

Модель принятия решений на работы персонала в жарких погодно-климатических условиях

В. С. Балакин, email: balakin69vs@gmail.com

Ю. В. Шипко, email: yshipko@mail.ru

О. В. Колычев, email: ok.work@mail.ru

ЦНИИ ВВС (Минобороны России)

***Аннотация.** Рассматривается модель альтернативной оценки безопасности работ персонала на открытой местности в условиях жаркого климата, где учитываются основные параметры теплового стресса и заданный технологический период. Разработан программный комплекс автоматизированного расчета специализированного биометеорологического показателя.*

***Ключевые слова:** биометеорологический показатель, тепловой стресс, технологический период, функция Харрингтона.*

Введение

Определенные виды технологических процессов и мероприятий производственной деятельности проходят на открытой местности в условиях жаркого климата. При этом часто необходимо выдерживать заданный технологический временной интервал работ. В таких условиях работают военнослужащие, сотрудники МВД, служб МЧС и другой персонал. Например, подвержены тепловому влиянию военнослужащие во время подготовки (обслуживания) вооружения, военной и специальной техники в условиях высокой температуры окружающего воздуха. Физическая нагрузка персонала при работе на открытом солнце имеет ограничения, поскольку связана с риском для здоровья, тепловыми травмами [1–3].

В практике метеорологического обеспечения различных потребителей для оценки влияния условий внешней среды на организм человека используются биометеорологические показатели (индексы), в число которых входят и тепловые индексы, которые нашли применение в климатологии, курортологии, отраслях экономики [4]. Индексы «теплового стресса» учитывают комплекс основных факторов [5, 6] теплового воздействия: температуру и влажность окружающего воздуха, среднюю радиационную температуру, движение воздуха, суммарную метаболическую теплоту, выделяемую телом, физические особенности одежды. Большинство тепловых индексов оценивают или степень

комфортности климатических условий, или эргономические свойства рабочих мест в помещении [7], или предполагают биометрические измерения в процессе работы персонала [8]. Таким образом, существующие в настоящее время тепловые индексы (в том числе – теплового стресса) не отвечают требованиям метеорологического обеспечения военного потребителя, малоинформативны для поддержки принятия решений органами управления при планировании мероприятий, подготовке техники, проведении регламентных и других работ на открытой местности в условиях повышенных температур.

1. Модель специализированного биометеорологического показателя

Модель специализированного биометеорологического показателя (военного назначения) оценки безопасности работ персонала на открытой местности в жарких погодных-климатических условиях строится как обобщенная функция желательности Харрингтона [9]. Используются частные показатели $y_j, j = 1, 2, 3$, оценивающие условия работы персонала в разных аспектах: y_1 – состояния человека при умеренной физической нагрузке (индекс приведенной температуры) [10]; y_2 – теплоощущений (индекс эффективной температуры) [11]; y_3 – опасности условий жаркой среды [12]. Тогда зависимость специализированного биометеорологического показателя D от частных показателей y_j имеет вид [13]:

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

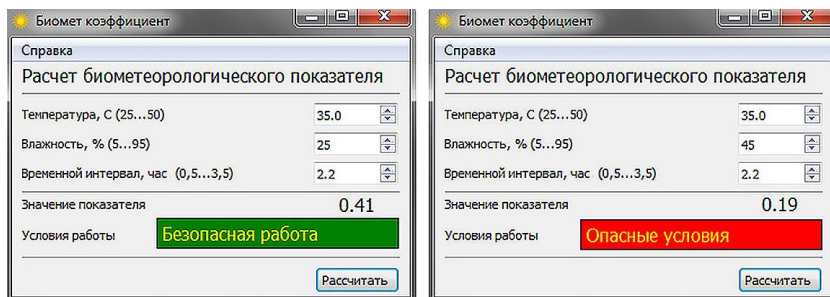
где коэффициенты $b_{0j}, b_{1j} (j = 1, 2, 3)$ определяются с учетом технологического периода τ решением системы уравнений при задании для двух значений y_j соответствующих значений частных функций желательности $d(y'_j) = \exp(-\exp(-y'_j))$ (по Харрингтону) при $d(y'_j) = 0,37$ и $d(y'_j) = 0,63$ (где y'_j – кодированное значение признака, используется линейная зависимость $y'_j = b_{0j} + b_{1j}y_j$).

Входные параметры модели (температура t , °С, и относительная влажность воздуха R_H , %, технологический период τ , ч) являются предикторами частных показателей $y_j, j = 1, 2, 3$.

Расчетное значение специализированного показателя (1) сравнивается с уровнем 0,37 (границей между условиями «удовлетворительно» и «плохо» – по Харрингтону [9]). Формулируется вывод: $D \leq 0,37$ – опасные условия работы персонала, $D > 0,37$ – безопасные условия работы персонала. В зависимости от параметров t, R_H, τ составлены номограммы определения значения биометеорологического показателя D [13].

2. Автоматизированный расчет специализированного биометеорологического показателя

Учитывая сложность практического использования выражения (1), разработан программный комплекс автоматизированного расчета величины специализированного показателя D по входным параметрам [14] (рис. 1).



а

б

а – условия работ безопасные, б – условия работ опасные

Рис. 1. Отображение интерфейса автоматизированного расчета специализированного показателя

Как показано на рис. 1, результатом работы программных модулей является представление альтернативной формулировки для поддержки принятия решения: «безопасная работа», «опасные условия».

В таком виде автоматизированный расчет специализированного показателя D проводится для конкретного района работ, при вводе прогностических или климатических значений температуры и влажности окружающего воздуха (климатические данные используются для долгосрочного планирования мероприятий).

Разработанный программный комплекс позволяет представить распределение специализированного биометеорологического показателя по требуемым регионам.

3. Пространственные распределения показателя

В качестве исходной информации использовался материал резервного объективного анализа (реанализа) параметров атмосферы NCEP/DOE AMIP-II [15].

Для поддержки принятия решений на проведение работ на открытой местности в жарких погодных-климатических условиях можно представлять распределение показателя D в различной форме.

По входным значениям – сочетаниям среднемесячных значений температуры и влажности воздуха в узлах регулярной сетки, построены карты распределения среднего значения специализированного показателя (рис. 2, где дан пример для августа 1999–2018 гг., технологического периода 3 ч).

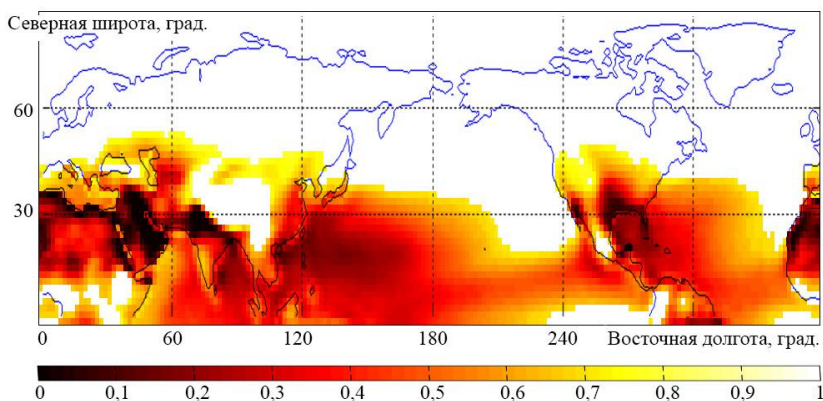


Рис. 2. Пространственное распределение по северному полушарию среднего показателя (август, 1999–2018 гг., технологический период 3 ч)

Как показано на рис. 2, распределение биометеорологического показателя на карте отображается в тоновом режиме (при изменении показателя в диапазоне $0 < D < 1$). Такая форма представления показателя позволяет руководителю работ при планировании мероприятий делать некоторую «уступку» ΔD от критического значения $D = 0,37$.

Распределение среднего значения показателя может быть представлено и в виде изолиний (рис. 3).

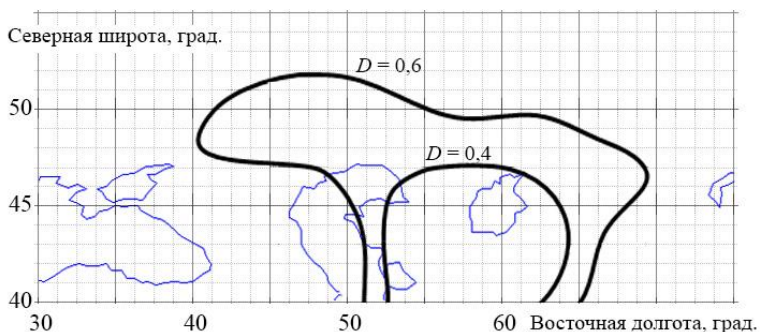


Рис. 3. Распределение среднего показателя по южной части территории России (июль, 1999–2018 гг., технологический период 3 ч)

Как показано на рис. 3, на южной части Европейской территории России средние (за летний месяц) значения биометеорологического показателя безопасности работ на открытом воздухе не превышают критического значения (0,37). Но это среднемесячные значения. В отдельные дни летнего сезона картина распределения «опасных» (с точки зрения биометеорологической безопасности) метеорологических условий может быть иной.

Например, на рис. 4, 5 представлено распределение сочетаний температуры и влажности воздуха с отметкой условий рассчитанной оценки биометеорологической опасности работ на станциях Астрахань (рис. 4) и Сочи (рис. 5) (по данным наблюдений Росгидромета за июль 1999–2018 гг., сроки 13, 16, 19 ч местного времени, $D \leq 0,37$ – опасные условия работы персонала, технологический период 3 часа).

Как показал анализ температурно-влажностного режима на рассматриваемых станциях (за 1999–2018 гг.), повторяемость условий в июле в дневные сроки (при температуре воздуха выше $25,5^{\circ}\text{C}$), когда $D \leq 0,37$ – хуже «удовлетворительных», для технологического периода 3 часа, составляет: Астрахань ~33%, Сочи ~23%.

Информативным для поддержки принятия решений представляется отображение распределения в виде зон опасной работы персонала в жарких погодных-климатических условиях. На рис. 6 представлены на карте Африки и Ближнего Востока зоны опасной работы персонала при технологических периодах 1, 2, 3 ч для конкретного дня (для примера даны условия 15 июля 2019 года).

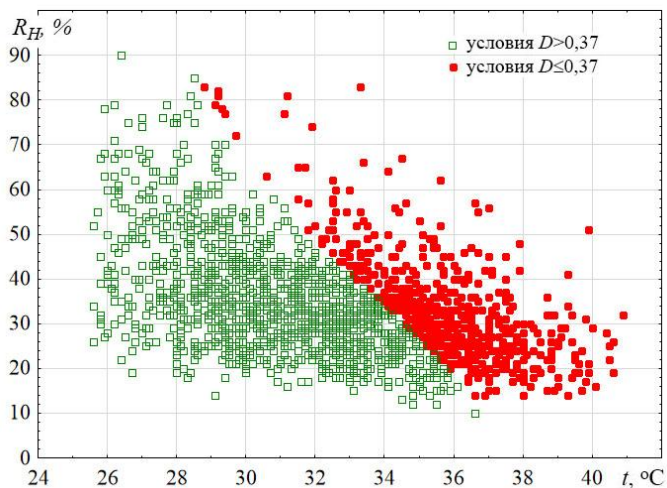


Рис. 4. Распределение сочетаний температуры и влажности воздуха на ст. Астрахань (июль 1999–2018 гг., сроки 13, 16, 19 ч местного времени; отмечены условия оценки показателя)

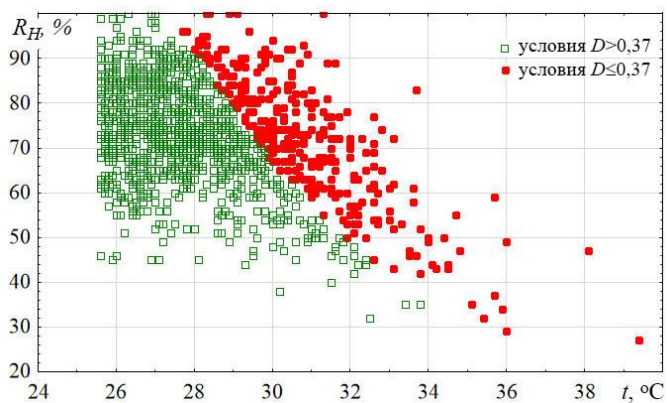


Рис. 5. Распределение сочетаний температуры и влажности воздуха на ст. Сочи (июль 1999–2018 гг., сроки 13, 16, 19 ч местного времени; отмечены условия оценки показателя)

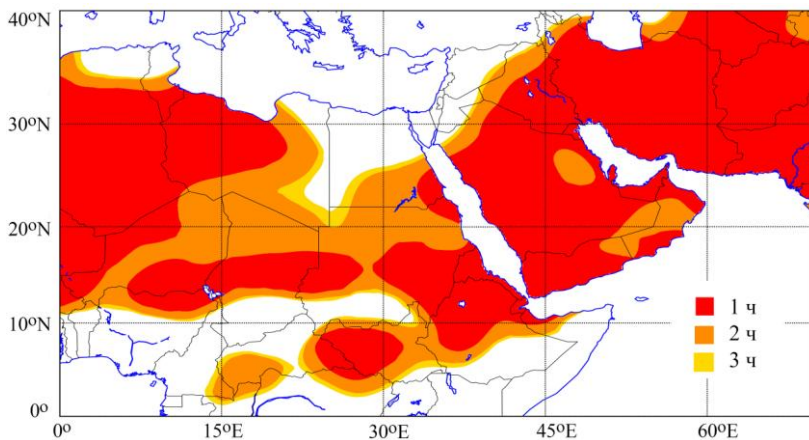


Рис. 6. Отображение на карте зон опасной работы персонала при различных технологических периодах (15 июля 2019 г., 12–18 ч)

Картографическая информация по специализированному биометеорологическому показателю может использоваться на разных уровнях управления при планировании мероприятий оперативной подготовки и повседневной жизнедеятельности войск. Визуализация получаемых в автоматизированном режиме значений показателя, как показано на рис. 6, целесообразна в виде слоев прогностической информации цифрового картографического документа (с возможностью отображения других слоев) для использования на рабочем месте руководителя, принимающего решение.

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, использование активных систем поддержания микроклимата в помещениях и на объектах техники.

Однако специфика труда военнослужащих и персонала отдельных служб и производств на открытой местности 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 данной работе представлена новая модель специализированного показателя безопасности работ персонала в жарких погодноклиматических условиях (летнего сезона), отвечающая требованиям моделей принятия метеозависимых решений, планирования мероприятий, учитывающая временные рамки подготовки (обслуживания) техники и метеорологические условия.

Список литературы

1. Ажаев, А. Н., Влияние высокой температуры окружающей среды на работоспособность человека/ А. Н. Ажаев, З. И. Зориле, А. Н. Кольцов// Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1980. – № 2. – С. 35–39.
2. Павлова, Т. В. Тепловая травма: патоморфологические и клинические аспекты/ Т. В. Павлова, С. А. Сумин, К. Г. Шаповалов. – М.: Медицинское информационное агентство, 2013. – 216 с.
3. Пиголкин, Ю. И. Судебная медицина: учебник/ Ю. И. Пиголкин, И. А. Дубровин, П. О. Ромодановский. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – 496 с.
4. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики/ Под ред. Н. В. Кобышевой. – СПб.: ЦНИТ «АСТЕРИОН», 2008. – 336 с.
5. ГОСТ Р 57794–2017 (ИСО 7933:2004) Эргономика термальной среды. Аналитическое определение и интерпретация теплового стресса с использованием расчета прогнозируемой тепловой нагрузки [Текст]. – Введ. 2018-12-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 32 с.
6. ГОСТ Р ИСО 7243–2007. Термальная среда. Расчет тепловой нагрузки на работающего человека, основанный на показателе WBGT (температура влажного шарика психрометра) [Текст]. – Введ. 2008-06-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 12 с.
7. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. СанПиН 2.2.4.3359–16. – Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21.06.2016. – № 81.
8. ГОСТ Р ИСО 9886–2008. Эргономика термальной среды. Оценка температурной нагрузки на основе физиологических измерений. [Текст]. – Введ. 2009-12-01. – М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.
9. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
10. Goldman, R.F. Introduction to heat-related problems in military operations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.Bordeninstitute.army.mil/published_volumes/harshEnv1/Ch1-IntroductiontoHeat-RelatedProblemsinMilitaryOpera.pdf

11. Головина, Е. Г. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов)/ Е. Г. Головина, М. А. Трубина. – СПб.: Гидрометеиздат, 1997. – 76 с.

12. National Weather Service: Weather Prediction Center: The Heat Index Equation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heat-index_equation.shtml

13. Шипко, Ю.В. Обобщенный биометеорологический показатель безопасности работ на открытой местности в жарком климате/ Ю. В. Шипко, В. С. Балакин, Е. В. Шувакин // Информатика: проблемы, методы, технологии: сб. материалов XX Международной научно-методической конференции, Воронежский государственный университет, 13–14 февраля 2020 г. – Воронеж: Изд-во «Научно-исследовательских публикаций», 2020. – С. 1529–1536.

14. Автоматизированный расчет специализированного биометеорологического показателя оценки безопасности работ персонала в жарком климате [Текст]: Свидетельство гос. регистрации программы для ЭВМ № 2020663116/ В.С. Балакин, Ю.В. Шипко, О.В. Колычев. – Зарегистр. 22 октября 2020 г.

15. Physical Sciences Laboratory: NCEP/DOE AMIP II Reanalysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>