

## ОБОБЩЕННЫЙ БИОКЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ НА ОТКРЫТОМ ВОЗДУХЕ В СУРОВЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

Ю. В. Шипко, Е. В. Шувакин, А. В. Иванов

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия

Поступила в редакцию 7 мая 2014 г.

**Аннотация:** В статье представлена модель биоклиматического показателя как обобщенного индекса холодового стресса для жестких погодных условий с использованием шкалы функции желательности Харрингтона. Дано районирование территории Северного полушария по специализированному показателю безопасности работ на открытом воздухе – числу дней в месяце с условиями жесткости погоды не ниже удовлетворительных. Разработаны регрессионные модели обобщенного биоклиматического показателя для различных районов Арктической зоны Российской Федерации, при этом имеют место различные модели: аддитивные – для суровых погодных условий, мультипликативные – для особенно жестких условий.

**Ключевые слова:** биоклиматический индекс, функция желательности, регрессионная модель.

**Abstract:** The article presents a model of the bioclimatic index as a generalized index of cold strain in severe weather conditions with the use of Harrington's functions scale of desirability. The article is also devoted to the geographic demarcation of the territory of the North hemisphere on the base of specialized index of safety for open-air works which includes number of days in the particular month with the weather severity conditions up of the satisfactory index. The regressive models of the generalized bioclimatic index for different regions of the Arctic zone of the Russian Federation are also considered in the article, at that variety of models is possible: additional – for severe weather conditions, multiplicative – for especially severe weather conditions.

**Key words:** bioclimatic index, desirability function, regressive model.

В настоящее время Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) выделена в приоритетный объект государственной политики, поскольку в этом макрорегионе сосредоточены геополитические, оборонные, экономические, экологические и научные интересы страны. Уникальный ресурсный потенциал АЗРФ позволяет при условии формирования специальной системы государственного регулирования обеспечить динамичное развитие, как областей Арктики, так и страны в целом. При этом следует учитывать важную особенность АЗРФ, выделяющую ее среди других регионов России и определяющую условия социально-экономического развития, – экстремальные для постоянного проживания человека и хозяйственной деятельности природные условия.

При выполнении оперативных задач, технологических процессов в АЗРФ персонал предприятий (геологи, энергетики, нефтяники, дорожники, связисты, строители и другие) осуществляет свою

деятельность на открытом воздухе в условиях низких температур. При этом существует потенциальный риск получения травм от холода: переохлаждение всего организма (гипотермия), обморожение отдельных частей тела (конечностей, участков лица, органов дыхания). В этом случае органами управления (руководителями) должны учитываться определенные требования [4] при планировании и проведении работ.

Известны многочисленные показатели суровости погоды – биоклиматические индексы, среди которых: Бодмана, Хилла, Адаменко, Арнольди, Белкина, Осокина, Хайруллина и другие [3, 5, 6]. Однако их применение, в основном, – в методиках оценки дискомфорта климата.

В ряду биоклиматических показателей выделяют так называемые индексы «холодового стресса» – показатели жесткости погоды как факторы, ограничивающие пребывание человека на открытом воздухе и обуславливающие потребность в соответствующей одежде.

Цель настоящей статьи разработать оптимальный вариант биоклиматического показателя, позволяющего оценить на некотором уровне безопасность работы персонала на открытом воздухе без обморожений.

Поставленная цель достигается построением обобщенного биоклиматического показателя безопасной работы в жестких холодных условиях с использованием так называемой обобщенной функции желательности [1].

*Исходная информация.* В работе использовались «сеточные» данные параметров реанализа NCEP/DOE AMIP-II [8, 9]: значения температуры воздуха и составляющих скорости ветра (меридиональной, зональной) в узлах регулярной сетки разрешением  $2,5^\circ$  на уровне 1000 гПа в срок 12 часов. (Всемирного скоординированного времени) за период 1997-2012 гг.

Кроме того, для регрессионного анализа использовались архивные выборки для января за период 2005-2012 годы по станциям АЗРФ сети Росгидромета: Амдерма, Мурманск, Тикси. Рассматривались данные срочных наблюдений: 8 сроков для Мурманска и 4 – для других станций. В качестве контрольных выборок для проверки успешности прогноза по разработанным регрессионным моделям использовались данные за январь 1999-2001 годов.

*Индексы «холодового стресса».* Рассматривается ряд ветро-холодовых индексов с обозначениями:  $T$  – температура окружающего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $V$  – скорость ветра приземная, м/с.

Согласно действующим в Российской Федерации Методическим рекомендациям [4] введен интегральный показатель условий охлаждения (обморожения) – ИПУОО, определяемый согласно зависимости (в баллах):

$$\text{ИПУОО} = 34,654 - 0,4664 \cdot T + 0,6337 \cdot V. \quad (1)$$

В США и Канаде для оценки условий обморожения использовался для нужд армии (до 2001 года) индекс Сайпла-Пассела (wind chill index, WCI) [11], который выражается в шкале величины теплотер (ккал  $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$ ):

$$\text{WCI} = (10,45 + 10V^{0,5} - V)(33 - T). \quad (2)$$

В настоящее время Национальной службой погоды США (National Weather Service, NWS) и Метеорологической службой Канады используется индекс приведенной температуры (wind chill temperature index, WST) [7],  $^\circ\text{C}$ :

$$\text{WST}_{\text{NWS}} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot (3,6 \cdot V)^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot (3,6 \cdot V)^{0,16} \quad (3)$$

Например, на рисунке 1 представлены результаты расчета по индексу (2): распределение числа дней в январе с погодными условиями, соответствующими  $\text{WCI} \geq 1000$  ккал  $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$  (значение индекса  $\text{WCI} = 1000$  ккал  $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$  интерпретируется как «очень холодно» [5]).

Как следует из рисунка 1, почти вся территория РФ (кроме Европейской части) имеет больше 25 дней в январе с условиями  $\text{WCI} \geq 1000$ . Поэтому данная величина не показательна для рассматриваемой территории АЗРФ.

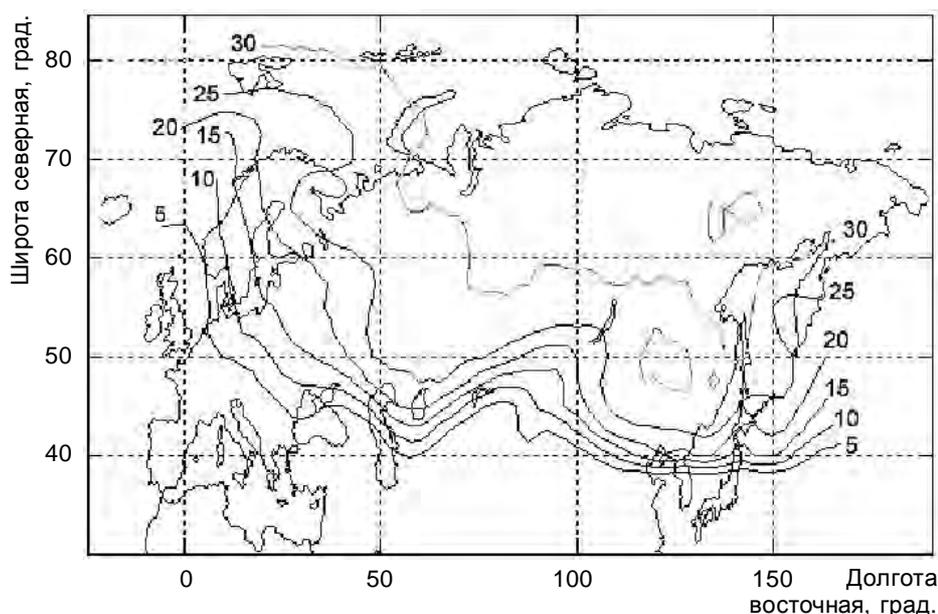


Рис. 1. Распределение числа дней в январе с условиями погоды суровее, чем «очень холодно» ( $\text{WCI} \geq 1000$  ккал  $\text{ч}^{-1}\text{м}^{-2}$ )

Картина распределения отдельного ветро-холодового индекса, например, (1)-(3), не информативна для лица, принимающего решение (руководителя), которому для планирования работ в суровых погодных условиях нужны сведения о риске обморожения персонала. Кроме того, сравнение расчетных значений условного ветро-холодового эквивалента температуры в различных подходах (Сайпла-Пассела, NWS, Стедмана и другие) показало их различие при одних и тех же значениях температуры воздуха и скорости ветра.

Таким образом, индексы холодного стресса, в том числе (1)-(3), используемые в мировой практике метеорологического обеспечения потребителей в жестких погодных условиях, при одних и тех же предикторах ( $T$ ,  $V$ ) по-разному, в различной мере, дают оценку риска охлаждения или обморожения.

#### Модель обобщенного биоклиматического показателя

Предлагается построение обобщенного биоклиматического показателя «холодового стресса» путем преобразования значений частных показателей в безразмерную шкалу желательности Харрингтона [1], относящуюся к психофизическим (вербально-числовым) шкалам, которые позволяют измерить степень интенсивности критериального свойства, имеющего субъективный характер. Так, в данной задаче оценка степени риска работы персонала в суровых погодных условиях носит субъективный характер.

Функция Харрингтона  $d(y')$  [1] 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».

Пусть имеется ряд частных показателей, характеризующих свойства жесткости погоды,  $y(j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, p$ . Введем обозначения:

$y^{(1)}$  – показатель ИПУОО (1), размерность в баллах;

$y^{(2)}$  – индекс Сайпла-Пассела (2), размерность ккал  $ч^{-1}м^{-2}$ ;

$y^{(3)}$  – индекс NWS (3),  $^{\circ}C$ .

Требуется определить обобщенный оптимальный вариант показателя метеорологических условий (жесткости климата), при которых сохраняется на некотором уровне возможность работы на

открытом воздухе без обморожений открытых участков тела (носа, щек, ушей, пальцев рук). Предполагается, что работающий персонал имеет защитную одежду, соответствующую особым требованиям защиты от холода и приложения физических нагрузок (многослойная одежда, где каждый слой служит специальным целям) [4].

Каждый показатель  $y(j)$  имеет свой физический смысл и размерность. Чтобы их объединять или сравнивать, необходимо, во-первых, ввести для каждого некоторую безразмерную шкалу. Во-вторых, установить однотипную шкалу, чтобы параметры были сравнимы. Далее определяется правило комбинирования частных параметров в обобщенный показатель.

Для показателей жесткости погоды имеют место односторонние ограничения  $y^{(j)} \geq y^{(j)}_{\min}$  или  $y^{(j)} \leq y^{(j)}_{\max}$ . В этом случае применяется экспоненциальная зависимость [1]:

$$d(y^{(j)}) = \exp(-\exp(-y^{(j)})), \quad (4)$$

где  $d(y^{(j)})$  – частная функция желательности;  $y^{(j)}$  – кодированное значение признака  $y^{(j)}$  (представленное в условном масштабе).

При кодировании признака  $y^{(j)}$  используется линейная зависимость

$$y^{(j)} = b_0 + b_1 y^{(j)}, \quad (5)$$

где коэффициенты  $b_0$  и  $b_1$  определяются заданием для двух значений параметров  $y^{(j)}$ , соответствующих значений  $d(y^{(j)})$  в интервале  $0,2 < d < 0,8$ .

Имея несколько критериев жесткости погоды, преобразованных в шкалу желательности (значения  $d(y^{(j)})$  для  $j$ -го параметра), предлагается использовать обобщенный показатель  $D$  жесткости метеорологических условий как среднюю геометрическую:

$$D = \prod_{j=1}^p d_j^{1/p}. \quad (6)$$

При установлении границ допустимых значений для частных показателей  $y^{(j)}_{\min}$  или  $y^{(j)}_{\max}$  (и последующем выборе значений  $d_j$  использовались соответствующие спецификации с ограничивающими пределами [4, 7, 10]. С учетом рассмотренных спецификаций, под удовлетворительными условиями работы на открытом воздухе полагается возможность работы персонала (личного состава) без обморожений (с риском менее 5%), по крайней мере, в течение часа.

Для каждого частного показателя  $y^{(j)}$  ( $j = 1, 2, 3$ ) после определения значений коэффициентов  $b_{0j}$  и  $b_{1j}$  получены частные функции желательности

$d^{(j)}$  согласно (4). Тогда обобщенная функция желательности (обобщенный биоклиматический показатель) в соответствии (6) представляется в виде:

$$D = \exp \left[ -\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \exp(-y^{(j)}) \right] = \\ = \exp \left\{ -\frac{1}{3} [ \exp(-2,7762 + 0,0589 y^{(1)}) + \right. \\ \left. + \exp(-2,6878 + 0,0019 y^{(2)}) + \right. \\ \left. + \exp(-2,2468 - 0,083 y^{(3)}) ] \right\} \quad (7)$$

Методика расчета оптимального обобщенного показателя жесткости климата за конкретный месяц следующая. Рассматривается определенный географический пункт (станция или узел регулярной сетки). Формируется архивная выборка для данного месяца (за ряд лет) значений предикторов: температуры воздуха и скорости ветра. Для каждого комплекса значений  $(T_i, V_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$  ( $n$  – объем выборки) рассчитываются используемые индексы жесткости погоды  $y^{(j)}$ , по которым определяются частные функции желательности  $d(y^{(j)})$ ; по формуле (6) рассчитывается значение обобщенного показателя  $D_i$ .

В зависимости от важности выполняемой задачи руководителем работ назначается критериальное условие для значений функции желательности, например,  $D_i \geq 0,37$  – условия жесткости погоды «удовлетворительные и лучше». Выполняется процедура отбора из архивной выборки значений  $D_i$ , которые удовлетворяют выбранным (выше)

условиям, по результатам которой определяется число дней в месяце с данными условиями жесткости погоды.

### Регрессионные модели обобщенного биоклиматического показателя

Специализированный показатель (7), являющийся результатом свертки аналитических индексов ИПУОО, WCI, NWS, может быть использован для восстановления (прогноза) величины желательности работы личного состава на открытом воздухе без обморожений в конкретном районе АЗРФ по заданным значениям метеорологических параметров.

Данная цель достигается построением регрессионных моделей описания закономерности изменения условных средних значений желательности работы на открытом воздухе без обморожений.

Итак, в качестве предиктанта (зависимой переменной) используется обобщенный показатель  $D$ , который имеет интервал изменения от нуля до единицы (значение  $D=0$  соответствует неприемлемому уровню работы на открытом воздухе,  $D=1$  – лучшие условия работы в холоде). Предикторные (объясняющие) переменные  $X$ :  $x^{(1)} = T$  – температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $x^{(2)} = V$  – скорость ветра (м/с).

В таблице даны рассчитанные статистические оценки для января ветро-холодовых параметров по выборкам рассматриваемых станций АЗРФ: Амдерма, Мурманск, Тикси. Выбор этих станций обусловлен их отличием географического положения по долготе.

Таблица

Статистические оценки параметров жесткости погоды по станциям Арктической зоны РФ в январе

Станция	Параметры	Среднее значение	Медиана	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее квадр. отклонение
Амдерма ( $n = 976$ )	$V$ , м/с	8.0	8.0	0.0	26.0	4.2
	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	-14.5	-14.1	-35.4	0.9	7.2
	$D$	0.39	0.41	0.00	0.76	0.16
Мурманск ( $n = 1801$ )	$V$ , м/с	4.9	5.0	0.0	16.0	2.7
	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	-8.8	-7.8	-29.3	5.0	6.4
	$D$	0.56	0.57	0.12	0.81	0.13
Тикси ( $n = 977$ )	$V$ , м/с	6.4	5.0	0.0	25.0	5.4
	$T$ , $^{\circ}\text{C}$	-27.3	-27.0	-41.7	-9.2	5.7
	$D$	0.20	0.17	0.00	0.70	0.15

Учитывая, что параметр желательности (функция Харрингтона) в пределах от  $D = 0,2$  до  $D = 0,8$  имеет зависимость близкую к линейной [1], модель специализированного показателя жесткости погоды строится в виде классической линейной регрессии [2]:

$$f(X; B) = b_0 + b_1 x^{(1)} + \dots + b_k x^{(k)}, \quad (8)$$

где  $B = (b_0, b_1, \dots, b_k)$  – коэффициенты регрессии, оцениваются по методу наименьших квадратов.

Получены следующие формы оцененной функции регрессии для выборок за январь (периода 2005-2012 гг.) по станциям:

$$\text{Амдерма: } \hat{D} = 0,8386 + 0,0200T - 0,0193V, \quad (9)$$

(0,0036)      (0,00016)      (0,00027)

$$R^2 = 0,95;$$

$$\text{Мурманск: } \hat{D} = 0,8216 + 0,0181T - 0,0213V, \quad (10)$$

(0,0016)      (0,0001)      (0,0002)

$$R^2 = 0,96;$$

$$\text{Тикси: } \hat{D} = 0,7386 + 0,0143T - 0,0227V, \quad (11)$$

(0,0201)      (0,0006)      (0,0007)

$$R^2 = 0,55,$$

где  $R^2$  – оценки коэффициента детерминации, характеризующие долю общей вариации показателя  $D$ , объясненной поведением (вариацией) выборочной функции регрессии  $\hat{D}$ ; в скобках под значениями оцененных коэффициентов регрессии  $\hat{b}_0, \hat{b}_1, \hat{b}_2$  указаны их среднеквадратические ошибки  $s_j$ .

Часто в регрессионном анализе используются так называемые бета-коэффициенты ( $b$ ) [2]. Это стандартизованные коэффициенты регрессии, являющиеся безразмерными величинами. Их оценки  $\hat{b}_1, \hat{b}_2, \dots, \hat{b}_p$  используются для сравнения влияния на зависимую переменную факторов, имеющих различную размерность. Так, коэффициент  $b_j$  показывает, на какую часть среднеквадратического отклонения изменится величина предиктанта при изменении  $x_j$  на величину своего среднеквадратического отклонения (при условии постоянства других предикторов).

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

$$\text{Амдерма: } \hat{D} = 0,9122T^* - 0,5179V^*, \quad (12)$$

(0,0073)      (0,0073)

$$\text{Мурманск: } \hat{D} = 0,9048T^* - 0,4459V^*, \quad (13)$$

(0,0049)      (0,0049)

$$\text{Тикси: } \hat{D} = 0,5538T^* - 0,8254V^*, \quad (14)$$

(0,0246)      (0,0246)

По значениям коэффициентов зависимостей (12)-(14) можно сделать следующую интерпрета-

цию: для метеорологических условий станций Амдерма, Мурманск наибольший вклад в изменчивость прогнозируемого значения желательности  $D$  дает температура окружающего воздуха, на втором месте по влиянию скорость ветра.

По результатам регрессионного анализа можно говорить, во-первых, о статистической надежности (на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ ) полученных оценок коэффициентов регрессии. Во-вторых, представленные оценки коэффициентов детерминации  $R^2$  указывают на высокое качество только моделей регрессии (9), (10), (12), (13) – для станций Амдерма и Мурманск.

Для оценки свойств построенных моделей регрессии успешность прогноза оценивается по средней квадратической ошибке регрессии:

$$s(n_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_2} (D_{i\phi} - \hat{D}_i)^2 / n_2}, \quad (15)$$

где  $n_2$  – объем контрольной выборки;  $D_{i\phi}$  – фактическое (осуществившееся) значение показателя  $D$  (предиктанта);  $\hat{D}_i$  – рассчитанное (предсказанное) значение предиктанта.

Значения средней квадратической ошибки регрессии (15) следующие: 0,068 (Амдерма); 0,034 (Мурманск); 0,134 (Тикси). Сравнивая эти значения с  $s_D$  из таблицы, видно, что для ст. Амдерма и Мурманск средние квадратические ошибки регрессии более чем в два раза меньше соответствующих оценок  $s_D$ , поэтому успешность прогноза можно считать удовлетворительной. Для ст. Тикси успешность прогноза нельзя считать удовлетворительной, т.к. ошибка регрессии близка к значению среднего квадратического отклонения предиктанта.

Подобная картина объясняется, по-видимому, различием распределений сочетаний значений температуры воздуха и скорости ветра по станциям. Так, на рисунке 2 даны гистограммы распределений значений показателя  $D$  для тех же станций.

Как показано на рисунке 2, а также учитывая средние значения параметров  $D, T, V$  (таблица), основная часть наблюдений (средние условия погоды) на ст. Тикси соответствуют более жестким условиям по сравнению с условиями в Амдерме и Мурманске. Средние значения функции желательности  $\bar{D}_j$  для ст. Амдерма, Мурманск выше нижней границы интервала «удовлетворительно» 0,37 (таблица). Для погодных условий ст. Тикси  $\bar{D} < 0,37$  регрессионная модель (11), (14) имеет невысокое значение коэффициента детерминации.

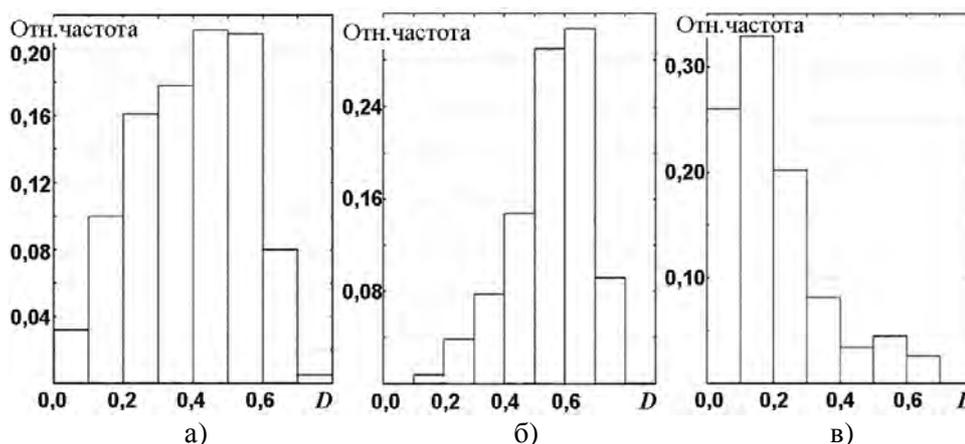


Рис. 2. Гистограмма распределения значений обобщенной функции желательности в январе по станции: а) Амдерма; б) Мурманск; в) Тикси

Таким образом, для климатических условий, подобных (на уровне функции желательности) условиям Амдермы, Мурманска может быть использована линейная модель (8), для более жестких условий (типа наблюдаемых на ст. Тикси) следует использовать другую форму модели.

Для условий ст. Тикси рассматривается мультипликативная модель прогноза, относящаяся к производственным функциям экономико-математического анализа [2]:

$$r = At^a v^b, \quad (16)$$

где  $r = 1 - D$  – риск обморожения личного состава при работе на открытом воздухе;  $A$  – коэффициент, учитывающий размерность единиц измерений предикторов;  $t = (-1) \cdot T$  – температурный фактор холода;  $v$  – фактор ветрового режима;  $a, b$  – так называемые коэффициенты эластичности [2].

Особенности мультипликативно-степенной формы (16) состоят в следующем. Во-первых, функция (16) определена при  $t > 0, v > 0$  (поэтому вводится неотрицательный фактор холода). Если один из параметров ( $t$  или  $v$ ) равен нулю, то и результат обращается в ноль. Это отражает тот факт, что в формировании условий обморожения участвуют оба представленных параметра (холода и скорости ветра).

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

Таким образом, при построении модели (16) 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 [10]). Кроме того, при использовании модели (16) исключаются случаи с положительной температурой воздуха (рассматривается фактор холода), а также значение  $T=0$ .

После логарифмирования зависимость (16) представляется в виде

$$\ln(r) = \ln(A) + a \ln(t) + b \ln(v) \quad \text{или} \quad (17)$$

$$r^* = A^* + at^* + bv^*.$$

Переход к линейному виду (17) дает возможность с помощью классического метода наименьших квадратов определить оценки неизвестных коэффициентов исходного уравнения (16).

В результате получены следующие зависимости, где коэффициент детерминации выше полученного при построении аддитивной модели для района станции Тикси:

$$\hat{r}^* = -2,532 + 0,6424t^* + 0,1478v^*, \quad R^2 = 0,94; \quad (18)$$

(0,0204)      (0,0059)      (0,0014)

$$\hat{r} = 0,08t^{0,642}v^{0,148}. \quad (19)$$

В этом случае средняя квадратическая ошибка регрессии (15), рассчитанная по контрольной выборке за январь 1999-2001 годов, составила 0,075, что в два раза меньше величины  $S_D$  из таблицы, поэтому успешность прогноза по модели (16) можно считать удовлетворительной.

Форма модели (19) удобна для анализа влияния метеорологических факторов на показатель  $r$ . Коэффициенты эластичности  $a, b$  показывают, на сколько процентов в среднем изменится значение показателя  $r$  жесткости погоды от своего среднего значения при изменении соответственно  $t$  или  $v$  на

1 % от соответствующих средних значений. В данном случае (19), когда  $0 < a, b < 1$ , один процент дополнительного усиления каждого отдельного ветро-холодового фактора дает прирост риска обморожения меньше чем на один процент.

Итак, представленные модели специализированного (обобщенного) показателя жесткости погоды (в виде желательности работ без обморожений или риска обморожения при работе на открытом воздухе) могут способствовать эффективному планированию (оперативному и долгосрочному) мероприятий в суровых погодных условиях АЗРФ, а также оценке влияния климатических изменений, в частности, изменения температурного режима.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – Москва : Наука, 1976. – 280 с.
2. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики : в 2 т. / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – Т. 1 : Теория вероятностей и прикладная статистика. – 656 с.; Т. 2 : Основы эконометрики. – 432 с.
3. Климат и здоровье человека : труды Международного симпозиума ВМО/ВОЗ/ ЮНЕП. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – Т. 1. – 304 с.
4. МР 2.2.7.2129-06. Методические рекомендации. Физиология труда и эргономика: Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой тер-

Шипко Юрий Владимирович

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Военного учебно-научного центра «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, т. (4732) 55-20-56, +7-950-762-73-79, E-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru)

Шувакин Евгений Витальевич

адъюнкт Военного учебно-научного центра «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, т. +7-980-346-78-08, E-mail: [argentina\\_85@mail.ru](mailto:argentina_85@mail.ru)

Иванов Алексей Владимирович

кандидат технических наук, начальник отдела Военного учебно-научного центра «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж, т. +7-920-410-51-90

ритории или в неотапливаемых помещениях. – Введены в действ. 01. 11.2006. – 12 с.

5. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н. В. Кобышевой. – Санкт-Петербург : Главная геофизическая обсерватория, 2008. – 334 с.

6. Хайруллин К. Ш. Биоклиматические ресурсы России / К. Ш. Хайруллин, В. Н. Карпенко // Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 2005. – С. 25-46.

7. Groen G. Wind chill equivalent temperature (WCET). Climatology and scenarios for Schiphol Airport. KNMI, 2009 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <http://www.knmi.nl/samenw/kbs/doc/WCET-Schiphol.pdf> (дата обращения: 10.12.2013).

8. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html> (дата обращения: 24.09.2013).

9. NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) / Kanamitsu M. [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2002. – Vol. 83. – P. 1631-1643.

10. Report on wind chill temperature and extreme heat indices: evaluation and improvement projects. Washington: DC/NOAA, 2003 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: [http://www.ofcm.gov/jagti/r19-ti-plan/pdf/entire\\_r19\\_ti.pdf](http://www.ofcm.gov/jagti/r19-ti-plan/pdf/entire_r19_ti.pdf) (дата обращения: 10.12.2013).

11. Siple P. A. Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures / P. A. Siple, C. F. Passel // Proceedings of the American Philosophical Society. – 1945. – Vol. 89. – P. 177-199.

Shipko Yuriy Vladimirovitch

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior researcher of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovskiy and Yu. A. Gagarin», Voronezh, tel. (473) 255-20-56, +7 950-762-73-79, E-mail: [yshipko@mail.ru](mailto:yshipko@mail.ru)

Shuvakin Yevgeniy Vital'yevitch

adjunct of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovskiy and Yu. A. Gagarin», Voronezh, tel. +7 980-346-78-08, E-mail: [argentina\\_85@mail.ru](mailto:argentina_85@mail.ru)

Ivanov Aleksey Vladimirovitch

Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Military Educational-Research Centre of Air Force «Air Force Academy named after professor N. E. Zhukovskiy and Yu. A. Gagarin», Voronezh, tel. +7 920-410-51-90