции желательности). Информационную базу составили: данные наблюдений (1999–2018 гг.) на метеостанциях сети Росгидромета: Верхний Баскунчак, Волгоград, Астрахань, Александров Гай, Сочи; материал реанализа параметров атмосферы NCEP/DOE; ресурсы Мировых центров данных (наблюдений на метеорологических станциях территории Ближнего Востока).

**Результаты.** Построена модель специализированного биометеорологического показателя, отвечающего требованиям поддержки принятия метеозависимых решений органами управления, которая учитывает физическую нагрузку персонала и технологический период, необходимый для подготовки/обслуживания техники. Разработан программный комплекс автоматизированного расчета показателя. Приводятся пространственные распределения показателя в различных формах. Дана оценка эффективности применения показателя.

**Выводы.** Использование специализированного биометеорологического показателя может способствовать совершенствованию метеорологического обеспечения авиационных подразделений в условиях жаркого климата летнего сезона (в сравнении с индексом теплового стресса WBGT применение специализированного показателя дает повышение качества на 3–8 % – в зависимости от климатических условий района).

**Ключевые слова:** безопасность работ персонала, показатель теплового стресса, технологический период, функция желательности Харрингтона, автоматизированный расчет.

**Для цитирования:** Балакин В. С., Шипко Ю. В., Колычев О. В. Специализированный биометеорологический показатель // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021, № 4, с. 60-68. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3751>

## ВВЕДЕНИЕ

Авиационный персонал подразделений государственной авиации выполняет различные задачи при подготовке (обслуживании) авиационной техники на открытой местности. При базировании в районах с жарким климатом летнего сезона работа персонала в условиях высокой температуры окружающего воздуха имеет определенные ограничения, обусловленные снижением работоспособности, точности выполнения технологиче-

ских операций и риском для здоровья. При физической нагрузке персонала в условиях работы на открытом солнце возникают отрицательные последствия, тепловые травмы [6].

В настоящее время порядок организации работ в условиях повышенных температур определяется многочисленными ГОСТами Российской Федерации и международными стандартами ISO по эргономике термальной среды, руководящими и методическими документами Госсанэпиднадзора России по вопросам гигиенического нормиро-

© Балакин В. С., Шипко Ю. В., Колычев О. В., 2021

✉ Шипко Юрий Владимирович, e-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

вания условий труда в неблагоприятных климатических и микроклиматических условиях<sup>1</sup>. В практике метеорологического обеспечения различных потребителей используются многочисленные биометеорологические показатели (индексы) [4, 7, 8]. Однако проведенный анализ тепловых индексов показал, что они оценивают или степень комфортности климатических условий, или эргономические свойства рабочих мест в помещении, или предполагают проведение биометрических измерений в процессе работы персонала, или включают параметры (уровень солнечной радиации, температура внутри шарового термометра и др.), по которым отсутствуют средства измерений в метеорологическом подразделении.

Таким образом, известные индексы «теплого стресса» и методики нормирования условий работ персонала в термальной среде не в полной мере учитывают специфику военного потребителя, они малоинформативны для принятия управленческих решений при оценке возможности выполнения технологических процессов при обслуживании авиационной техники.

Для органов управления при планировании и проведении мероприятий необходимо иметь научно обоснованную методическую поддержку, позволяющую определить возможность безопасной работы персонала на открытой местности в условиях повышенных температур воздуха в течение заданных технологических периодов.

В целях совершенствования метеорологического обеспечения функционирования авиационных подразделений в районах с жарким климатом решается задача разработки специализированного показателя оценки безопасности работ персонала на открытой местности в условиях повышенных температур, отвечающего требованиям поддержки принятия метеозависимых решений.

Информационную базу исследования составили: данные наблюдений (1999–2018 гг.) на метеорологических станциях сети Росгидромета: Верхний Баскунчак, Волгоград, Астрахань, Александров Гай, Сочи; материал резервного объективного анализа (реанализа) параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II<sup>2</sup>; ресурсы Мировых центров данных (наблюдений на метеорологических станциях территории Ближнего Востока).

#### МОДЕЛЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

На основе проведенного анализа используемых в практике тепловых индексов сформулированы требования к специализированному биометеорологическому показателю «военного назначения»:

- верификация к погоднo-климатическим условиям южной части Европейской территории России и Ближнего Востока;

- использование входных расчетных параметров, по которым имеются средства измерений в метеорологическом подразделении;

- простота в использовании (автоматизированный расчет);

- отсутствие входных параметров, требующих непосредственной диагностики в процессе работы персонала (выделяемое человеком метаболическое тепло, ректальная температура, средневзвешенная температура кожи, частота сердечных сокращений и другие физиологические характеристики);

- учет основных факторов «теплого стресса»: температуры и относительной влажности окружающего воздуха; скорости ветра; радиационной температуры; метаболической теплоты, выделяемой телом; свойств одежды работающего персонала;

- возможность прогноза величины индекса и альтернативной оценки к принятию решения командиром на безопасные работы персонала;

- учет технологического периода (заданного времени непрерывной работы персонала, необходимого для выполнения технологических операций по подготовке/обслуживанию техники).

<sup>1</sup>ГОСТ Р 57794–2017 (ISO 7933:2004). Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки.

ГОСТ Р ИСО 7243–2007 (ISO 7243:1989). Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра).

ГОСТ Р ИСО 9886–2008 (ISO 9886:2004). Эргономика. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений.

Методические рекомендации Мр 2.2.8.0017–10. Режимы труда и отдыха работающих в нагревающем микроклимате в производственном помещении и на открытой местности в теплый период года/ Утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.12.2010 г.

Руководство Р 2.2.2006–05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2005. 142 с.

СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах/ Утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.06.2016. № 81.

<sup>2</sup>NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/pcd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 22.05.2018).

При построении модели показателя разрешено имеющееся противоречие: с одной стороны, безопасная работа персонала на открытой местности в жарких условиях летнего сезона должна быть ограничена временным интервалом по комплексу «ключевых» факторов теплового воздействия; с другой стороны, должен быть выдержан технологический период работ.

Используются следующие условия:

- работающий персонал акклиматизирован;
- уровень физической нагрузки 3 класса – высокое выделение метаболического тепла, в среднем 350 ккал/ч (407 Вт), что отвечает следующим нагрузкам: интенсивная работа рук и туловища; перенос тяжестей; толкание или волочение тяжело нагруженных ручных тележек и др.<sup>3</sup>;
- характеристики одежды: обеспечивается коэффициент термоизоляции (0,6 clo, рубашка с длинными рукавами и брюки) и индекс влагопроницаемости согласно стандартам;
- критические значения физиологических параметров субъекта: ректальная температура (при повышенной температуре поверхности тела) не выше 39 °С, частота сердечных сокращений – не более 160 ударов/мин;
- скорость ветра не превышает 2 м/с (по нормативным документам);
- входные параметры модели: метеорологические факторы – температура (°С) и относительная влажность (%) окружающего воздуха; технологический период  $t$

$$d(y'_j) = \exp(-\exp(-y'_j)), \quad (1)$$

где  $y'_j$  – кодированное значение частного признака  $y_j$ ; при кодировании используется линейная зависимость  $y'_j = b_{0j} + b_{1j} y_j$ , где коэффициенты  $b_{0j}$ ,  $b_{1j}$  определяются заданием для двух значений параметров  $y_j$  соответствующих значений функции желательности  $d(y'_j)$  в интервале [0,2; 0,8].

Функция (1) имеет базовые точки (0,2; 0,37; 0,63; 0,8), что позволяет задавать границы градаций желательности строгим образом. Обычно руководствуются интервальными диапазонами с соответствующими терминами: [0; 0,2] – «очень плохо»; [0,2; 0,37] – «плохо»; [0,37; 0,63] – «удов-

летворительно»; [0,63; 0,8] – «хорошо»; [0,8; 1,0] – «очень хорошо».

Обобщенный показатель задается в виде средней геометрической [3]:

$$D = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p d(y'_j)}. \quad (2)$$

В качестве частных показателей сделан выбор индексов теплового стресса, которые используются в практике метеорологического обеспечения и, главное, соответствуют приведенным выше требованиям определенными информационными аспектами. Во-первых, имеется зависимость (или спецификация) показателя и интервала непрерывной работы персонала, во-вторых, – информация о физической нагрузке при выполнении работ, в-третьих, – определена отметка (градации значений показателя) наступления критических условий для физиологического состояния персонала (в среднем).

Таким образом, модель специализированного биометеорологического показателя представляется как «свертка» нескольких частных интегральных индексов, учитывающих основные (метеорологические и физиологические) факторы «теплового стресса»:

- состояния человека при физической нагрузке в жарких условиях ( $y_1$ ), для оценки которого используется индекс приведенной температуры<sup>4</sup>, °С:

$$WD = 0,85 t_w + 0,15 t, \quad (3)$$

где  $t_w$  – температура смоченного термометра, °С;  $t$  – температура сухого термометра (температура окружающего воздуха), °С;

- теплового ощущения человека ( $y_2$ ), – показатель эффективной температуры, °С [7]:

$$ET = t - 0,4(t - 10)(1 - R_H/100), \quad (4)$$

где  $R_H$  – относительная влажность воздуха, %;

- опасности жаркой среды ( $y_3$ ), – тепловой индекс (*Heat index*)<sup>5</sup>, °F:

$$HI = -42,379 + 2,04901523 t + 10,14333127 R_H - 0,22475541 t R_H - 0,00683783 t^2 - 0,05481717 R_H^2 + 0,00122874 t^2 R_H + 0,00085282 t R_H^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} t^2 R_H^2, \quad (5)$$

где  $t$  – температура воздуха, °F.

<sup>3</sup>ГОСТ Р 57794–2017 (ISO 7933:2004) Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки.

ГОСТ Р ИСО 7243–2007 (ISO 7243:1989) Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра).

<sup>4</sup>Goldman R.F. Introduction to heat-related Problems in military operations [Электронный ресурс]. URL: [http://www.bordeninstitute.army.mil/published\\_volumes/harshEnv1/Ch1\\_IntroductiontoHeatRelatedProblemsinMilitaryOpera.pdf](http://www.bordeninstitute.army.mil/published_volumes/harshEnv1/Ch1_IntroductiontoHeatRelatedProblemsinMilitaryOpera.pdf) (дата обращения: 12.10.2018).

<sup>5</sup>The Heat Index Equation // National Weather Service: Weather Prediction Center [Электронный ресурс]. URL: [http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heat-index\\_equation.shtml](http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heat-index_equation.shtml) (дата обращения: 26.01.2020).

В итоге обобщенный показатель согласно (2) представляется в виде:

$$D = \exp\left\{-\frac{1}{3}[\exp(-b_{01} - b_{11} y_1) + \exp(-b_{02} - b_{12} y_2) + \exp(-b_{03} - b_{13} y_3)]\right\}, \quad (6)$$

где  $b_{0j}$ ,  $b_{1j}$ ,  $j = 1, 2, 3$ , определяются с учетом технологического периода  $\tau$  [9].

Решающим правилом оценки биометеорологической безопасности работ персонала является условие  $D(t, R_H, \tau) > 0,37$ , что соответствует формулировке по Харрингтону – условия «удовлетворительные и лучше». Полагается возможность непрерывной работы без тепловых травм (с физической нагрузкой, соответствующей выделению метаболического тепла в среднем 350 ккал/ч) на открытой местности в течение заданного периода  $\tau$ .

Для удобства расчетов значений специализированного показателя построены номограммы  $D(t, R_H, \tau)$  в зависимости от температуры, относительной влажности воздуха, технологических периодов [9].

Разработан программный комплекс автоматизированного расчета и территориального распределения специализированного биометеорологи-

ческого показателя [1, 2], программные модули которого построены с использованием языка программирования Python.

В схему расчета специализированного показателя входит процедура определения величины температуры смоченного термометра  $t_w$ , которая рассчитывается по принятому стандарт алгоритму<sup>6</sup>.

Программный комплекс включает интерфейс для взаимодействия с оператором. Входные параметры:  $t_{ВХ}$ ,  $R_{HВХ}$ ,  $\tau$ ; выходные параметры – рекомендации к проведению работ на открытой местности при данных условиях.

### РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ

С помощью автоматизированного расчета и представления специализированного показателя можно отображать на карте обстановку биометеорологической опасности работ персонала в определенный день. Например, на рисунке 1 представлены зоны опасной работы по территории Ближнего Востока (для сравнения даны условия весеннего и летнего дня, при технологических периодах  $\tau = 1, 2$  ч).

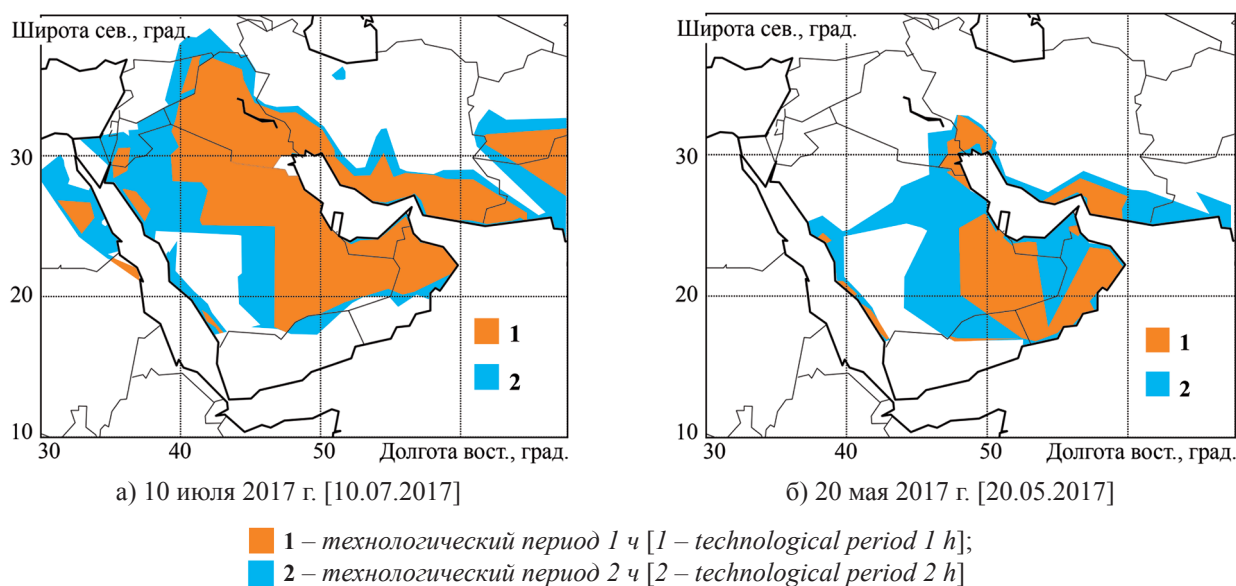


Рис. 1. Отображение зон опасной работы персонала (по данным метеостанций Ближнего Востока, сроки 12–18 ч)  
 [Fig. 1. Reflection of dangerous personnel operation zones (according to meteorological stations of the Middle East, times 12–18 h)]

Проведено районирование территории по среднему значению показателя  $D$ , рассчитанному по сочетаниям среднемесячных значений температуры и влажности воздуха ( $t_{max}$ ,  $R_H$ ). На-

пример, на рисунке 2 дана картина распределения по северному полушарию среднего значения показателя  $D$  для июля (технологический период  $\tau = 3$  ч, сроки 12, 18 ч).

<sup>6</sup>ГОСТ 8.524–85 Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения

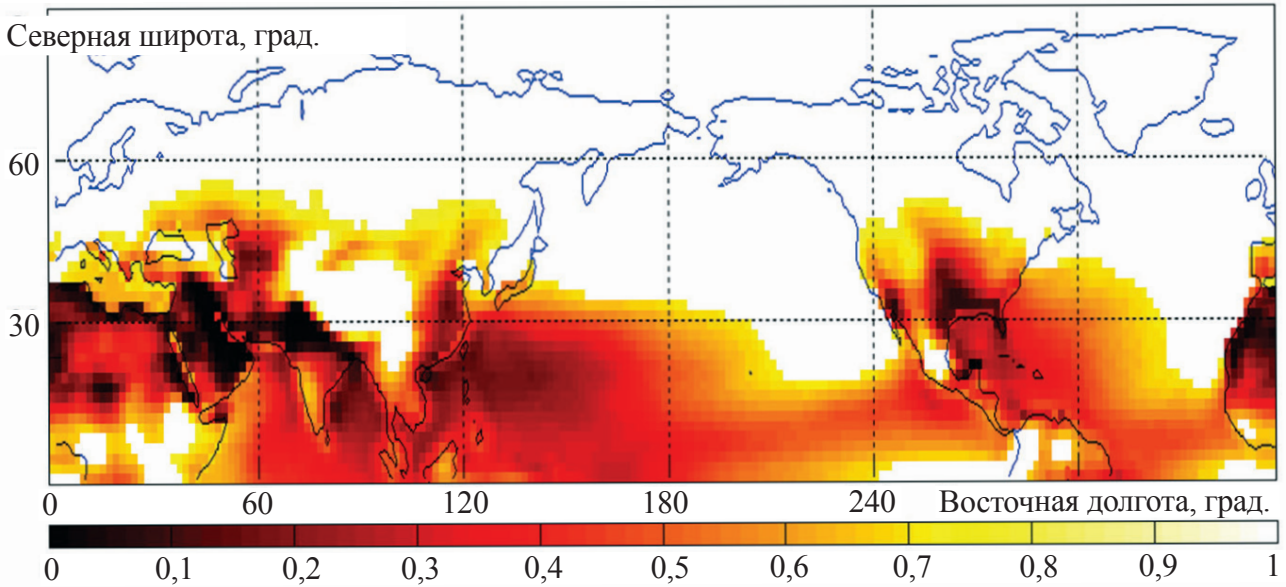


Рис. 2. Пространственное распределение по северному полушарию среднего показателя  $D$  (июль, 1999–2018 гг., технологический период 3 ч)  
 [Fig. 2. Spatial distribution across the Northern Hemisphere of the average indicator  $D$  (July, 1999–2018, technological period 3 h)]

В отдельные дни летнего сезона картина распределения «опасных» для работ на открытой местности метеорологических условий может быть иной. Для планирования и проведения мероприятий в авиации информативным показателем может служить показатель среднего числа дней в месяце с опасными биометеорологическими условиями по району базирования. Проведен расчет специализированного показателя в такой фор-

ме представления для условий районов станций южной части Европейской территории России: Верхний Баскунчак; Волгоград; Александров Гай; Астрахань; Сочи. Использовались данные наблюдений за июль 1999–2018 гг. При этом за день с опасными биометеорологическими условиями (когда  $D \leq 0,37$ ) принимался такой, в течение которого данное явление отмечалось хотя бы раз из трех рассматриваемых дневных сроков (рис. 3).

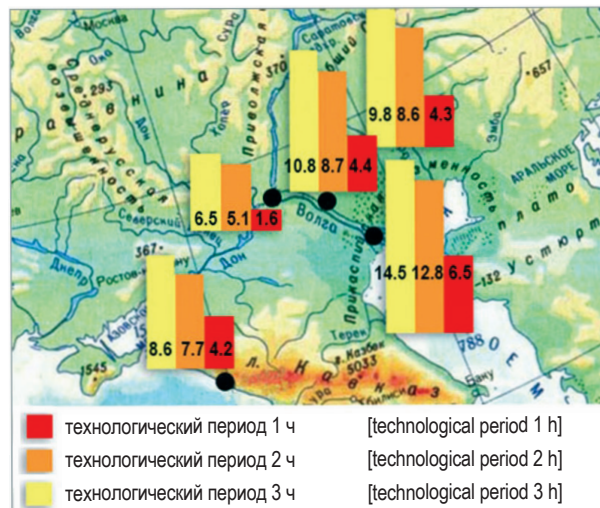


Рис. 3. Распределение среднего числа дней в июле (1999–2018 гг.) с опасными биометеорологическими условиями для различных технологических периодов на станциях: Верхний Баскунчак, Волгоград, Александров Гай, Астрахань, Сочи  
 [Fig. 3. Distribution of average number of days in July (1999–2018) with dangerous biometeorological conditions for different technological periods at stations: Upper Baskunchak, Volgograd, Astrakhan, Alexandrov Guy, Sochi]

Как следует из приведенных результатов (рис. 3), наиболее напряженный (с точки зрения работ на открытой местности в условиях повышенных температур) район станции Астрахань. Похожие условия наблюдаются в районах Верхний Баскунчак, Александров Гай. Несколько «лучше» условия в районе Сочи. Наименее напряженный из рассматриваемых районов – район Волгограда. Следует заметить, что среднее число дней в июле с опасными биометеорологическими условиями ( $D \leq 0,37$ ) в отмеченных районах уменьшается с сокращением времени  $t$  непрерывной работы персонала, поскольку для технологических периодов меньшей продолжительности возможны более жесткие метеорологические условия (по комплексу «температура, влажность»), повторяемость которых в соответствующих районах снижается (и наоборот).

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Проведен анализ эффективности применения разработанной методики оценки биометеорологической безопасности работающего персонала с использованием показателя относительной верификации  $\gamma$ , рассчитанного по численным значениям показателя эффективности  $J$  при различных стратегиях  $S$  обеспечения поддержки принятия метеозависимых решений [5]:

$$\gamma^k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{J_i(S^m) - J_i(S^k)}{J_i(S^k)}, \quad \forall k = \overline{1, K}, \quad (7)$$

где  $N$  – объем архивной выборки,  $S^m$  – методическая стратегия, основанная на использовании специализированного показателя  $D$ ,  $S^k$  –  $k$ -ая эмпирическая стратегия поддержки принятия решений,  $K$  – количество стратегий.

Значение показателя относительной верификации (7) позволяет судить о том, в какой степени применение стратегии  $S^m$  по предлагаемой методике использования биометеорологической информации способствует повышению (понижению) результативности относительно другой  $k$ -ой методики.

В качестве  $k$ -ой эмпирической стратегии  $S^k$  используются следующие подходы оценки безопасности работ на открытой местности:

1) применение ограничительного значения температуры окружающего воздуха  $t = 30$  °С (в соответствии с требованиями Федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации);

2) применение индекса *WBGT* согласно ГОСТ Р ИСО 7243 (для открытой местности, при солнечной радиации).

В качестве критерия эффективности  $J$  в формуле (7) принимается показатель числа дней в месяце, когда возможна безопасная работа персонала по обслуживанию техники на открытой местности (в дневные часы). Результаты расчетов показателя относительной верификации  $\gamma^k$ , на примере технологического периода  $\tau = 1$  ч, сведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения показателя относительной верификации по выборкам для различных станций (июль, 1999–2018 гг., дневные сроки,  $\tau = 1$  ч)  
[Table 1. Relative verification index values by samples for different stations (July, 1999–2018, daytime,  $\tau = 1$  h)]

Стратегия $k$ / Strategy $k$	Станции / Stations				
	В. Баскунчак / Up. Baskunchak	Волгоград / Volgograd	Александров Гай / Alexandrov Guy	Астрахань / Astrakhan	Сочи / Sochi
1	3,13	1,41	2,51	2,61	0,08
2	0,05	0,03	0,04	0,08	0,04

Анализ данных (табл. 1) эффективности стратегии, построенной на основе методики использования показателя  $D$ , относительно других эмпирических стратегий, указывает на разброс значений показателя  $\gamma$  в зависимости от того, с какой из эмпирических стратегий соотносится методическая стратегия, в каких климатических условиях используется. Применение специализированного показателя  $D$  повышает эффективность относительно стратегии использования ограничительного критерия по температуре воз-

духа ( $t = 30$  °С) в 2,5–3 раза – для особенно жарких районов (Александров Гай, Верхний Баскунчак, Астрахань).

В сравнении с индексом теплового стресса *WBGT* применение специализированного показателя  $D$  дает повышение качества метеорологического обеспечения на 3–8 % (в зависимости от климатических условий района).

Расчеты критерия относительной верификации  $\gamma$  для сравнения методик  $S^m$  и  $S^1$  при временных интервалах 2 и 3 ч представлены в таблице 2.

Значения показателя относительной верификации при различных технологических периодах  
(июль, 1999–2018 гг., дневные сроки)

[Table 2. Relative verification index values at different technological periods  
(July, 1999–2018, daytime)]

Технологический период, ч / Technological period, h	Станции / Stations				
	В. Баскунчак / Up. Baskunchak	Волгоград / Volgograd	Александров Гай / Alexandrov Guy	Астрахань / Astrakhan	Сочи / Sochi
2	2,34	1,14	1,75	1,73	-0,02
3	1,92	1,08	1,68	1,62	-0,06

Относительная эффективность применения разработанной методики оценки биометеорологической безопасности (относительно методики использования обычного критерия по температуре воздуха  $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) значительно возрастает и при других технологических периодах для различных районов юга ЕЧР. Исключение составляет район Сочи, где использование показателя  $D$  несколько снижает относительную эффективность (табл. 2). Однако следует обратить внимание, что в этом районе (на морском побережье) отмечается повышенная влажность, что усиливает нагрузку на организм работающего человека, следовательно, уменьшается число рабочих дней в месяце. Таким образом, приложении специализированного биометеорологического показателя к условиям, подобным району Сочи (с высокой климатической влажностью), снижает значения показателя относительной верификации, но учитывает безопасность персонала, работающего в таких условиях.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт проживания в регионах с жарким климатом позволил разработать достаточно стройную систему профилактических мер, позволяющих свести к минимуму пребывание на открытом воздухе в наиболее жаркое время суток. Широко используются технические средства, уменьшающие внешнюю тепловую нагрузку (козырьки, тенты и т. п.), перерывы в работе в дневное время, использование активных систем поддержания микроклимата в помещениях и в объектах военной техники. Однако специфика военного и авиационного труда часто вносит серьезные ограничения в использование этих средств, способов и методов. Именно в этих ситуациях возрастает роль технических средств контроля и информационной поддержки персонала.

В некоторых районах функционирования авиационных формирований природно-климатические условия летнего сезона затрудняют применение авиационной техники, снижают лет-

но-технические и эксплуатационные показатели, увеличивают материальные и трудовые затраты на ее эксплуатацию, кроме того, воздействуют и на человека, работающего в таких условиях. Поэтому исследования биометеорологической безопасности персонала не теряют актуальности.

Оценка степени разработанности тематики предмета исследования указывает на то, что существующие подходы к обеспечению биометеорологической безопасности персонала при работах на открытой местности в условиях повышенных температур не всегда находятся на требуемом уровне. В первую очередь это связано со спецификой функционирования авиационных подразделений, наличием сложных связей между различными элементами системы «физиологическое состояние человека – микроклимат природных объектов».

Представленная в работе модель специализированного биометеорологического показателя оценки безопасности работ персонала на открытой местности в условиях жаркого климата (летнего сезона) отвечает требованиям поддержки принятия метеозависимых решений, учитывает временные рамки подготовки (обслуживания) техники, физическую нагрузку персонала и метеорологические условия. Использование данной модели, реализованной в виде программного комплекса автоматизированного расчета и представления специализированного показателя, может способствовать совершенствованию метеорологического обеспечения функционирования авиационных подразделений в районах базирования с жарким климатом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированное определение территориального распределения биоклиматического показателя безопасности работ персонала в жарком климате: Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021660222 / В. С. Балакин, Ю. В. Шипко, О. В. Колычев, Н. В. Зиброва. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 23 июня 2021 г.

2. Автоматизированный расчет специализированного биометеорологического показателя оценки безопасности работ персонала в жарком климате: Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020663116/ В.С. Балакин, Ю.В. Шипко, О.В. Кольчев. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ 22 октября 2020 г.

3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.

4. Акимов Е.Л., Куролап С.А., Акимов Л.М. Анализ биоклиматических рисков на территории ЦЧР // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2017, № 2, с. 102-109.

5. Матвеев М.Г., Михайлов В.В. Управление организационно-технической системой в условиях метеорологической неопределенности: Монография. Воронеж: ВВВАИУ, 2006. 128 с.

6. Павлова Т.В., Сумин С.А., Шаповалов К.Г. Тепловая травма: патоморфологические и клинические аспекты. М.: Медицинское информационное агентство, 2013. 216 с.

7. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Под ред. проф. Н.В. Кобышевой. СПб.: ЦНИТ «Астерион», 2008. 336 с.

8. Суковатов К.Ю., Безуглова Н.Н. Использование мультипликативной модели биоклиматического показателя для определения локальных условий безопасности работ на открытом воздухе // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2019, № 3, с. 61-66. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2327>

9. Шипко Ю.В., Балакин В.С., Шувакин Е.В. Обобщенный биометеорологический показатель безопасности работ на открытой местности в жарком климате // *Материалы XX Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методы, технологии»*, 2020, с. 1529-1536.

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

Поступила в редакцию 16.12.2020

Принята к публикации 23.11.2021

---

---

## GEOECOLOGY

---

---

UDC 551.586

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3751>

### Specialized Biometeorological Indicator

V.S. Balakin, Yu.V. Shipko ✉, O.V. Kolychev

*Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense), Russian Federation  
(4 b., 12A, Petrovsky-Razumovskaya al., Moscow, 127083)*

**Abstract:** The purpose of the study is to improve the meteorological support of aviation units functioning in hot climate areas by developing a specialized biometeorological indicator to assess the safety of personnel working in open terrain in conditions of elevated temperatures.

**Methods and materials.** The indicator model is based on Harrington's approach (the generalized desirability function). Information base was compiled by: observation data of meteorological stations of Roshydromet network: Upper Baskunchak, Volgograd, Astrakhan, Alexandrov Guy, Sochi; reanalysis of atmospheric parameters NCEP/DOE materials; World data Center resources (observation data of meteorological stations in the Middle East).

**Results.** The model of specialized biometeorological indicator that meets the requirements of supporting weather-dependent decision-making by management bodies was built. The model takes into account the physical load of personnel and the technological period necessary for the preparation/maintenance of equipment. Software package for automated calculation of the indicator is developed. The spatial distribution of this indicator in various forms is given. Efficiency of indicator application is calculated.

**Conclusions.** The use of the developed indicator can contribute to improving the meteorological support of aviation units in the hot climate of summer season (comparison with the heat stress index WBGT,

---

© Balakin V.S., Shipko Yu.V., Kolychev O.V., 2021

✉ Yuri V. Shipko, e-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



the application of specialized indicator gives an increase in quality by 3–8 % depending on the climatic conditions of the area).

**Key words:** safety of personnel operation, heat stress index, technological period, Harrington's desirability function, automated calculation.

**For citation:** Balakin V.S., Shipko Yu. V., Kolychev O. V. Specialized Biometeorological Indicator. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologia*, 2021, no. 4, pp. 60-68 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3751>

#### REFERENCES

1. *Avtomatizirovannoe opredelenie territorialnogo raspredeleniy bioklimaticheskogo pokazatelya bezopasnosti rabot personala v zharkom klimate: Svidetel'stvo gos. registracii programmy dlya EVM № 2021660222* [Certificate of state registration of the computer program no. 2021660222]. V.S. Balakin, Yu. V. SHipko, O. V. Kolychev, N. V. Zibrova. Data gos. registracii programm dlya EVM 23 iunya 2021. (In Russ.)
  2. *Avtomatizirovannyj raschet specializirovannogo biometeorologicheskogo pokazatelya ocenki bezopasnosti rabot personala v zharkom klimate: Svidetel'stvo gos. registracii programmy dlya EVM № 2020663116* [Certificate of state registration of the computer program no. 2020663116]. V.S. Balakin, Yu. V. SHipko, O. V. Kolychev. Data gos. registracii programm dlya EVM 22 oktyabrya 2020. (In Russ.)
  3. Adler Y. P., Markova E. V., Granovskij Y. V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij* [Plan an experiment for optimal conditions] M.: Nauka, 1976. 280 p. (In Russ.)
  4. Akimov E. L., Kurolap S. A., Akimov L. M. Analiz bioklimaticheskikh riskov na territorii CCHR [Analysis of bioclimatic risks in the territory of CCR]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologia*, 2017, no. 2, pp. 102-109. (In Russ.)
  5. Matveev M. G., Mihajlov V. V. *Upravlenie organizacionno-tekhnicheskoy sistemoy v usloviyah meteorologicheskoy neopredelennosti* [Management of the organizational-technical system in conditions of meteorological uncertainty]. Monografiya. Voronezh: VVVAIU, 2006. 128 p. (In Russ.)
  6. Pavlova T. V., Sumin S. A., Shapovalov K. G. *Teplovaya travma: pato-morfologicheskie i klinicheskie aspekty* [Heat injury: pathomorphological and clinical aspects]. M.: Medicinskoe informacionnoe agentstvo, 2013. 216 p. (In Russ.)
  7. *Rukovodstvo po specializirovannomu klimatologicheskomu obsluzhivaniyu ekonomiki* [Guide to specialized climatological services for the economy]. Pod red. prof. N. V. Kobyshevoj. SPb.: CNIT «Asterion», 2008. 336 p. (In Russ.)
  8. Sukovatov K. Yu., Bezuglova N. N. Ispolzovanie multiplikativnoi modeli bioklimaticheskogo pokazatelya dlya opredeleniya lokalnih uslovij bezopasnosti rabot na otkritom vozduhe [Using multiplicative bioclimatic indicator model to determine local safety conditions for work outdoors]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologia*, 2019, no. 3, pp. 61-66. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2327>
  9. Shipko Yu. V., Balakin V. S., Shuvakin E. V. Obobshchennyj biometeorologicheskij pokazatel' bezopasnosti rabot na otkrytoj mestnosti v zharkom klimate [Generalized biometeorological indicator of open area safety in hot climates]. Materialy XX Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii «Informatika: problemy, metody, tekhnologii», 2020, pp. 1529-1536. (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: 16.12.2020  
Accepted: 23.11.2021

Балакин Владимир Станиславович  
старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил (Минобороны России), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-7332-2946, e-mail: balakin69vs@gmail.com.

Шипко Юрий Владимирович  
кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил (Минобороны России), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3677-6594, e-mail: yshipko@mail.ru.

Колычев Олег Васильевич  
младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории Центрального научно-исследовательского института Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: ok.home@mail.ru.

Vladimir S. Balakin  
Senior Researcher of the Scientific Research Laboratory, Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense), Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7332-2946, e-mail: balakin69vs@gmail.com.

Yuri V. Shipko  
Cand. Sc. (Tech.), Associate Professor, Senior Researcher of the Scientific Research Laboratory, Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense), Moscow, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3677-6594, e-mail: yshipko@mail.ru

Oleg V. Kolychev  
Junior Researcher of the Scientific Research Laboratory, Central Scientific Research Institute of Air Force (RF Ministry of Defense), Moscow, Russian Federation, e-mail: ok.home@mail.ru.