

## Оценка информативности некоторых биометеорологических индексов для разных районов России

С. В. Емелина\*, П. И. Константинов\*\*,  
Е. П. Малинина\*\*, К. Г. Рубинштейн\*

*Приведен обзор наиболее часто используемых в биометеорологии индексов определения комфортности условий погоды. Описаны практические и лабораторные эксперименты, на основе которых были выведены формулы для расчета индексов, а также границы применимости этих показателей. Для оценки воздействия изменения условий погоды и их совокупности (биометеорологических индексов) на здоровье населения в разные сезоны года были использованы данные медицинской статистики: о ежедневной смертности от инфарктов в Мурманске (2001—2004 гг.), от ишемической болезни сердца в Москве (2007—2010 гг.), ежедневные данные о вызовах скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь” в Кисловодске (2006—2008 гг.). Определены показатели, с которыми данные медицинской статистики дают статистически значимую корреляцию. С помощью метода кросскорреляционного анализа ежедневных рядов числа вызовов скорой помощи и смертности удалось выявить период реакции организма человека с сердечно-сосудистыми заболеваниями на изменение условий погоды в теплый и холодный сезоны года.*

### Введение

В мировых метеорологических службах в настоящее время большое внимание уделяется прогнозу неблагоприятных условий погоды, в первую очередь аномальной жары (холода), сильных осадков (дождь и снег) и ветра [17]. Одним из важных направлений деятельности метеослужб является также предупреждение населения о возможной угрозе здоровью под влиянием условий погоды. Во многих работах [5, 13, 14] указывается, что увеличение частоты возникновения и продолжительности так называемых волн жары (холода) отрицательно влияет на здоровье населения. Более того, воздействие условий погоды становится все более интенсивным [6, 19]. Большое внимание этому вопросу стали уделять после нескольких эпизодов аномальных условий, апогеем которых в начале XXI в. стала жара в Европе летом 2003 г. Некоторые службы в Европе (в Германии, Италии, Франции, Швейцарии), по данным [17], для прогноза нагрузки условий погоды используют различные совокупности метеорологических величин. Попытки связать сразу несколько факторов окружающей челове-

\* Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации; e-mail: tkachukzn@gmail.com.

\*\* Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.

ка среды, оказывающих влияние на теплоощущения, в некий общий показатель нашли свое выражение в ряде биометеорологических индексов.

Целью данной работы являлось исследование информативности как биометеорологических индексов, так и самих метеорологических величин для определения показателя, который лучше всего отражает реакцию организма человека. Для оценки воздействия изменения условий погоды и их совокупности на здоровье населения используют разные показатели, в том числе атрибутивную (дополнительную) смертность, заболеваемость, госпитализацию [5]. С этой целью применяют метод анализа временных рядов, основанный на сопоставлении ежесуточных показателей медицинской статистики и изменений погоды. Под информативностью биометеорологических индексов подразумевается наличие статистически значимой корреляции метеорологических величин и индексов с показателями медицинской статистики. Кроме того, в работе приведен обзор наиболее часто используемых в мировой и российской практике биометеорологических индексов.

### Обзор некоторых биометеорологических индексов

Степень комфортности условий погоды в отечественной и зарубежной практике часто оценивается с помощью биометеорологических индексов, которые являются косвенными индикаторами оценки состояния окружающей человека среды, характеризуя в физическом отношении особенности ее тепловой структуры. Рассмотрим некоторые из них.

**Индексы эффективной температуры.** Эффективная температура как мера теплоощущения человека впервые была предложена в работе [11]. В основу были положены лабораторные эксперименты над отобранной группой добровольцев, имеющих одинаковое теплоощущение (в отдельной камере, независимо определяли температуру воздуха). Затем они были помещены в камеру, где по разным комбинациям температуры  $T$  и влажности  $f$  ( $0^\circ\text{C} < T < 40^\circ\text{C}$ ,  $20\% < f < 100\%$ ) в условиях неподвижного воздуха ( $v = 0 \text{ м/с}$ ) определяли условия теплового дискомфорта и комфорта. Разные комбинации показаний сухого и влажного термометра преобразованы в психрометрические таблицы, по которым были проведены линии комфорта. Точка пересечения линии комфорта с линией точки росы и была определена как эффективная температура всех таких комбинаций. В работе [18] данные психрометрических таблиц были преобразованы в уравнение вида

$$ET_M = T - 0,4(T - 10)(1 - f/100). \quad (1)$$

Индекс Миссенарда  $ET_M$  на данный момент является одним из наиболее часто употребляемых индексов для оценки теплового состояния среды как в масштабах нескольких часов или дней, так и в сезонных, годовых и климатических масштабах. Зона комфорта по значениям эффективной температуры находится в пределах значений индекса 22,5—24,5.

В исследованиях [12, 15, 22] обсуждается применение этого индекса как показателя теплового стресса. При этом в некоторых отечественных работах отмечено, что этот показатель можно использовать в любое время года [3, 4].

Группа американских ученых провела сравнительный анализ нескольких широко используемых алгоритмов расчета эффективной температуры

воздуха и пришла к выводу, что наиболее полным является алгоритм, разработанный Стедменом в 1994 г. [21]. Для разработки этой модели были проведены лабораторные исследования с использованием широкого ряда биометрических измерений, проводившихся во многих странах с 1940 по 1994 г. Рассчитывали скорость охлаждения или нагревания кожи человека вследствие конвективного теплообмена: эта модель эффективной температуры объединяет физиологические факторы тела и кожного покрова, физические особенности одежды и воздушного слоя, находящегося в непосредственной близости к телу, а также метеорологические факторы окружающей среды. Сопrotивляемость организма окружающей среде зависит от физических особенностей человека, поэтому модель разработана для взрослого человека ростом 170 см, массой 67 кг, одетого по погоде. При этом на постоянном уровне поддерживали скорость ветра (2,5 м/с) и атмосферное давление (1013 гПа). На основе этой модели Стедменом была выведена простая формула для расчета эффективной температуры:

$$ET_C = 2,719 + 0,994T + 0,016(T_d)^2, \quad (2)$$

где  $T_d$  — температура точки росы (°C).

Риск термической опасности по значениям  $ET_C$  считается следующим образом: <18 — минимальная опасность, 18—22 — средняя, 23—28 — высокая, >28 — экстремальная.

В отечественной практике также применяют так называемую эквивалентно-эффективную температуру, которая характеризует теплоощущение человека в тени [1]. Изначально оценки выполнялись по номограмме для раздетого и одетого человека, имеющей три входных величины: температуру воздуха, температуру смоченного термометра и скорость ветра. Номограмма создавалась по данным многолетних метеорологических наблюдений Б. А. Айзенштата в Средней Азии. Результаты были получены при скорости ветра не более 5 м/с, температуре воздуха в диапазоне 0—40°C. В дальнейшем на основе номограммы была получена следующая формула для расчета эквивалентно-эффективной температуры:

$$EET_A = T[1 - 0,003(1 - f)] - 0,385v^{0,59} [(36,6 - T) + 0,622(v - 1)] + [(0,0015v + 0,0008)(36,6 - T) - 0,0167](1 - f). \quad (3)$$

Зона комфорта по значениям эквивалентно-эффективной температуры находится в пределах значений индекса 17,3—21,7 [1].

На основе исследований эффективной температуры Миссенарда [18], в которых рассматривалось совокупное влияние температуры и влажности воздуха в жарких условиях, чтобы расширить ее применение для условий холода, в работе Грегорчука [8] формула была доработана включением в расчет эффекта ветра. При этом исследования были аналогичны экспериментам Б. А. Айзенштата [1], только верхний предел скорости ветра составлял 7 м/с. Таким образом, формула приобрела вид

$$EET_H = 37 \frac{37 - T}{0,68 - 0,0014f} \frac{1}{(1,76 - 1,4v^{0,75})} + 0,29T(1 - 0,01f). \quad (4)$$

Зона комфорта по значениям эквивалентно-эффективной температуры находится в пределах значений индекса 17,2—21,7. В работе [16] на приме-

ре Гонконга показывается возможность применения этого индекса как в теплое, так и в холодное время года.

Методы анализа разного вида эффективной температуры обычно используют для теплого времени года. В холодный период показателем климатических условий обычно служат индексы холодного дискомфорта или ветрового охлаждения [3, 4].

**Индексы ветрового охлаждения.** Впервые индекс ветрового охлаждения был описан в работе [20]. Рассмотрим теоретическую основу этого индекса.

Тело человека теряет тепло путем конвекции, теплопроводности, излучения и испарения. В случае сухого тела только конвективные потери значительно зависят от движения окружающего воздуха. Скорость, с которой тело рассеивает тепло в результате конвекции от поверхности, определяется законом охлаждения [10]:

$$q = h(T_{\text{skin}} - T), \quad (5)$$

где  $q$  — поток тепла ( $Bm/m^2$ );  $h$  — коэффициент теплопередачи ( $(Bm/m^2 \text{ } ^\circ C)$ );  $T_{\text{skin}}$  — температура поверхности кожи ( $^\circ C$ ).

Коэффициент теплопередачи является функцией скорости воздуха, диаметра и формы тела, а также физических характеристик среды (воздуха). Было получено уравнение следующего вида:

$$\frac{hd}{k} = C \frac{Vd^n C_p}{k}^{1/3}, \quad (6)$$

где  $d$  — характерный диаметр объекта ( $m$ );  $V$  — скорость воздуха около объекта ( $m/c$ );  $C$  и  $n$  являются параметрами, которые определяются экспериментально;  $k$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ ,  $C_p$  — соответственно теплопроводность ( $(Bm/m^2 \text{ } ^\circ C)$ ), плотность ( $кг/м^3$ ), вязкость ( $кг/(м \text{ } c)$ ) и теплоемкость ( $(кДж/(кг \text{ } ^\circ C))$ ) воздуха при средней температуре поверхности кожи и воздуха  $(T_{\text{skin}} + T)/2$ .

Измерения охлаждения в сухой атмосфере проводили с использованием термометра относительного комфорта, разработанного Сайплом. Он представлял собой цилиндрический контейнер 14,9 см в длину и 5,73 см в диаметре (аналог запястья человека) с термометром в центре. Цилиндр был заполнен водой (0,250 кг) и поставлен на крышу палатки. Второй термометр был помещен в 60 см от палатки для измерения температуры окружающей среды. Для измерения скорости ветра был использован чашечный анемометр. Скорость охлаждения при данной скорости ветра определялась путем деления теплоты плавления 0,250 кг воды на время, необходимое для замерзания воды. Во время экспериментов температура воздуха была зарегистрирована в диапазоне  $-20...-40^\circ C$ . Данные экспериментов были аппроксимированы и получено уравнение для определения скорости охлаждения  $h$ :

$$h = 10,45 + 10\sqrt{v} - v, \quad (7)$$

а также следующее выражение для расчета индекса ветрового охлаждения по Сайплу ( $WCI_s$ ):

$$WCI_s = (10,45 + 10\sqrt{v} - v)(33 - T) \quad (8)$$

(температура поверхности кожи была принята равной  $33^\circ C$ ).

Таблица 1

**Диапазоны метеорологических и физиологических величин,  
которые использованы при разработке индексов**

Индекс	Диапазоны метеорологических величин
Эффективная температура по Миссенарду $ET_M$ по Стедмену $ET_C$	$0\text{ C} < T < 40\text{ C}$ , $20\% < f < 100\%$ , $v = 0\text{ м/с}$ $v = 2,5\text{ м/с}$ , $p = 1013\text{ гПа}$
Эквивалентно-эффективная температура по Айзенштату $EET_A$ по Грегорчуку $EET_H$	$v < 5\text{ м/с}$ , $0\text{ C} < T < 40\text{ C}$ $v < 7\text{ м/с}$
Ветровой индекс охлаждения Сайпла $WCI_S$ Курта $WCI_C$ Хилла $WCI_H$	$-40\text{ C} < T < -20\text{ C}$ , $T_{skin} = 33\text{ C}$ $T_{skin} = 33\text{ C}$ $T_{body} = 36,6\text{ C}$
<i>Примечание.</i> Пояснения приведены в тексте.	

Аналогичные исследования при той же температуре, но уже в лабораторных условиях, были проведены Куртом, объект в этих экспериментах имел сферическую форму (аналог головы человека). Согласно работе [7], формула для определения индекса ветрового охлаждения по Курту имеет следующий вид:

$$WCI_C = (9 + 10,9\sqrt{v} - v)(33 - T) \quad (9)$$

(температура поверхности кожи также была принята равной  $33^\circ\text{C}$ ).

Известен индекс ветрового охлаждения Хилла [9], с помощью которого в лабораторных исследованиях ( $-40^\circ\text{C} < T < 0^\circ\text{C}$ ) были рассчитаны теплотери единичного открытого участка кожи при взвешенной температуре тела  $T_{body} = 36,6^\circ\text{C}$ :

$$WCI_H = (0,13 + 0,47\sqrt{v})(36,6 - T). \quad (10)$$

В табл. 1 представлены диапазоны метеорологических и физиологических величин, которые были использованы при разработке всех рассмотренных выше индексов.

#### Данные и методы их обработки

Для оценки информативности наиболее часто используемых в российской и мировой практике биометеорологических индексов были рассмотрены отдельно три города России: Мурманск, Москва и Кисловодск. Выбор городов, в первую очередь, обусловлен наличием уникальных рядов данных о ежедневной смертности для Мурманска с 2001 по 2004 г., для Москвы с 2007 по 2010 г., предоставленных Центром демографии и экологии человека Института народно-хозяйственного прогнозирования РАН. В Кисловодске в качестве ряда медицинской статистики для анализа использовали ежедневные данные о вызовах скорой помощи с 2006 по 2008 г., предоставленные Пятигорским государственным научно-исследовательским институтом курортологии. Рассмотренные города находятся в разных географических зонах. Мурманск (68 58 с. ш.) отличается субарктичес-

ким морским климатом, Москва (55°45 с. ш.) — умеренно-континентальным [2]. Кисловодск (43°54 с. ш.) также находится в поясе умеренно-континентального климата, но расположен на высоте 800 м над уровнем моря. Анализ условий городов с разными климатическими характеристиками и географическим положением позволил рассмотреть разные сочетания температурного и влажностного режимов, а также режимов ветра и обобщить полученные результаты.

В данной работе приведены предварительные результаты сопоставления рядов ежедневной медицинской статистики с изменением среднесуточных значений метеорологических величин и некоторых биометеорологических индексов посредством кросскорреляционного анализа со сдвигом до 15 сут для возможности учета сдвига между динамикой исследуемых процессов. В Мурманске рассматривали ряды ежедневной смертности от инфарктов в двух возрастных группах: 30—64 и старше 65 лет, в Москве — ряды ежедневной смертности от ишемической болезни сердца в двух возрастных группах: 30—60 и старше 60 лет, в Кисловодске — ежедневные вызовы скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь сердца” для всех возрастных категорий. Дополнительный анализ рядов медицинской статистики выявил наличие значимой связи с ритмикой недели, поэтому они были сглажены методом скользящих средних за 7 сут.

Были рассмотрены следующие биометеорологические индексы: эффективная температура по методам расчета Миссенарда (1) и Стедмена (2), эквивалентно-эффективная температура по Айзенштату (3) и Грегорчуку (4), в зимнее время индексы ветрового охлаждения по Сайплу (8), Курту (9) и Хиллу (10). Также проверяли связи динамики состояния человека с самими метеорологическими величинами: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью ветра и приземным атмосферным давлением. Следует отметить, что в некоторых случаях существовали связи данных медицинской статистики с влажностью воздуха и скоростью ветра, однако эти связи не являлись статистически значимыми.

Для расчета биометеорологических индексов были использованы срочные данные из базы Гидрометцентра России с метеорологической станции Мурманск (68°56 с. ш., 33°05 в. д.), станции Москва — ВДНХ (55°56 с. ш., 37°45 в. д.) и станции Кисловодск (43°09 с. ш., 42°43 в. д.). В целом метеорологические данные имеют несколько периодических циклов: суточный, сезонный, годовой и вековой. Сглаживание суточной амплитуды метеорологических величин и биометеорологических индексов было проведено с помощью осреднения срочных значений в среднесуточные. Поскольку анализ был сделан отдельно для двух сезонов — условно холодного (ноябрь — март) и условно теплого (май — сентябрь) — за разные годы, то коррекцию более длинных, чем суточные, регулярных циклов не проводили.

## Результаты

Кросскорреляционный анализ связи метеорологических величин и рассматриваемых биометеорологических индексов с числом вызовов скорой помощи с последующим диагнозом “гипертоническая болезнь” со сдвигом до 15 сут в Кисловодске в зимнее время показал следующие особенности: в среднем за весь исследуемый период (2006—2008 гг.) максимум кросскорреляционной функции ( $r = 0,15$ ) числа вызовов скорой помощи и эф-

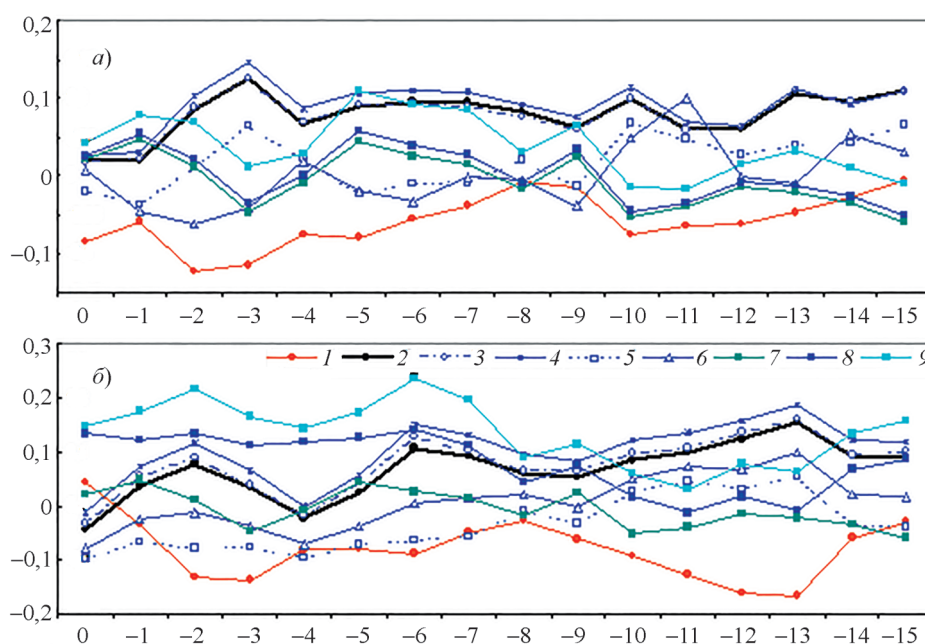


Рис. 1. Коэффициент корреляции со сдвигом от 0 до 15 сут приземного атмосферного давления (1), температуры воздуха (2),  $ET_M$  (3),  $ET_C$  (4),  $EET_A$  (5),  $EET_H$  (6),  $WCI_S$  (7),  $WCI_C$  (8),  $WCI_H$  (9) с числом вызовов скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь” в Кисловодске в зимнее время в среднем за 2006—2008 гг. (а) и за 2008 г. (б).

фактивной температуры по формуле Стедмена  $ET_C$  проявляется при смещении на 3 сут по времени (рис. 1а), индексы эффективной и эквивалентно-эффективной температуры, а также метеорологические величины имеют меньшие коэффициенты корреляции с вызовами скорой помощи. Следует отметить, что эти результаты достоверны на уровне значимости  $p < 0,05$ . При этом в отдельные годы, например, в 2008 г. (рис. 1б), максимум кросс-корреляционной функции ( $r = 0,24$ ) наблюдался при анализе связи числа вызовов скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь” и индекса ветрового охлаждения по Хиллу ( $WCI_H$ ) со сдвигом 6 сут. Если проанализировать температурный режим в Кисловодске за рассматриваемые годы (табл. 2), то можно отметить, что зима 2008 г. отличалась неустойчивым температурным режимом: в среднем она была самой холодной за период 2006—2008 гг., но при этом именно тогда в городе наблюдался максимум температуры воздуха ( $12^\circ\text{C}$ ). Это свидетельствует о возможности рассмотрения для оценки комфортности условий погоды в Кисловодске в холодное время года двух индексов: эффективной температуры по формуле Стедмена  $ET_C$  и индекса ветрового охлаждения по Хиллу  $WCI_H$ .

В теплое время года в Кисловодске в среднем максимум кросс-корреляционной функции (по модулю) наблюдается при анализе коэффициентов корреляции числа вызовов скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь” и эффективной температуры по формуле Стедмена  $ET_C$  ( $r = -0,18$ ) со смещением на 8 сут, этот же индекс дает максимальный коэффициент корреляции (по модулю) ( $r = -0,58$ ) в 2008 г. при нулевом смещении — т. е. реакция организма происходит без сдвига по времени. Причем зависи-

Таблица 2

**Характеристики температурного режима ( С) в холодный и теплый сезоны в разные годы в Кисловодске, Мурманске и Москве**

Год	Ноябрь — март				Май — сентябрь			
	среднее	минимум	максимум	СКО	среднее	минимум	максимум	СКО
г. Кисловодск								
2006	-3,2	<u>-15,9</u>	5,0	4,7	17,7	<u>3,5</u>	<u>26,4</u>	4,8
2007	-1,1	-13,5	7,9	4,3	18,5	4,1	25,7	4,1
2008	-4,1	-13,1	<u>12,0</u>	5,6	16,3	3,8	24,2	4,5
г. Мурманск								
2001	-8,7	-25,3	4,3	6,9	9,8	-0,7	22,4	5,2
2002	-5,4	-24,8	10,3	6,8	8,1	0,2	22,6	4,3
2003	-6,4	<u>-32,2</u>	<u>10,9</u>	7,8	9,4	<u>-1,6</u>	23,8	5,4
2004	-4,2	-24,0	9,2	6,7	10,1	<u>-1,6</u>	22,7	5,8
г. Москва								
2007	-2,3	-20,9	9,9	6,3	16,9	3,8	27,1	5,1
2008	-1,0	-16,8	10,2	5,0	14,9	<u>2,3</u>	25,6	5,0
2009	-3,2	<u>-23,7</u>	8,1	6,2	15,8	5,1	23,8	3,7
2010	-5,8	-22,9	<u>12,5</u>	7,8	19,0	4,6	<u>30,7</u>	6,3

*Примечание.* Среднее, минимум и максимум — соответственно среднее, минимальное и максимальное за рассматриваемый год и сезон значение среднесуточной температуры воздуха; СКО — среднеквадратическое отклонение среднесуточной температуры воздуха; подчеркнуто экстремальное значение температуры за рассматриваемые годы.

мость отрицательная, т. е. при повышении температуры воздуха число вызовов скорой помощи уменьшается. Средние и максимальные в отдельные годы коэффициенты корреляции числа вызовов скорой помощи с метеорологическими величинами и их сочетаниями с периодом реакции за исследуемый период в Кисловодске представлены в табл. 3.

Также необходимо отметить, что небольшие значения средних коэффициентов корреляции метеорологических величин и биометеорологических индексов с данными медицинской статистики объясняются сложной зависимостью реакции организма на изменения окружающей среды. Помимо атмосферы на человека оказывает влияние большое количество факторов (социальных (качество медицины, условия труда), экономических (уровень дохода, качество жизни), экологических и многих других), которые, в конечном счете, приводят к заболеваниям и даже к смерти. И метеорологический фактор играет свою роль опосредованно, наравне с другими.

Анализ связи инфарктов у людей в возрасте до 64 лет в Мурманске в зимнее время с метеорологическими величинами и биометеорологическими индексами (табл. 3) выявил отрицательную зависимость, причем максимальный по модулю коэффициент корреляции ( $r = -0,1$ ) со смертностью в этом возрастном диапазоне имеет эффективная температура по формуле Миссенарда  $ET_M$ . Возможно, такое небольшое значение коэффициента корреляции обусловлено малой степенью воздействия условий погоды и их сочетаний на людей этой возрастной группы, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. В теплое время года зависимость смертности и



Таблица 3

**Средние и максимальные коэффициенты корреляции  
биометеорологических индексов ( $ET_C$ ,  $ET_M$ ) или метеорологических  
величин ( $p$ ,  $T$ ) с данными медицинской статистики на уровне значимости  
 $p = 0,05$**

Город, период	Данные медицинской статистики, возраст	Ноябрь — март		Май — сентябрь	
		средний	максимальный	средний	максимальный
Кисловодск 2006—2008 гг.	Вызовы скорой помощи с диагнозом “гипертоническая болезнь”	0,14 $ET_C$ (3)	0,35 $ET_C$ (3), 2006 г.	-0,18 $ET_C$ (8)	-0,58 $ET_C$ (0), 2008 г.
Мурманск 2001—2004 гг.	Смертность от инфарктов, 30—64 лет	-0,10 $ET_M$ (2)	0,30 $p$ (0), 2003 г.	-0,34 $ET_C$ (2)	-0,52 $ET_C$ (1), 2003 г.
Мурманск 2001—2004 гг.	Смертность от инфарктов, старше 65 лет	-0,23 $ET_M$ (0)	-0,30 $ET_M$ (0), 2003 г.	-0,18 $T$ (9)	-0,45 $ET_C$ (8), 2002 г.
Москва 2006—2010 гг.	Смертность от ишемической болезни, 30—60 лет	-0,18 $ET_M$ (7)	-0,39 $ET_M$ (0), 2007 г.	-0,25 $ET_M$ (0)	-0,35 $ET_M$ (0), 2009 г.
Москва 2006—2010 гг.	Смертность от ишемической болезни, старше 60 лет	-0,47 $ET_M$ (0)	-0,59 $T$ (0), 2009 г.	-0,30 $ET_C$ (0)	-0,41 $ET_M$ (0), 2008 г.

*Примечание.*  $ET_M$  и  $ET_C$  — эффективная температура по методам расчета Миссенарда и Стедмена соответственно; в скобках указан сдвиг максимального эффекта (число дней до смерти (вызова скорой помощи)).

рассматриваемых параметров также отрицательная. В целом наибольшую корреляцию со смертностью от инфарктов людей в возрасте 30—64 года (рис. 2б) имеет эффективная температура по формуле Стедмена ( $r = -0,34$ ) с запаздыванием реакции на два дня, хотя в отдельные годы (как например, в 2003 г.) (табл. 3) максимум кросскорреляционной функции смертности и этого параметра достигает  $-0,52$  с запаздыванием на день. Если обратиться к статистическим данным температурного режима в Мурманске с 2001 по 2004 г., то можно заметить, что холодный период 2003 г. отличался самой низкой среднесуточной температурой воздуха (табл. 2), что свидетельствует об увеличении информативности индекса при более низкой температуре.

В старшей возрастной группе (65 лет и более) (рис. 2а) максимальный по модулю коэффициент корреляции смертности от инфарктов и эффективной температуры по формуле Миссенарда в холодное время года в среднем за 2001—2004 гг. составляет  $-0,23$  с нулевым сдвигом. Также стоит отметить, что зависимость смертности в холодное время года и индексов ветрового охлаждения оказалась статистически незначимой ( $p < 0,05$ ).

В Москве в холодное время года коэффициент корреляции смертности от ишемической болезни сердца и биометеорологических индексов отрицательный. Максимальный коэффициент корреляции в среднем с 2007 по 2010 г. с показателями смертности имеет эффективная температура по формуле Миссенарда (табл. 3), но в возрастной группе от 30 до 60 лет максимум по модулю кросскорреляционной функции невысокий ( $r = -0,18$ ) и от-

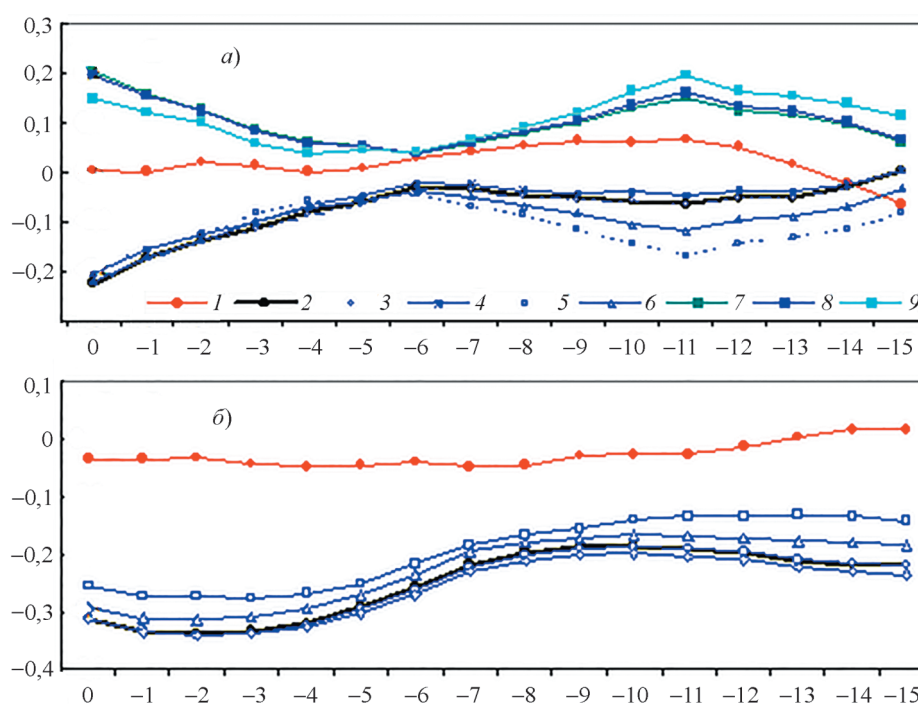


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для показателей смертности от инфарктов в Мурманске людей в возрасте старше 65 лет в среднем за 2001—2004 гг. в холодное время года (а) и людей в возрасте 30—64 лет в теплое время года (б).

мечается с запаздыванием на 7 сут, а в возрастной группе старше 60 лет (рис. 3а)  $r = -0,47$  и без запаздывания. Это, по-видимому, может свидетельствовать о повышенной чувствительности больных ишемической болезнью сердца к совокупному сочетанию температуры и влажности воздуха, особенно в старшем возрасте.

В теплое время года коэффициент корреляции смертности от ишемической болезни сердца и биометеорологических индексов также отрицательный. Максимум кросскорреляционной функции во все годы отмечается без запаздывания показателя смертности относительно метеорологических величин и биометеорологических индексов. Максимальный средний коэффициент корреляции со смертностью от ишемической болезни сердца у людей в возрасте 30—60 лет имеет эффективная температура по формуле Миссенарда ( $r = -0,25$ ), в возрасте старше 60 лет (рис. 3б) — эффективная температура по формуле Стедмена.

Для выявления связи показателей смертности от ишемической болезни сердца в теплое время года показания 2010 г. не учитывали и рассматривали отдельно (как нетипично жаркий). В этот период (рис. 3в) значения кросс-корреляционной функции между смертностью и всеми параметрами (кроме приземного атмосферного давления) до сдвига на 8 сут превышали 0,6. При этом максимум кросскорреляционной функции смертности в возрастной группе 30—60 лет отмечался для связи с эквивалентно-эффективной температурой по формуле Айзенштата  $EET_A$  ( $r = 0,67$ ) с запаздыванием на 2 сут, в возрастной группе старше 60 — для связи с эквивалент-

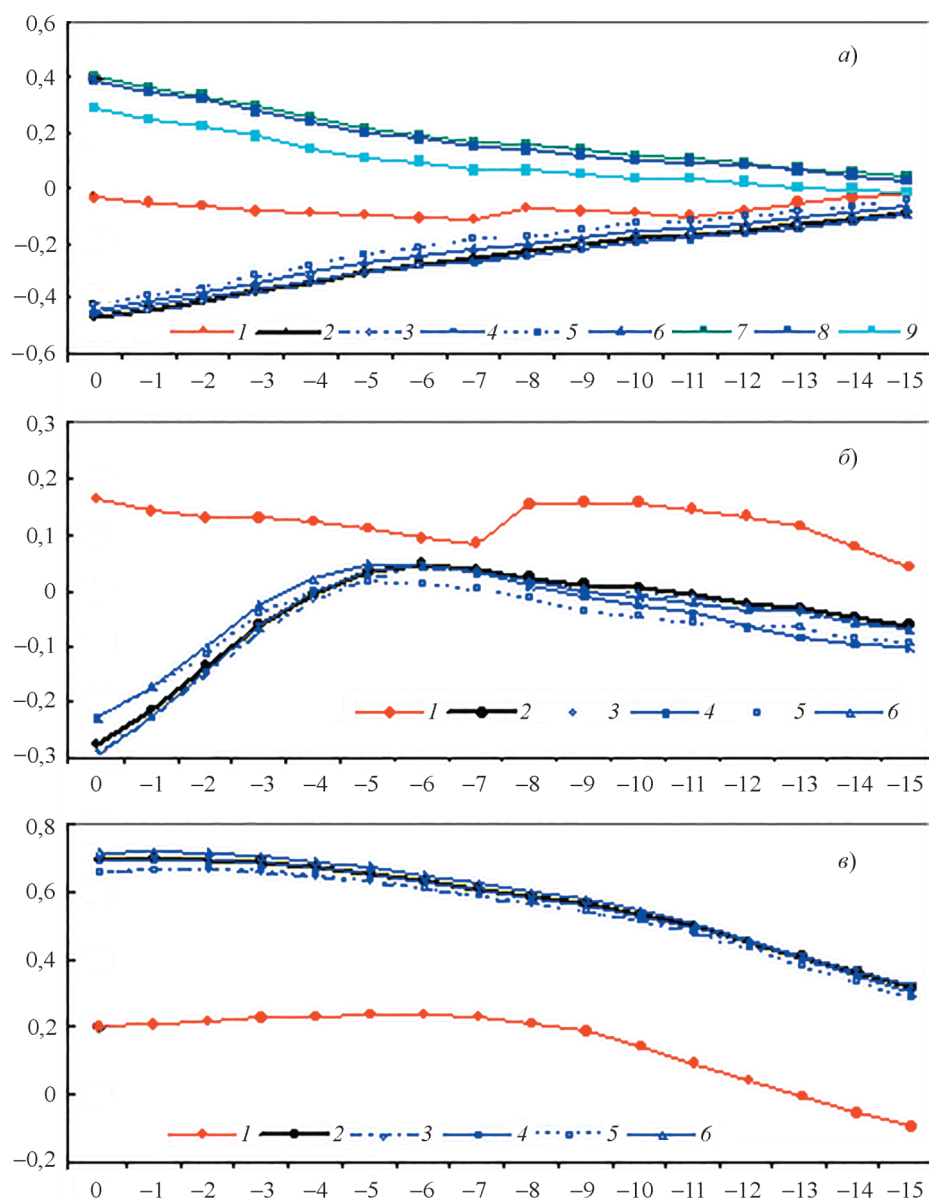


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для показателей смертности от ишемической болезни сердца людей старше 60 лет в Москве в холодное время года в среднем за 2006—2009 гг. (а), в теплое время года в среднем за 2006—2009 гг. (б) и летом 2010 г. (в).

но-эффективной температурой по формуле Грегорчука  $EET_H$  ( $r = 0,72$ ) с запаздыванием на день.

### Выводы

Приведен обзор самых распространенных в биометеорологии индексов определения комфортности условий погоды. Описаны практические и лабораторные эксперименты, на основе которых были выведены формулы для их расчета. Приведены границы применимости этих показателей. По-

казано, что для оценки комфортности условий погоды необходимо учитывать географическое положение местности, а также сезон года.

Так, с помощью кросскорреляционного анализа связи числа вызовов скорой помощи и значений метеорологических величин и их сочетаний выявлено, что в Кисловодске целесообразнее применять индекс эффективной температуры, рассчитанный по формуле Стедмена. Показано, что в холодное время года период реакции организма людей, страдающих гипертонической болезнью, составляет 3 сут, в теплое время года — около недели, однако в отдельные годы, характеризующиеся сравнительно низкой температурой, реакция может наступать и без запаздывания.

В Мурманске влияние условий погоды на больных сердечно-сосудистыми заболеваниями в холодное время года наилучшим образом описывает эффективная температура, рассчитанная по формуле Миссенарда. При этом в возрастной группе 30—64 лет реакция происходит через 2 сут, в группе старше 65 лет — без запаздывания.

В теплое время года связь условий погоды и смертности от инфарктов не столь однозначна: в возрастной группе 30—64 года максимальный коэффициент корреляции имеет эффективная температура по формуле Стедмена (с реакцией через 2 сут), в возрастной группе старше 65 лет — температура воздуха с запаздыванием 9 сут. Это может быть объяснено следующими причинами: во-первых, жители северных городов более устойчивы к воздействию тепла, во-вторых, зависимость смертности от разных сочетаний условий погоды в летнее время сложнее.

В Москве на больных ишемической болезнью сердца наиболее влияет сочетание температуры и влажности воздуха, наибольший коэффициент корреляции получен для индекса эффективной температуры, при этом в зимнее время и в возрастной группе старше 60 лет эта зависимость проявляется лучше и без временного запаздывания.

Также показана более слабая связь индексов эквивалентно-эффективной температуры и ветрового охлаждения с медицинскими показателями, что может быть связано с расхождением диапазонов характеристик метеорологического режима по сравнению с теми, для которых эти индексы были разработаны. Это еще раз подтверждает отсутствие универсальности биометеорологических индексов.

Полученные результаты планируется использовать при разработке оперативной системы прогноза опасных явлений с целью минимизации последствий негативного влияния условий погоды на организм человека.

Авторы выражают благодарность Б. А. Ревичу за предоставленные данные о ежедневной смертности в Мурманске и Москве, Д. А. Шапошникову за форматирование базы данных о ежедневной смертности в Мурманске и консультации по обработке данных, А. Федотову за форматирование базы данных о ежедневной смертности в Москве, Н. П. Поволоцкой за предоставленные данные о вызовах скорой помощи в Кисловодске, А. А. Матко за поддержку работы.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Фундаментальные науки — медицине”, РФФИ (грант 12-05-97014-р\_поволжье\_a) и международного проекта FP7-IRSES-“Climseas”.

## Литература

1. **Айзенштат Б. А., Айзенштат Л. Б.** Формула для расчета эквивалентно-эффективной температуры. — Вопросы биометеорологии, 1974, № 20(101), с. 81—83.
2. **Алисов Б. П.** Климат СССР. — М., Высшая школа, 1969, 242 с.
3. **Исаев А. А.** Экологическая климатология. — М., Научный мир, 2001, 456 с.
4. **Кобышева Н. В., Стадник В. В., Клюева М. В. и др.** Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. — СПб, 2008, 336 с.
5. **Ревич Б. А., Малеев В. В.** Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки. — М., ЛЕНАНД, 2011, 208 с.
6. **Confalonieri U., Menne B., Akhtar R., et al.** Human health. /In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2007, pp. 391—431.
7. **Court A.** Wind chill. — J. Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1948, vol. 29, pp. 487—493.
8. **Hentschel G.** A human biometeorology classification of climate for large and local scales. WMO/HMO/UNEP Symposium on Climate and Human Health. — Leningrad, 1986, vol. I, WCPA-No. 1, WMO.
9. **Hill L. E., Angus T. C., and Newbold E. M.** Further experimental observations to determine the relations between katacooling powers and atmospheric conditions. — J. Ind. Hyg., 1958, vol. 10, pp. 391—407.
10. **Holman J. P.** Heat Transfer. 3rd ed. — New York, McGraw Hill Book Co., 1972, 462 p.
11. **Houghton F. C. and Yagloglou C. P.** Determining lines of equal comfort. — J. Amer. Soc. Heat. and Ventilating Engineers, 1923, vol. 29, pp. 165—176.
12. **Jendrizky G.** Select questions of tropical interest in human biometeorology. — Int. J. Biometeorol., 1991, vol. 35, pp. 139—150.
13. **Kalkstein L. S.** Biometeorology—looking at the links between weather, climate and health. — WMO Bulletin, 2001, No. 2.
14. **Kalkstein L. S. and Davis R. E.** Weather and human mortality: An evaluation of demographic and interregional responses in the United States. — Annals of Association of American Geographers, 1989, vol. 79, No. 1, pp. 44—64.
15. **Landsberg H. E.** The Assessment of Human Bioclimate, a Limited Review of Physical Parameters. — Geneva, World Meteorological Organization, 1972, Techn. Note No. 123, WMO-No. 331.
16. **Li P. W. and Chan S. T.** Application of a Weather Stress Index for Alerting the Public to Stressful Weather in Hong Kong. — J. Meteorol. Appl., 2000, vol. 7, pp. 369—375.
17. **Lowe D., Ebi K. L., and Forsberg B.** Heatwave early warning systems and adaptation advice to reduce human health consequences of heatwaves. — Int. J. Environ. Res. Public Health, 2011, vol. 8, pp. 4623—4648.
18. **Missenard A.** L'Homme et le climat. — Paris, 1937, 186 p.
19. **Morgan G., Sheppard V., Khalaj B., et al.** Effects of bushfire smoke on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia. — Epidemiology, 2010, vol. 21, pp. 1—9.
20. **Siple P. A. and Passel C. F.** Measurements of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures. Reports on scientific results of the United States Antarctic Service Expedition, 1939—1941. — Proc. Amer. Philos., 1945, vol. 89, pp. 177—199.
21. **Steadman R. G.** Norms of apparent temperature in Australia. — Aust. Met. Mag., 1994, vol. 43, pp. 1—16.
22. **Tromp S.** Biometeorology. — London, Heiden, 1980, 346 p.