



УДК 551.586:519.876  
ГРНТИ 39.25.02

## РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ ПЕРСОНАЛА НА ОТКРЫТОЙ ТЕРРИТОРИИ В ЖЕСТКИХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

*Ю.В. ШИПКО, кандидат технических наук, доцент  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
Е.В. ШУВАКИН, кандидат технических наук  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
М.А. ШУВАЕВ  
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Представлены регрессионные модели специализированного биометеорологического показателя для погодных-климатических условий Арктики в зимний период. Рассматриваются различные формы: аддитивная – для условий, наблюдаемых на станциях Амдерма, Мурманск, и мультипликативная – для особо жестких условий станции Тикси. Результаты регрессионного анализа дополняются оценкой успешности прогноза.

*Ключевые слова:* биометеорологический показатель; регрессионная модель; функция желательности Харрингтона; ветро-холодовой индекс.

### REGRESSION MODELS OF ASSESSMENT OF THE STAFF SAFETY OPERATIONS OUTDOORS IN SEVERE WEATHER CONDITION

*Yu.V. SHIPKO, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)  
Ye.V. SHUVAKIN, Candidate of Technical Sciences  
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)  
M.A. SHUVAEV  
MESCAF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The article presents the regression models of the specialized bioclimatic index for the weather climatic conditions of the Arctic winter period. Various forms of models are considered: additive – for the conditions observed at stations Amderma and Murmansk, multiplicative – for especially severe weather conditions of Tiksi. The results of regression analysis are complemented with the assessment of success of the forecast.

*Keywords:* biometeorological indicator; regression model; Harrington desirability function; wind-cold index.

**Введение.** Ряд стратегических задач государственной политики нашей страны в настоящее время включает освоение ресурсов и развитие инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации. В сфере военной безопасности в этом регионе поддерживается необходимый боевой потенциал воинских формирований [1]. Однако сложные природно-климатические условия Арктики создают высокие природные риски для объектов Минобороны РФ и существенно влияют на эффективность их повседневной деятельности. Влияние низких температур, сопряженных с сильным ветром и высокими значениями относительной влажности воздуха, представляет серьезную опасность по-



лучения травм от холода для персонала (личного состава), участвующего в технологических процессах на открытой территории.

Зависимость самочувствия человека от погоды определяется комплексом метеорологических величин и оценивается биометеорологическими показателями (индексами), которые используются в практике гидрометеорологического обеспечения потребителей различных отраслей экономики [2-4].

В ряду многочисленных биоклиматических показателей выделяют индексы «холодового стресса» [4, 5] – как факторы, ограничивающие пребывание человека на открытом воздухе в зимний период. Однако эти индексы не в полной мере учитывают специфику военного потребителя и мало информативны для принятия управленческих решений в вопросах оценки безопасности выполнения личным составом мероприятий, требующих заданных временных интервалов работы на открытом воздухе.

Цель данной работы – повышение эффективности метеорологического обеспечения потребителей в Арктическом регионе путем разработки моделей оценки безопасности работы на открытом воздухе в различных по жесткости погодно-климатических условиях.

Поставленная цель достигается построением регрессионных моделей описания закономерности изменения условных средних значений желательности безопасной работы персонала на открытой территории без обморожений применительно к различным районам Арктической зоны РФ.

Исходная информация для регрессионного анализа – архивные выборки срочных наблюдений сети Росгидромета по станциям Амдерма, Мурманск и Тикси для января (центрального месяца зимнего периода) за 2005-2012 гг. В качестве контрольных выборок для проверки успешности прогноза по разработанным регрессионным моделям использовались данные за январь 1999-2001 гг. Выбор отмеченных станций обусловлен их отличием географического положения по долготе.

Полагается, что персонал (личный состав) находится в установленной форме одежды, рассчитанной для условий низких температур [6]. В качестве временного интервала, необходимого для проведения специалистами определенных мероприятий по подготовке техники (пребывания на открытом воздухе), условно принят один час.

Актуальность темы исследования отражает ее соответствие задачам науки и практики, решаемым в настоящее время гидрометеорологическими подразделениями [7].

Научная новизна работы состоит в углублении сложившихся представлений о решении задачи гидрометеорологического обеспечения воинских формирований в жестких погодно-климатических условиях, в частности, в оценке безопасности работ личного состава на открытой территории.

**Основной подход при построении моделей.** Различные характеристики погодно-климатических условий воздействуют на человека комплексно, поэтому зависимость самочувствия человека от погоды определяется набором метеорологических величин и выражается в виде показателей, вычисляемых по нескольким метеорологическим характеристикам с учетом сезонных особенностей. Из всего многообразия биоклиматических показателей в данной работе выделены показатели, имеющие определенные спецификации, по которым можно оценить временной интервал пребывания человека на открытом воздухе в зимний период.

Входными параметрами к выбранным биометеорологическим показателям являются величины: температура воздуха ( $t$ , °C), скорость ветра ( $v$ , м/с) и относительная влажность воздуха ( $f$ , %) у поверхности земли. Учитывались следующие частные показатели  $y_j, j = 1, 2, 3$ , имеющие свой физический смысл и разную размерность:

- условий обморожения (балл) [8]:

$$y_1 = 34,654 - 0,4664 \cdot t + 0,6337 \cdot v; \quad (1)$$



- величины теплотерь (ккал ч<sup>-1</sup>м<sup>-2</sup>) [9]:

$$y_2 = (10,45 + 10 v^{0,5} - v) (33 - t); \quad (2)$$

- теплоощущений человека (°С) [10]:

$$y_3 = 37 - \frac{37 - t}{0,68 - 0,0014 f + \frac{1}{1,76 + 1,4 v^{0,75}}} - 0,29 t \left(1 - \frac{f}{100}\right). \quad (3)$$

Данные показатели выбраны исходя из того, что они учитывают различные аспекты влияния метеорологических условий на человека, по своим спецификациям позволяют определить временные интервалы безопасного нахождения персонала на открытом воздухе и используются в мировой практике гидрометеорологического обеспечения: (1) – предлагается действующими Методическими рекомендациями [8] для оценки риска проведения работ и их нормирования на открытом воздухе в условиях Крайнего Севера (Российской Федерации); (2) – ветро-холодовой индекс Сайпла-Пассела [9], разработанный для армии, который используется в странах с суровым климатом (США, Канада); (3) – формула А. Миссенарда [10] эквивалентно-эффективной температуры.

В основе обобщения индексов (1)–(3) в единый количественный показатель использовался метод преобразования частных показателей в единую безразмерную шкалу желательности (предпочтительности) Харрингтона [11], устанавливающую соответствие между физическими и психологическими параметрами, позволяющими измерить степень интенсивности критериального свойства, имеющего субъективный характер.

Функция Харрингтона  $d(y')$  с интервалом изменений [0; 1] имеет базовые точки (0,2; 0,37; 0,63; 0,8), что позволяет задавать границы градаций желательности, строгим образом, руководствуясь интервальными диапазонами с соответствующими термами: [0; 0,20] – «очень плохо»; [0,20; 0,37] – «плохо»; [0,37; 0,63] – «удовлетворительно»; [0,63; 0,80] – «хорошо»; [0,80; 1,0] – «очень хорошо» [11, 12].

Для каждого показателя (1)–(3) имеют место односторонние ограничения  $y_j \geq y_{j \min}$  или  $y_j \leq y_{j \max}$ , и при их шкалировании применялась зависимость [12]:

$$d(y'_j) = \exp(-\exp(-y'_j)), \quad (4)$$

где  $d(y'_j)$  – частная функция желательности;  $y'_j$  – кодированное значение признака  $y_j$  с использованием линейной зависимости  $y'_j = b_{0j} + b_{1j} y_j$ , где коэффициенты  $b_{0j}$ ,  $b_{1j}$  определяются решением системы уравнений при задании для двух значений признака  $y_j$ , соответствующих значениям  $d(y'_j)$  в интервале  $0,2 < d < 0,8$ .

Обобщенный показатель строится как обобщенная функция желательности (Харрингтона) и представляется в виде средней геометрической [12]:

$$D = \prod_{j=1}^p d(y'_j)^{1/p} \quad (\text{в данном случае } p = 3). \quad (5)$$

При установлении границ допустимых значений частных показателей и последующем выборе значений  $d(y'_j)$  использовались соответствующие спецификации с ограничивающими пределами индексов. При этом под безопасными условиями работы по-



лагается возможность нахождения персонала на открытом воздухе без обморожений открытых участков тела (носа, щек, ушей, пальцев рук) и переохлаждений (с риском менее 5%), по крайней мере, в течение часа (что соответствует формулировке условий «удовлетворительные и лучше», при этом желательность  $d(y'_j) \geq 0,37$ ).

**Аддитивная модель.** Разработанный специализированный показатель  $D$  [13], являющийся результатом свертки аналитических индексов (1)–(3), использован в качестве предиктанта для восстановления (прогноза) величины желательности работы личного состава на открытом воздухе без обморожений в конкретном районе Арктики по заданным значениям метеорологических параметров. Предикторы (объясняющие переменные):  $t$  – температура воздуха,  $v$  – скорость ветра,  $f$  – относительная влажность воздуха. Исходная информация – архивные выборки значений рассматриваемых параметров по станциям наблюдений сети Росгидромета: Амдерма, Мурманск, Тикси.

Учитывая, что функция Харрингтона в интервале  $[0,2; 0,8]$  имеет зависимость, близкую к линейной, модель специализированного показателя жесткости погоды строится в виде классической линейной регрессии [14]:

$$D = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \varepsilon, \quad (6)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_3$  – коэффициенты регрессии, оценки которых определяются по методу наименьших квадратов,  $\varepsilon$  – случайная «остаточная» составляющая.

Получены следующие оцененные функции регрессии по станциям:

$$\text{Амдерма: } \hat{D} = 0,8386 + 0,0200 t - 0,0193 v, \quad R^2 = 0,95; \quad (7)$$

$$\text{Мурманск: } \hat{D} = 0,8216 + 0,0181 t - 0,0213 v, \quad R^2 = 0,96; \quad (8)$$

$$\text{Тикси: } \hat{D} = 0,7386 + 0,0143 t - 0,0227 v, \quad R^2 = 0,55, \quad (9)$$

где  $R^2$  – оценки коэффициента детерминации [14], характеризующие долю общей вариации показателя  $D$ , объясненной поведением (вариацией) выборочной функции регрессии  $\hat{D}$ .

Как видно из зависимостей (7)–(9), отсутствует предиктор относительной влажности, который исключен из модели, поскольку проведенная проверка статистически значимого отличия от нуля оценок коэффициентов  $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2, \hat{b}_3$  позволила принять гипотезу о нулевом значении коэффициента регрессии  $b_3$  (по критерию  $t$ -Стьюдента) [14].

Анализируя результаты, можно говорить, во-первых, о статистической надежности (на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ) полученных оценок коэффициентов регрессии  $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2$ . Во-вторых, представленные оценки коэффициентов детерминации  $R^2$  указывают на высокое качество только моделей (7) и (8) – для станций Амдерма и Мурманск.

В таблице 1 представлены рассчитанные статистические оценки ветро-холодовых параметров для января по выборкам срочных наблюдений на рассматриваемых станциях.

Для оценки свойств построенных моделей регрессии (7)–(9) проведена оценка успешности прогноза по средней квадратической ошибке регрессии:



$$s(n_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_2} (D_{i\phi} - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{i1} - \hat{b}_2 x_{i2})^2 / n_2}, \quad (10)$$

где  $D_{i\phi}$  – фактическое значение предиктанта  $D$ ;  $\hat{D}_i = \hat{b}_0 - \hat{b}_1 x_{i1} - \hat{b}_2 x_{i2}$  – рассчитанное (предсказанное) значение предиктанта;  $n_2$  – объем контрольной выборки.

Таблица 1 – Оценки параметров жесткости погоды по станциям Арктической зоны в январе

Параметры	Среднее значение	Медиана	Миним. значение	Максим. значение	Среднее квадр. отклонение
<b>Амдерма</b>					
$v, \text{ м/с}$	8,0	8,0	0,0	26,0	4,2
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-14,5	-14,1	-35,4	0,9	7,2
$D$	0,39	0,41	0,00	0,76	0,16
<b>Мурманск</b>					
$v, \text{ м/с}$	4,9	5,0	0,0	16,0	2,7
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-8,8	-7,8	-29,3	5,0	6,4
$D$	0,56	0,57	0,12	0,81	0,13
<b>Тикси</b>					
$v, \text{ м/с}$	6,4	5,0	0,0	25,0	5,4
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-27,3	-27,0	-41,7	-9,2	5,7
$D$	0,20	0,17	0,00	0,70	0,15

В качестве контрольной выборки использовались значения рассматриваемых параметров для января периода 1999-2001 гг.

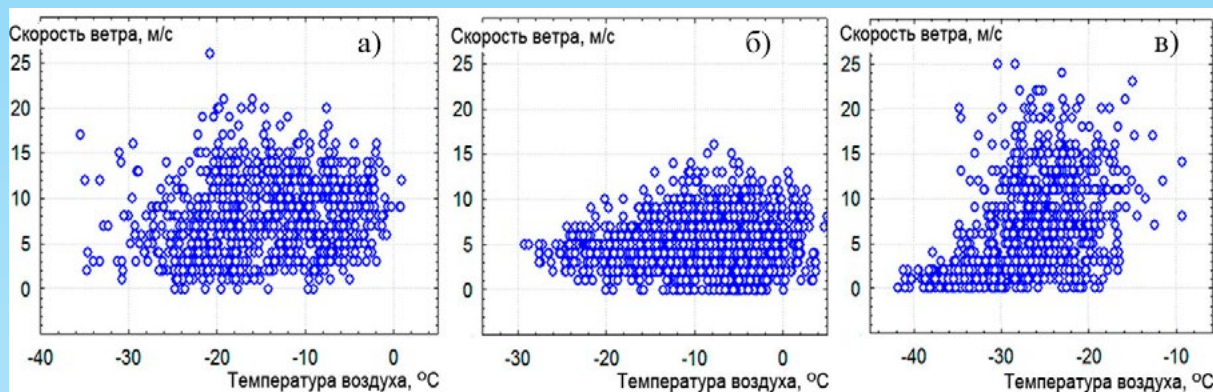
В таблице 2 приводятся значения средней квадратической ошибки регрессии (10) и оценки среднего квадратического отклонения предиктанта из таблицы 1 по рассматриваемым станциям.

Таблица 2 – Результаты оценки успешности прогноза

Станция	Средняя квадр. ошибка регрессии $s(n_2)$	Среднее квадр. отклонение $\sigma_D$
Амдерма	0,068	0,16
Мурманск	0,034	0,13
Тикси	0,134	0,15

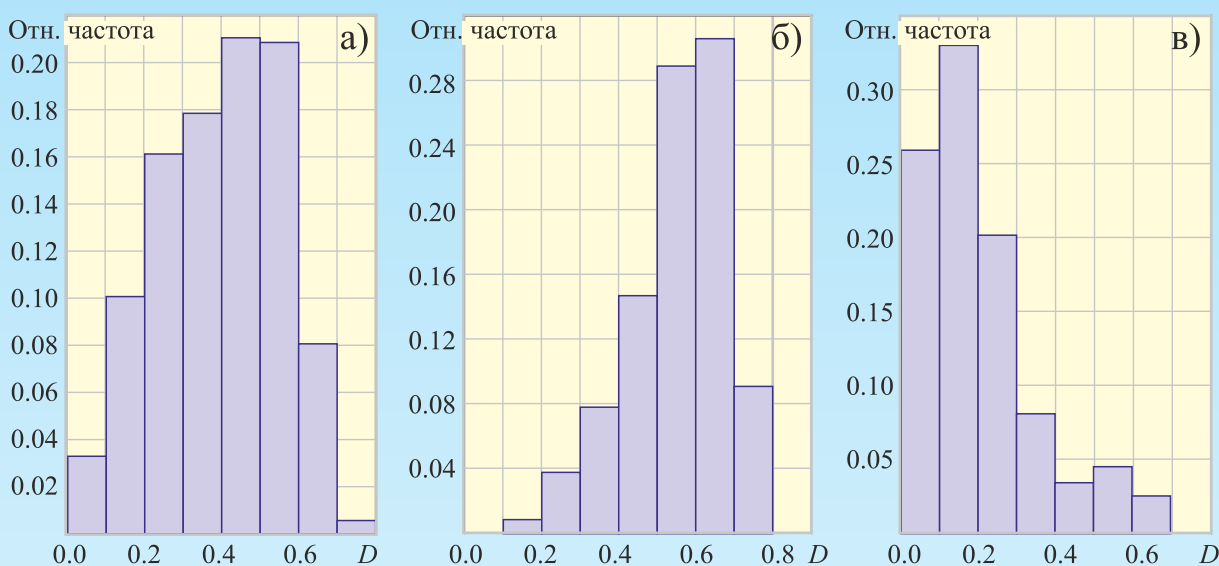
Как показывают данные таблицы 2, для станций Амдерма, Мурманск средние квадратические ошибки регрессии более чем в два раза меньше соответствующих оценок  $\sigma_D$ , поэтому успешность прогноза можно считать удовлетворительной. Для станции Тикси ошибка регрессии близка к значению среднего квадратического отклонения предиктанта, поэтому прогноз в этом случае нельзя считать удовлетворительным.

Подобная картина объясняется, по-видимому, различием распределений сочетаний значений температуры воздуха и скорости ветра по станциям. Например, на рисунке 1 представлены поля точек сочетаний, соответствующих наблюдениям на станциях, а на рисунке 2 гистограммы распределений показателя  $D$  для тех же станций.



а) Амдерма; б) Мурманск; в) Тикси

Рисунок 1 – Поле распределения сочетаний температуры воздуха и скорости ветра по станциям Арктической зоны Российской Федерации



а) Амдерма; б) Мурманск; в) Тикси

Рисунок 2 – Гистограмма распределения значений обобщенной функции желательности по станциям

Как показано на рисунках 1, 2, а также учитывая данные таблицы 1, основная часть наблюдений (средние условия погоды) на станции Тикси соответствует более жестким условиям по сравнению с условиями в Амдерме и Мурманске. Средние значения функции желательности для станций Амдерма и Мурманск выше нижней границы интервала «удовлетворительно» 0,37 (таблица 1). Для погодных условий станции Тикси  $\bar{D} < 0,37$  и линейная модель (9) имеет невысокое значение  $R^2$ .

Таким образом, для климатических условий, подобных (на уровне функции желательности) условиям Амдермы и Мурманска могут быть использованы линейные модели (7), (8), для более жестких условий (типа наблюдаемых на станции Тикси) следует искать другую форму модели.

Кроме того, модели (7), (8) можно представить в ином виде. Часто в регрессионном анализе используются так называемые бета-коэффициенты ( $\beta$ ) – стандартизованные коэффициенты регрессии, являющиеся безразмерными величинами [14]. Их оценки используются для сравнения влияния на зависимую переменную факторов, имеющих различную размерность. Так, коэффициент  $\beta_j$  показывает, на какую часть среднеквадратичного отклонения изменится  $y$  при изменении  $x_j$  на величину своего среднеквадратичного отклонения (при условии постоянства других предикторов).



В представлении через бета-коэффициенты, соответствующие регрессионные зависимости для рассматриваемых станций имеют вид:

$$\text{Амдерма: } \hat{D}^* = 0,9122 t^* - 0,5179 v^*, \quad (11)$$

$$\text{Мурманск: } \hat{D}^* = 0,9048 t^* - 0,4459 v^*. \quad (12)$$

Значения коэффициентов зависимостей (11), (12) позволяют сделать интерпретацию: для метеорологических условий станций Амдерма и Мурманск наибольший вклад в изменчивость прогнозируемого значения желательности безопасной работы ( $D$ ) дает температура окружающего воздуха, на втором месте – скорость ветра.

**Мультипликативная модель.** Как показано на рисунках 1, 2, а также учитывая средние значения параметров из таблицы 1, на станции Тикси средние условия погоды соответствуют очень жестким условиям с формулировкой (по Харрингтону) «хуже удовлетворительных».

В данном случае предлагается мультипликативная модель, относящаяся к производственным функциям экономико-математического анализа, вида [14]:

$$r = A T^\alpha V^\beta, \quad (13)$$

где  $r = 1 - D$  – риск обморожения персонала;  $A$  – коэффициент, учитывающий размерность единиц измерений предикторов;  $T = (-1)t$  – температурный фактор холода;  $V$  – фактор ветрового режима;  $\alpha, \beta$  – так называемые коэффициенты эластичности [17].

Особенности мультипликативно-степенной формы (13) состоят в следующем. Во-первых, функция (13) определена при  $T > 0, V > 0$  (поэтому вводится неотрицательная величина фактора холода). Если один из параметров ( $T$  или  $V$ ) равен нулю, то и результат обрывается в ноль. Это отражает тот факт, что в формировании условий обморожения участвуют оба представленных фактора.

Во-вторых, увеличение значений одного из предикторов не может приводить к снижению значений зависимой переменной  $r$ . С ростом одного параметра, при неизменном значении другого, величина показателя  $r$  растет.

При построении модели в виде (13) вводится допущение: скорость ветра не может быть равной нулю, т.е. полагается, что работающий на открытом воздухе человек находится в движении. В архивных выборках исправлены значения  $v = 0$  на  $V = 1,3$  (т.е. полагается, что минимальная скорость ветра равна средней скорости пешехода 1,3 м/с). Кроме того, при использовании (13) рассматривается только фактор холода (исключаются случаи с положительной и равной нулю температурой воздуха).

После логарифмирования зависимость (13) представляется в виде

$$\ln(r) = \ln(A) + \alpha \ln(T) + \beta \ln(V) \quad \text{или} \quad r^* = A^* + \alpha T^* + \beta V^*. \quad (14)$$

Переход к линейному виду (14) дает возможность по методу наименьших квадратов определить оценки неизвестных коэффициентов исходного уравнения. В результате получены следующие зависимости, где коэффициент детерминации  $R^2 = 0,94$ , что выше полученного для аддитивной модели:

$$\hat{r}^* = -2,532 + 0,6424 T^* + 0,1478 V^*, \quad (15)$$

$$\hat{r} = 0,08 T^{0,642} V^{0,148}. \quad (16)$$



В этом случае средняя квадратическая ошибка регрессии (10), рассчитанная по контрольной выборке, составила 0,075, что в два раза меньше величины среднего квадратического отклонения предиктанта  $D$  (таблица 1), поэтому успешность прогноза по мультипликативной модели можно считать удовлетворительной.

Форма модели (16) удобна для анализа влияния метеорологических факторов на показатель риска  $r$ . Коэффициенты эластичности  $\alpha$ ,  $\beta$  показывают, на сколько процентов в среднем изменится значение риска обморожения от своего среднего значения при изменении соответственно температурного фактора  $T$  или ветрового фактора  $V$  на 1 % от соответствующих средних значений. В данном случае (16), когда коэффициенты  $0 < \alpha, \beta < 1$ , один процент дополнительного усиления каждого отдельного ветро-холододового фактора дает прирост риска обморожения меньше чем на один процент.

**Заключение.** Проблемы изменяющегося климата и сложные погодноклиматические условия Арктики определяют повышенные требования к гидрометеорологическому обеспечению действий войск (сил) в этом регионе. Важным аспектом совершенствования гидрометеорологического обеспечения жизнедеятельности объектов военной инфраструктуры и воинских формирований в Арктической зоне является создание специализированных моделей оценки (прогноза) безопасных условий работы персонала на открытой территории, когда имеет место норма времени при подготовке вооружения, военной и специальной техники. В этом направлении решена определенная задача построения специализированного биометеорологического показателя [13]. В данной работе величина отмеченного показателя используется в качестве предиктанта при построении регрессионных моделей, применительно к различным погодноклиматическим условиям в определенных географических пунктах.

Выполнены основные этапы процесса моделирования: параметризации – выбора общего вида моделей; информационный этап – сбор необходимой статистической информации; идентификации – статистического анализа моделей, в первую очередь, статистического оценивания неизвестных параметров моделей; верификации – сопоставления фактических и модельных данных, оценки точности модельных данных.

Построены две формы регрессионных моделей: аддитивная – для условий, наблюдаемых на ст. Амдерма, Мурманск, и мультипликативная – для особо жестких погодных условий, типа наблюдаемых на ст. Тикси.

Как показал статистический анализ, основными (значимыми) факторами влияния на безопасность (или риск обморожения) при работе на открытой территории являются температура воздуха и скорость ветра.

Представленные модели специализированного показателя жесткости погоды могут быть использованы в практике метеорологических подразделений при планировании (оперативном и долгосрочном) мероприятий в суровых природных условиях Арктической зоны Российской Федерации, а также при оценке влияния климатических изменений, в частности, изменения температурного режима.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: [http://www.minec.govmur-man.ru/activities/strat\\_plan/arkticzone](http://www.minec.govmur-man.ru/activities/strat_plan/arkticzone) (дата обращения: 17.02.2016).
2. Головина Е.Г., Трубина М.А. Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов). СПб.: Гидрометеоиздат, 1997. 76 с.
3. Григорьева Е.А. Комплексные методы биоклиматической оценки территории в зимний период // Экологическое образование на современном этапе для устойчивого





развития: материалы межрегиональной научно-практической конференции с международным участием (Благовещенск, 15–17 мая 2013 г.). Благовещенск: изд-во БГПУ, 2013. Т. 2. С. 21–26.

4. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Н.В. Кобышева, В.В. Стадник, М.В. Ключева и др.; под ред. Н.В. Кобышевой. СПб.: ЦНИТ «АСТЕРИОН», 2008. 336 с.

5. Матрюков С.И., Червякова И.В. Обзор современных отечественных и зарубежных методов оценки ветрового охлаждения человека // Навигация и гидрография. 2014. № 38. С. 83–90.

6. ГОСТ Р 12.4.236–2011 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования. Введ. 2011–12–01. М.: Стандартинформ, 2011.

7. Молодняков С.А., Удриш В.В. Основные направления совершенствования системы гидрометеорологического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации // Современные проблемы и перспективные направления развития авиационных комплексов и систем военного назначения, форм и способов их боевого применения: сб. научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 22–23 ноября 2011 г.). Ч. 3. Метеорология, радиотехническое обеспечение полетов и средств авиационной связи. Воронеж: ВАИУ, 2011. С. 91–94.

8. Методические рекомендации МР 2.2.7.2129-06. Физиология труда и эргономика: Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Введ. 2006–11–01. 14 с.

9. Siple P.A., Passel C.F. Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures // Proc. Amer. Philos. Soc. 1945. V. 89. P. 177–199.

10. Руководство по практике метеорологического обслуживания населения / Всемирная метеорологическая организация: второе издание // Женева, Швейцария: Секретариат ВМО. 2000. № 834. 210 с.

11. Harrington, E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. No. 10. P. 494–498.

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

13. Шипко Ю.В., Шувакин Е.В., Земцов С.С. Модель обобщенного показателя безопасности работ на открытой территории в холодное время // Навигация и гидрография. – 2016. № 44. С. 79–85.

14. Айвазян С.А. Основы эконометрики: учебник для вузов. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. 432 с.

## BIBLIOGRAPHY

1. The strategy of development for the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period till 2020 [Electronic resource]. URL: [http://www.minec.govmur-man.ru/activities/strat\\_plan/arkticzone](http://www.minec.govmur-man.ru/activities/strat_plan/arkticzone) (accessed 2.17.2016).

2. Golovina, E.G., Trubina M. A. Metodika of calculations of biometeorological parameters (indexes). SPb.: Gidrometeoizdat, 1997. 76 p.

3. Grigorieva, E.A. Complex methods of bioclimatic assessment of the territory during the winter period // Ecological education at the present stage for sustainable development: materials of an interregional scientific and practical conference with the international participation (Blagoveshchensk, on May 15–17, 2013). Blagoveshchensk: BGPU Publishing House, 2013. Vol. 2. P. 21–26.



4. The guide to specialized climatological service of economy / N.V. Kobysheva, V.V. Stadnik, M.V. Klyuev, et al.; under the editorship of N.V. Kobysheva. St.-Petersburg: CNIT «ASTERION», 2008. 336 p.

5. Mastryukov S.I., Chervyakova I.V. Review of modern domestic and foreign methods of assessment of wind cooling of the person // Navigation and hydrography. 2014. No. 38. P. 83–90.

6. GOST P 12.4.236–2011 Occupational safety standards system. Clothes special for protection against the lowered temperatures. Technical requirements. Introd. 2011–12–01. M.: STANDARTINFORM, 2011.

7. Molodnyakov S.A., Udrish V.V. Main directions of improvement of system of hydrometeorological providing Armed Forces of the Russian Federation // Modern problems and perspective directions of development of aviation complexes and military systems, forms and ways of their fighting application: col. scientific articles on materials of the All-Russian scientific and practical conference (Voronezh, on November 22–23, 2011). Pt. 3. Meteorology, radio engineering ensuring flights and means of aviation communication. Voronezh: VAIU, 2011. P. 91–94.

8. Methodical recommendations MP 2.2.7.2129–06. Physiology of work and ergonomics: Work-rest schedules working in cold time at the open territory or in not heated rooms. Introd. 2006–11–01. 14 p.

9. Siple P.A., Passel C.F. Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures // Proc. Amer. Philos. Soc. 1945. V. 89. P. 177–199.

10. Guide to practice of meteorological service of the population: World Meteorological Organization: second edition // Geneva, Switzerland: Secretariat of VMO. 2000. No. 834. 210 p.

11. Harrington, E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. No. 10. P. 494–498.

12. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Planning of an experiment by search of optimum conditions. M.: Science, 1976. 280 p.

13. Shipko Yu.V., Shuvakin E.V., Zemtsov S.S. Model of the generalized indicator of safety of works in the open territory in cold time // Navigation and hydrography. 2016. No. 44. P. 79–85.

14. Ayvazyan S.A. Fundamentals of econometrics: the textbook for higher education institutions. M.: UNITY-DANA, 2001. 432 p.

© Шипко Ю.В., Шувакин Е.В., Шуваев М.А., 2017

Шипко Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Шувакин Евгений Витальевич, кандидат технических наук, преподаватель кафедры гидрометеорологического обеспечения, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Шуваев Максим Андреевич, курсант гидрометеорологического факультета, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru