

ОБЗОР ИНДЕКСОВ СТЕПЕНИ КОМФОРТНОСТИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И ИХ СВЯЗЬ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ СМЕРТНОСТИ

С.В. Ткачук

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации
tkachukzn@gmail.com*

Большое количество публикаций посвящено воздействию погодных условий и климата на самочувствие человека [13, 20]. Так, в [15, 16, 19, 25] сообщается о значительном увеличении смертности во время волн жары и холода. Большинство исследований выполнено учеными-медиками и только незначительное количество – климатологами. Помимо основных метеорологических параметров существует целый комплекс явлений, которые косвенно связаны с погодой и также оказывают влияние на самочувствие человека, наиболее значимые из которых – атмосферные загрязнители и пыльца [26], гелиомагнитная активность [8] и др.

История исследований

Расцвет биометеорологии начался в 20 веке. Степень дискомфорта, возникающего от избытка тепла, стала оцениваться с помощью биометеорологических индексов, которые являются косвенными индикаторами оценки состояния окружающей человека среды, характеризуя в физическом отношении особенности её тепловой структуры. Реакция на воздействие отдельного метеорологического элемента (либо их совокупности) может проявляться мгновенно или пролонгированно, а продолжаться в течение часов, суток, нескольких дней либо более длительного периода. Попытки связать наибольшее число факторов окружающей человека среды, оказывающих влияние на теплоощущения, в некий общий показатель нашли свое выражение в ряде индексов. Существует много подходов к типизации подобных показателей. Например Исаев [9] разделяет индексы на группы в зависимости от сочетания метеорологических величин, используемых для их расчета. Таким образом, выделяются температурно-влажностные, температурно-ветровые, температурно-влажностно-ветровые и другие типы индексов. Такая типизация применяется в российской практике. Данные индексы используют только информацию об окружающей среде, но никак не учитывают физиологию человека. Зарубежный же опыт исследований в области

биоклиматологии включает в себя индексы, которые учитывают информацию и о погодных условиях, и о физиологических особенностях человека.

Поскольку в настоящее время существует большое число различных методов оценки состояния человека, находящегося под влиянием комплекса метеорологических факторов, целесообразно разделить индексы на несколько категорий. Так, можно выделить:

- 1) индексы, основанные на различных эмпирических связях между теплоощущением человека и сочетанием нескольких метеорологических факторов;
- 2) показатели, учитывающие преимущественно экстремальные пролонгированные воздействия на организм, приводящие к резким функциональным сдвигам;
- 3) показатели, основанные на учете изменений физиологических функций организма, проявляющихся в виде ответных реакций на влияние погодных условий.

Рассмотрим основные из них:

Эффективная температура (ЭТ). Одинаковое теплоощущение можно испытывать при самых различных сочетаниях метеорологических элементов. Опытным путем было установлено ряд сочетаний температуры и относительной влажности воздуха, при которых эффект теплоотдачи и теплоощущения будет одинаковым. Их выражают в градусах температуры насыщенного водяными парами неподвижного воздуха – в градусах эффективной температуры [18].

Этот показатель является самым широко используемым в биометеорологической практике как в России, так и за рубежом. В публикациях приводится информация, по крайней мере, о семи расчетных формулах для определения ЭТ, основанных на эмпирических связях реакции человеческого организма на определенные условия температуры и влажности воздуха [2, 10, 18, 27, 28, 30].

Группа американских ученых провела сравнительный анализ нескольких широко используемых алгоритмов расчёта эффективной температуры воздуха и пришла к выводу, что наиболее полным является алгоритм, доработанный Стедманом в 1994 г. [29]. Для разработки этой модели был использован широкий ряд биометрических измерений, производившихся во многих странах с 1940 по 1994 год. 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 «среднего» человека, т.е. взрослого человека средней комплекции, одетого по погоде, идущего в тени со скоростью 4,8 км/ч. На основе этой модели Стедманом была

выведена простая формула для расчёта эффективной температуры. На сайте австралийского метеорологического бюро размещается информация о патогенности погодных условий на основе упрощенной модели Стедмана (без учета солнечной радиации).

В подвижном воздухе (при $V > 0,2$ м/с) интенсивность теплоотдачи усиливается, порядок уровня и структура теплоощущения изменяется. Именно поэтому Б.А. Айзенштадом [2] было введена **эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ)**, которая помимо влажности и температуры воздуха, учитывает скорость ветра. Этот показатель характеризует теплоощущения одетого человека. Зона комфорта по значениям определяется как совокупность метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, удерживает нормальный теплообмен, сохраняет нормальную температуру тела и не выделяет пота [1]. Этот индекс используется при климатолечении [12] с 6- и 12-градусными ступенями. По данным [10], подобная классификация полностью подходит для диапазона тепла, удовлетворительно – для диапазона охлаждения, а для диапазона холода – в качестве предположительного критерия.

Недостаток индексов ЭТ и ЭЭТ состоит в недоучете теплоощущения от нагревания солнечной радиацией, что было добавлено Е.Г. Головиной [7] в показателе **радиационно-эквивалентно-эффективной температуры (РЭЭТ)**, которую применяют в гелиотерапии.

Для оценки дискомфорта, возникающего вследствие влияния холода, используются так называемые **индексы холодогового стресса**. Если в эффективных температурах оценки теплового ощущения температуры наружного воздуха рассчитываются на основе влажности, то в индексах холодогового стресса эффект теплоощущения и дискомфорта в основном уточняется поправкой на скорость ветра. Чаще всего в зарубежной практике для этого используется ветровой индекс охлаждения, введенный Сайплом и Пассселом [24]. Он характеризует степень охлаждения под влиянием ветра и температуры воздуха в тени без учета испарения, а скорость охлаждения вычисляется с учетом средневзвешенной температуры кожи, равной 33 °С. Формула для расчета была выведена на основании проведенных в Антарктиде экспериментов. Критическая оценка этого индекса приведена в [28]. Главный недостаток индекса состоит в том, что он характеризует охлаждение лишь под влиянием конвекции. При низких температурах конвективный обмен теплом, а также теплопроводность сильно снижаются из-за влияния одежды, не учитываемой этим индексом. С другой стороны, в [31] показано удовлетворительное согласие между эмпирическим ветровым индексом охлаждения и зарегистрированными случаями обморожения в Антарктиде. В 2001 г. метеорологи и медицинские эксперты Канады и США реализовали новый индекс холодогового стресса [23], основанный на параметре Сайпла-Пасссела. Этот

индекс сейчас используется в оперативной практике Национальной службы погоды США (NWS) и метеорологической службе Канады.

Также используются индексы ветрового сухого и влажного охлаждения Хилла [16], которые характеризуют теплопотери единичного открытого участка кожи при температуре кожи 33°C или взвешенной температуре тела 36,6 °C и пропорциональны разности между ними и температурой наружного воздуха. Кроме того, индекс ветрового влажного охлаждения учитывает поправку за счет упругости водяного пара. Индекс характеризует интенсивность потерь тепла во влажном движущемся потоке воздуха. При отрицательных и при высоких положительных температурах (более 24 °C) ветровой поток усиливает состояние дискомфорта.

Недостаток вышеперечисленных индексов холодного стресса заключается в том, что тело человека при расчетах и опытах заменяется обычно неодушевленной человеческой моделью, в которой эффект радиационного нагревания не учитывается. С учетом этого недостатка авторы определяли холодный дискомфорт в зимних условиях Антарктиды, на севере России, когда пребывание человека на открытом воздухе лимитируется отрицательной температурой открытых частей тела, но все же происходит нагревание за счет солнечной радиации. Так был разработан индекс **«приведенной температуры»** по Адаменко-Хайрулину [4], который также учитывает радиационный баланс поверхности тела, смягчающий холодный дискомфорт при достижении определенной величины обогрева лица и рук человека. Этот индекс также можно применять и при оценке суровости и континентальности климата, так как он учитывает, помимо эффекта ветра, отепляющее воздействие радиацией открытых частей тела и, по-видимому, является более объективной оценкой теплоощущения в смысле оценки дискомфорта холодного периода, по сравнению с **индексом жесткости погоды Бодмана** [10]. Кроме того, при расчете индекса Бодмана не учитывается абсолютная высота местности над уровнем моря, сезонная изменчивость относительной влажности, суточные амплитуды температуры воздуха и скорости ветра. Основным недостатком данного метода заключается в том, что он не обоснован с точки зрения физиологии. Учитывая данные факторы, И.М. Осокин [11] ввел уточняющие коэффициенты в индекс Бодмана. Тем не менее этот показатель довольно широко распространен в биоклиматической практике, прежде всего из-за простоты использования. В Наставлении по проведению метеорологических наблюдений на курортах шкала жесткости Бодмана рекомендована для характеристики погодных условий в холодное время года.

Для оценки суровости климата северных и горных территорий применяется **биоклиматический индекс суровости метеорологического режима (БИСМ)** [5], в основе которого лежит ряд эмпирических формул, необходимых для вычисления его интегрального значения. Можно сказать, что БИСМ – это эмпирическая мера комфорта, отражающего суровость климатического влияния на организм человека. Этот индекс является относительно универсальным, так как позволяет учитывать влияние на организм человека не только низких температур, но и жарких условий полупустынных и пустынных районов, а также избыток ультрафиолета в горах и его дефицит в арктических широтах.

Метод теплового баланса

Метод теплового баланса является наиболее объективным для различных биоклиматических оценок [10]. Он позволяет количественно оценить суммарные потери тепла организмом или же поступления тепла к организму, выраженные в соответствующих единицах. Для поддержания термостабильного состояния необходимо равновесие между теплообразованием и притоком тепла, с одной стороны, и потерями тепла, с другой. В общем виде тепловой баланс тела человека FLE для условия теплового равновесия выражается уравнением

$$FLE = FR_k + FR_o + FP + P_l - LE_l + M, \quad (1)$$

где F – эффективная поверхность тела, m^2 , чаще всего в исследованиях принимается равной $1,6 m^2$; R_k и R_o – коротковолновый и длинноволновый баланс тела соответственно, $Вт \cdot m^{-2}$; P – теплообмен между телом и окружающим воздухом путем конвекции, $Вт \cdot m^{-2}$; P_l – теплообмен с воздухом, совершающийся в легких при дыхании, $Вт$; LE_l – затраты тепла на испарение с поверхности дыхательных путей при дыхании, $Вт$; M – теплопродукция организма, $Вт$.

Из уравнения теплового баланса следует, что величина FLE в условиях нагрева характеризует тот избыток тепла, который выводится из организма путем испарения пота. В условиях потери тепла FLE характеризует то количество тепла, которое должно быть выделено в организме или которое надо сберечь с помощью соответствующей одежды. Отсюда следует, что в качестве интегральной характеристики тепловой нагрузки на организм может быть принята величина FLE или эквивалентная ей величина – скорость испарения пота $FE \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$. Эти характеристики могут быть рассчитаны с точностью, достаточной для решения многих задач биометеорологии.

На основе метода теплового баланса человека рассчитывается эквивалентно-физиологическая температура для данного места (PET) [17] – температура воздуха, при которой для обычных комнатных условий тепловой баланс человеческого тела остается неизменным со значениями температуры внутренних органов и температуры кожи для данной ситуации. За обычные комнатные принимается следующая совокупность условий: средняя радиационная температура принимается равной температуре воздуха, скорость ветра – 0,1 м/с, парциальное давление водяного пара – 12 гПа.

Критическая оценка биометеорологических индексов

Ввиду большого разнообразия индексов комфортности погодных условий стоит критически подходить к выбору того или иного индекса в каждом конкретном исследовании. В то же время у всех биометеорологических индексов имеются свои достоинства и недостатки. Так, эффективная температура используется только при неподвижном воздухе, что ограничивает сферу применения. Остальные индексы эффективных температур, несмотря на то, что некоторые из них учитывают радиационную составляющую (РЭЭТ), не включают в себя никакой информации о физиологии: не имеют связи с уравнением теплового баланса человека, что является большим минусом данной группы индексов.

Индексы холодного стресса: индекс ветрового охлаждения Сайпла-Пассела, его более поздние модификации, индекс Хилла и др., а также индексы, специально разработанные для определенных сезонов года, могут использоваться только при определенных значениях температуры воздуха. Все эти факторы показывают, насколько данные индексы далеки от универсальности, хотя при определенных целях исследований они могут быть весьма показательны. Недостаток эквивалентно-эффективной температуры по Б.А. Айзенштадту, как и большинства индексов, описанных ранее, применяемого для оценки тепловой нагрузки, заключается в том, что он не учитывает тепловой баланс человека.

Эквивалентно-физиологическая температура является удачным индексом для оценки теплового комфорта в уличных условиях: в нем учтено полное уравнение теплового баланса, температура внутренних органов, интенсивность потоотделения, влажность кожи, а также метеорологические параметры. Данный индекс является универсальным, он может быть использован для всех типов климата и как для каждого индивидуума в отдельности, так и для среднестатистического человека. Но, несмотря на все преимущества этого индекса, существует и недостаток, заключающийся в том, что градации значений эквивалентно-физиологической температуры в литературе приведены для климатических условий

Центральной Европы. Поэтому, чтобы использовать данный индекс либо для людей, адаптированных к другому типу климата, либо для других климатических условий, необходимо провести дополнительные совместные исследования биометеорологов и врачей.

На данном этапе самыми перспективными в плане прогноза комфортности погодных условий являются те показатели, которые учитывают эффект накопления негативного влияния определенных условий. Одним из таких индексов является американский индекс **HSI** (Heat Stress Index), созданный для определения тепловой нагрузки в летнее время года [20]. Отличительной особенностью этого индекса является учет ряда переменных, которые, так же как и основные метеорологические параметры, влияют на теплоощущение: скорость ветра, облачность и солнечная радиация. Кроме того, ни один из разработанных ранее индексов не учитывает аккумуляцию негативного воздействия тепла в течение какого-то периода, например нескольких дней. Расчет HSI производится для каждой декады теплого периода года (1-10, 11-20, 21-31 мая, и т.д. до сентября) для каждой рассматриваемой станции. Десятидневный интервал выбирается для того, чтобы сгладить изменчивость погодных условий в течение месяца (месячные интервалы имеют еще большую изменчивость, особенно в начале и в конце теплого периода).

Градации комфортности погодных условий по значениям индекса HSI представлены в табл. 1. Сейчас в Гидрометцентре России создана статистическая база для расчета HSI для 20 городов Европейской территории России (ЕТР).

Таблица 1

Степени опасности погодных условий по значениям HSI

Значение индекса HSI	Степень опасности
От 9,6 до 10	Экстремальная
От 9,0 до 9,5	Высокая
От 7,0 до 8,9	Средняя
От 4,0 до 6,9	Низкая
От 0,0 до 3,9	Нет

В Пятигорском институте курортологии для оперативного медицинского прогноза для лечебно-оздоровительных учреждений федеральных курортов Кавказских Минеральных Вод совместно с Гидрометцентром России, Институтом физики атмосферы им. Обухова и Северо-Кавказским метеоагентством был разработан интегральный **индекс патогенности погоды** (ИПП) [12], который рассчитывается как усредненная величина индексов патогенности, определенных для различных медико-метеорологических и космических модулей:

$$\text{ИПП} = \Pi [k_1 (\text{ЭЭТ}) + k_2 (\Delta T_{\text{мс}}) + k_3 (\Delta T_{\text{кн}}) + k_4 (\Delta T_{\text{вс}}) + k_5 (\Delta P_{\text{мс}}) + k_6 (\Delta P_{\text{кн}}) + k_7 (V) + k_8 (N) + k_9 (\text{UVI}) + k_{10} (e+\text{ЭЭТ}) + k_{11} (f) + k_{12} (O_2) + k_{13} (\text{осад}) + k_{14} (\text{ИЗА}) + k_{15} (\text{Ар})] / n, \quad (2)$$

где Π – подтип погоды, который оценивается в зависимости от типа атмосферной циркуляции. В принятой на курортах Кавказских Минеральных Вод классификации выделяют следующие подтипы погоды: А – антициклонический; Б – циклонический; В – фронтальный; ЭЭТ – эквивалентно-эффективная температура для нормально одетого человека; $\Delta T_{\text{мс}}$ – межсуточная изменчивость температуры воздуха, °С; $\Delta T_{\text{кн}}$ – отклонения температуры воздуха от климатической нормы для данного дня или промежутка времени, °С; $\Delta T_{\text{вс}}$ – среднесуточная амплитуда температуры воздуха, °С; $\Delta P_{\text{мс}}$ – межсуточная изменчивость давления воздуха, мм рт. ст.; $\Delta P_{\text{кн}}$ – отклонения давления воздуха от климатической нормы, мм рт.ст.; V – скорость ветра, м/с; N – площадь покрытия небосвода нижней облачностью, балл; UVI – индекс ультрафиолетовой солнечной радиации (УФ-В); $(e+\text{ЭЭТ})$ – комплексы упругости водяного пара, гПа, и ЭЭТ, лимитирующие физиологические нагрузки на метеочувствительных больных (явления атмосферной «духоты», перегрева, переохлаждения и др.); f – относительная влажность воздуха, %; O_2 – весовое содержание кислорода в приземной атмосфере, г/м³; осад. – количество осадков, мм; ИЗА – индекс загрязнения атмосферы; Ар – индекс гелиогеомагнитной активности; n – число рассмотренных медико-метеорологических и космических модулей ($n=15$) (k_1 ; k_2 ; k_3 ; k_4 и т.д.).

Величины k_1 ; k_2 ; k_3 ; ... k_n изменяются от 0 до 1.

Величина ИПП изменяется от 0 до 0,94, что позволяет ввести различные градации ИПП, которые согласуются с принятыми в медицине критериями физиологического воздействия (критериями биотропности) на организм человека: индифферентное (0–0,25), слабое (0,26–0,45), умеренное (0,46–0,65), резкое (0,66–0,80), чрезмерно резкое (выше 0,81). Данные градации удовлетворительно согласуются с медицинскими типами и подтипами погоды (табл. 2).

Таблица 2

Схема оценки медицинских типов погоды по величине ИПП

Категория биотропности	Величина ИПП, отн. ед.	Медицинский тип погоды	Медицинская характеристика погоды
Индифферентная	0–0,25	1-й тип погоды	Благоприятная
Слабая	0,26–0,45	2-й тип погоды	Относительно благоприятная
Умеренная	0,46–0,65	2–3-й тип погоды	Относительно благоприятная с

			периодами неблагоприятной
Резкая	0,66–0,80	3-й тип погоды	Неблагоприятная
Чрезмерно резкая	0,81–0,94	4-й тип погоды	Особо неблагоприятная

Прогноз комфортности погодных условий

По данным [7], для оценки погодных условий, осредненных по территории или по времени, рекомендуется использование эффективной и эквивалентно-эффективной температуры. Именно эти индексы были выбраны для прогноза степени комфортности погодных условий для ЕТР.

Эффективная температура. Наиболее часто в отечественной практике употребляется эффективная температура. Она представляет собой температуру неподвижного воздуха, насыщенного водяным паром, в котором человек испытывает субъективно такое же ощущение комфорта, как и в среде, для которой находится эффективная температура.

Одной из наиболее широко используемых формул аналитического определения эффективной температуры является выражение Миссенарда [21]

$$ЭТ = t - 0,4(t - 10)(1 - f / 100), \quad (3)$$

где t – температура сухого термометра, °С; f – относительная влажность, %.

Ценность ЭТ как биоклиматического показателя состоит в том, что его можно использовать как для теплого, так и для холодного сезонов года (табл. 3).

Таблица 3

Теплоощущения человека в зависимости от значений ЭТ (°С) [9]

ЭТ	>30	30...24	24...18	18...12	12...6	6...0
Ощущение	очень жарко	жарко	тепло	умеренно тепло	прохладно	умеренно
Нагрузка	сильная	умеренная	комфортно	комфортно	комфортно	комфортно

ЭТ	0... -12	-12... -24	-24... -30	<-30
Ощущение	холодно	очень холодно	крайне холодно	крайне холодно
Нагрузка	умеренная	сильная угроза обмороживания	очень сильная	чрезвычайно высокая вероятность замерзания

Эквивалентно-эффективная температура. Характеризует теплоощущение человека в тени. На практике оценки ЭЭТ выполняют по номограмме для раздетого и одетого человека, имеющей три входных параметра: температуру воздуха, температуру смоченного термометра и скорость ветра. Следует отметить, что температурой смоченного термометра

удобно пользоваться только при наличии исходных материалов психрометрических наблюдений. При использовании обработанных метеорологических наблюдений (обычно не содержащих этого параметра) необходимо сначала находить ее по величинам упругости пара или относительной влажности, что затрудняет определение ЭЭТ по номограмме. Именно поэтому на основе номограммы ЭЭТ Б.А. Айзенштат [2] предложил следующую формулу для расчета ЭЭТ:

$$\text{ЭЭТ} = t[1 - 0,003 * F] - 0,385V^{0,59} [(36,6 - t) + 0,622(V - 1)] + [(0,0015V + 0,0008)(36,6 - t) - 0,0167]F, \quad (4)$$

где V – скорость ветра, м/с; $F=100-f$, %.

В этой же работе показано, что ошибки расчетов эквивалентно-эффективной температуры по предлагаемой формуле в 93 % случаев не превосходят 1 °С.

Недостатком принятых критериев комфортности биоклиматических индексов является неучет географического положения определенного пункта, а также адаптация человеческого организма к определенным климатическим условиям. Так, очевидно, что влияние высокой температуры воздуха на жителей севера Европейской территории России и Черноморского побережья различно. Подобная «универсальность» шкалы индексов сглаживает региональные различия, но вносит некоторые ошибки при определении комфортности погодных и климатических условий.

В [19] проводится региональный анализ влияния различных метеорологических параметров на смертность из-за погодных условий на территории США.

Примечательной особенностью районирования территории США является то, что наиболее чувствительные к погоде районы континентального севера и прибрежные области Тихого океана отличаются довольно низкими максимальными температурами и небольшим числом дней последовательной жары, а также невысокой степенью дней с аномально жаркой погодой. Наиболее низкий процент смертей, связанных с реакцией на погоду, обнаруживается в районах с самой высокой температурой воздуха летом. Таким образом, можно говорить о том факте, что люди, проживающие в районах, где жаркая погода бывает редко, больше реагируют на высокую температуру воздуха, чем те, где подобные условия являются обычными. Это опять же позволяет сделать вывод о неприменимости стандартных критериев комфортности для таких больших регионов, как, например, Соединенные Штаты Америки и Европейская территория России.

В данной работе производится попытка применения различных биоклиматических индексов для оценки комфортности погодных условий с учетом широтных особенностей.

Изменение влияния температуры воздуха в различных областях ЕТР было создано на основе исследований американских климатологов [20]. Авторы оперируют термином «пороговая температура» – температура воздуха, выше которой происходит увеличение смертности от причин, связанных с погодными условиями. Таким образом, применительно к терминологии, используемой в России, значение пороговой температуры является значением сильного дискомфорта.

Согласно исследованиям, на территории США в летнее время распределение пороговых температур определяется следующим образом: в целом изменение влияния высоких температур подчиняется широтному закону, но в восточных и юго-западных районах, характеризующихся морским климатом, пороговые температуры существенно ниже, чем для территорий, расположенных на той же широте, но отличающихся более континентальными чертами климата. Тем же законам подчиняется и распределение пороговых температур в зимнее время. На основе этих данных было проведено районирование ЕТР (рис. 1).

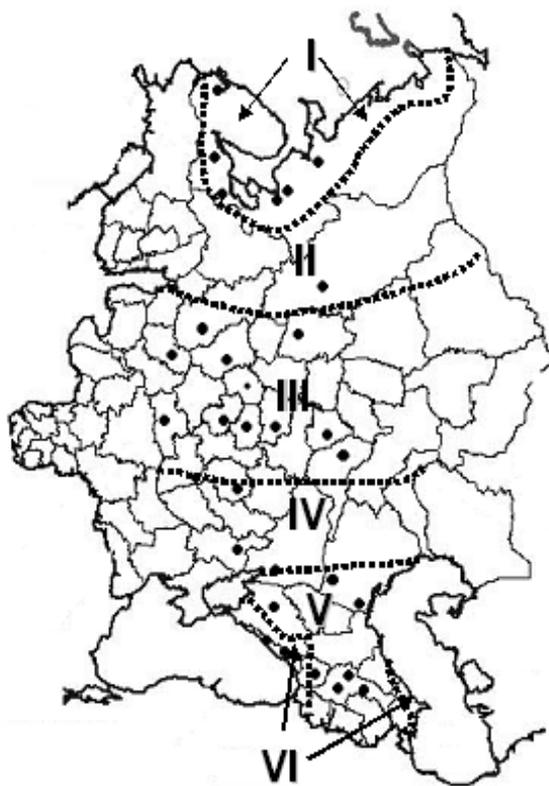


Рис. 1. Районы Европейской территории России по степени комфортности:

I – побережья северных морей; II – континентальный север; III – центральные районы, Верхняя Волга; IV – Черноземье, Средняя Волга; V- Нижняя Волга, Ставрополье, Ростовская область, Северный Кавказ; VI – побережье Черного и Каспийского морей.

Можно говорить о недостаточности подобной классификации. Поскольку температура воздуха является основным параметром для определения ЭТ, то очевидным является тот факт, что для уточнения классификации необходимо рассмотреть широтные вариации этого индекса. Для этого обратимся к исследованиям Стедмена [27, 28] о географическом распределении индекса АТ («apparent temperature», аналогичного ЭТ на территории США).

$$AT = 2,719 + 0,994 * t + 0,016(t_d)^2, \quad (5)$$

где t_d – точка росы, °С.

Согласно Стедмену, изменение АТ, так же как и температуры воздуха, подчиняется широтному закону. Исключением являются прибрежные области, где широтный закон нарушается в связи с условиями, присущими морскому климату, что выражается в более низких значениях индекса из-за повышенной влажности воздуха в этих районах. В прибрежных районах Тихого океана высокая влажность способствует понижению АТ на 1-2 градуса. При этом в континентальных районах юго-востока относительно высокая влажность вызывает повышение АТ вплоть до 4 градусов.

Сопоставив все полученные данные, можно по аналогии создать новые градации комфорта для индекса ЭТ (табл. 4) для районирования ЕТР.

Таблица 4

Региональные особенности теплоощущений человека по значениям ЭТ для ЕТР

Район	Эффективная температура, °С						
	крайне холодно	очень холодно	холодно	прохладно	комфорт	жарко	очень жарко
I	<-15	-14...-5	-4...4	5...11	12...16	17...23	>23
II	<-25	-24...-13	-12...0	0...14	15...19	20...24	>25
III	<-21	-20...-11	-10...0	0...17	18...24	25...30	>31
IV	<-16	-15...-6	-5...4	5...20	21...29	30...35	>36
V	<-10	-9...-2	-1...6	7...21	22...30	31...40	>41
VI	<-8	-7...2	1...9	10...19	20...24	25...30	>31

Для верификации данных градаций был рассмотрен годовой ход индекса ЭТ в 2010 году, рассчитанного на основе среднесуточных станционных данных для пунктов с различным географическим положением. Для примера были взяты Архангельск, находящийся по классификации Б.Л. Алисова [3] в умеренном поясе атлантико-арктического влияния (район I), Москва – умеренно-континентальный климат (район III) и Сочи – средиземноморский сектор субтропического климата (район VI.) Одновременно с этим были

построены ряды температуры и относительной влажности воздуха и оценены уровни комфортности этих элементов в течение 2010 года по градациям.

Для Архангельска (рис. 2а) условия аномально жаркого лета в 2010 году по стандартным значениям температуры воздуха можно отнести к жарким и очень жарким, при этом учет повышенной относительной влажности в индексе ЭТ позволяет говорить о меньшей нагрузке – подобные условия характеризуются жарким дискомфортом и тепловая нагрузка является умеренной. Подобную корректировку в теплоощущение вносит относительная влажность летом и на юге ЕТР (рис. 2б). Противоположный эффект наблюдается в этих районах в зимнее время: насыщенный влагой воздух создает дискомфорт даже при относительно высокой температуре воздуха, что позволяет говорить о целесообразности использования именно комплексного показателя, а не конкретного метеорологического элемента в отдельности. Именно поэтому для регионов, географическое положение которых отличается более частой повторяемостью высоких скоростей ветра (побережья северных морей, Черноморское побережье Кавказа), очевидным является использование для определения комфортности погодных условий показателя ЭЭТ, учитывающего скорость ветра.

Поскольку для расчета ЭЭТ, помимо температуры и влажности воздуха, используется скорость ветра, необходимо также рассмотреть влияние этого параметра на значение индекса. Статистическим путем выявлено, что наибольший «охлаждающий» эффект на теплоощущение (-2°) скорость ветра оказывает в центральных районах США и на побережье. На основе этих данных можно привести новые градации комфорта для индекса ЭЭТ (табл. 5).

Таблица 5

Региональные особенности теплоощущений человека по значениям ЭЭТ для ЕТР

Район	Эквивалентно-эффективная температура, °С						
	крайне холодно	очень холодно	холодно	прохладно	комфортно	жарко	очень жарко
I	<-13	-12...-3	-2...2	3...9	10...14	15...21	>21
II	<-26	-25...-14	-13...-1	0...13	14...18	19...23	>24
III	<-22	-21...-12	-11...0	0...16	17...23	24...29	>30
IV	<-17	-16...-7	-6...3	4...19	20...28	29...34	>35
V	<-12	-11...-4	-3...4	5...19	20...28	29...38	>39
VI	<-10	-9...0	1...7	8...17	18...22	23...28	>30

С учетом новых градаций для оценки теплоощущения в зависимости от погодных условий в Гидрометцентре России в оперативном режиме рассчитывается степень комфортности погодных условий на основе прогностических полей метеорологических элементов с использованием мезомасштабной модели WRF-ARW для ЕТР (с

пространственным разрешением 20x20 км), для территории Кольского полуострова (5x5 км), для Южного федерального округа (10x10 км) с заблаговременностью до 5 суток через каждые 3 часа по 7 градациям, изображенным цветом и изолиниями. На данном этапе прогноз по этим трем областям размещается на сайте лаборатории общей циркуляции атмосферы и климата (МОЦАиК, weatherlab.ru). Примеры подобного прогноза представлены на рис. 3. В дальнейшем планируется прогноз комфортности погодных условий для административных округов г. Москвы с пространственным разрешением 2x2 км.

Влияние погодных условий на смертность

О том, что между болезнями и погодными условиями существует связь, известно давно. Наиболее убедительные зависимости заболеваний от состояния атмосферы были установлены для респираторных болезней [17]. Особенно много внимания уделяется связям погоды с астматическими явлениями. Международная конференция по эпидемиологии, которая прошла в сентябре 2011 года в Центре исследований в области экологической эпидемиологии (Барселона, Испания, <http://www.creal.cat/>), отразила интерес к этой проблеме у ученых (медиков и метеорологов) во всем мире. Большое внимание на конференции было уделено оценке комфортности атмосферных условий.

Так, была обнаружена высокая положительная корреляция индекса эффективной температуры и смертности населения (особенно для людей старше 75 лет) в Пекине в период 2004–2008 гг. [32]. В докладе [22] на основе исследований в Сиднее (Австралия) с 1994 по 2009 год сообщается о значительном увеличении госпитализации людей и смертности от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний во время волн жары. В [14] показано, что при наблюдаемом потеплении климата смертность от заболеваний, чувствительных к повышению температуры воздуха (респираторные и сердечно-сосудистые), будет увеличиваться. Также доказана связь между смертностью и пролонгированным влиянием высокой температуры воздуха в Португалии (Лиссабон и Порту). Именно поэтому для анализа информативности некоторых биоклиматических индексов и метеорологических элементов было решено оценить корреляционные связи между ежедневной смертностью и значениями этих параметров.

Для первоначального исследования был взят Мурманск. Выбор данного города для пилотного исследования обоснован большим интересом в настоящее время к проблеме изменения климата северных территорий [13]. Данные по ежедневной смертности были предоставлены Центром демографии и экологии человека Института народнохозяйственного

прогнозирования РАН. На основе имеющихся данных была проведена оценка связи между смертностью населения от инфарктов и инсультов для различных возрастных групп (30–64 и >65 лет) летом 2003 г. и погодными индексами, описанными выше (ЭТ, ЭЭТ и АТ). Причем ежедневные значения биометеорологических параметров рассчитывались как на основе среднесуточных значений основных метеорологических элементов, так и максимально зарегистрированных за сутки: **daily** – для расчета индекса использовались среднесуточные значения элементов; **max_t** – для расчета индекса использовалось максимальное суточное значение температуры воздуха; **max_wind** – для расчета индекса использовалось максимальное за сутки значение скорости ветра. Коэффициенты корреляции приведены в табл. 6. Обозначения в таблице: инф. – инфаркты; инс. – инсульты.

Таблица 6

Коэффициент корреляции рядов некоторых индексов и ежедневной смертности от инфарктов и инсультов в различных возрастных группах. Мурманск, лето 2003 года

	инф. 30–64	инф. ≥65	инс. 30–64	инс. ≥65
ET(daily)	0,01	0,18	-0,12	-0,01
ET(max_t)	0,02	0,2	-0,1	-0,04
AT(daily)	0,02	0,17	-0,12	-0,01
AT(max_t)	0,02	0,2	-0,1	-0,03
EET(daily)	0	0,3	-0,13	0
EET(max_t)	0,02	0,2	-0,14	-0,12
EET(max_wind)	-0,03	0,32	-0,11	0,03
t, °C	0,02	0,2	-0,12	-0,01
f, %	-0,02	-0,2	0,1	0
t_d, °C	0	0,1	-0,1	0
V, м/с	0	-0,3	0,1	-0,05

Итак, практически у всех индексов, как и у основных метеорологических элементов, корреляционная связь со смертностью от различных причин очень невелика, а в случае с инсультами – часто отрицательная. Также стоит отметить, что корреляция индексов с показателями смертности несколько выше, чем аналогичная корреляция метеоэлементов. При этом индексы, которые рассчитывались по стандартной методике (т.е. с использованием среднесуточных значений необходимых метеоэлементов), в большинстве имеют связь более низкую, чем просто температура воздуха. И только в случае эффективной температуры, которая учитывает максимальную за сутки скорость ветра, были получены самые высокие коэффициенты корреляции для инфарктов в возрастной группе более 65 лет (табл. 6), что позволяет сделать вывод о необходимости учета ветра в расчете степени комфорта погодных условий для северных территорий.

Низкие коэффициенты корреляции в табл. 6 свидетельствуют о непрямой зависимости смертности от различных погодных условий и их сочетаний. Возможно, в подобных исследованиях необходимо учитывать и нагрузку экстремальных погодных условий в течение нескольких дней. Также стоит использовать более сложную статистическую модель смертности, что автор и собирается применить в дальнейшем.

Выводы

В результате исследования проведено районирование Европейской территории России по условиям комфортности погоды: выделены шесть районов с различным влиянием местных климатических особенностей на комфортность погоды. На основе работ Стедмена [27, 28] разработаны новые градации наиболее часто используемых в России для определения комфортности погодных условий комплексных индексов – эффективной температуры и эквивалентно-эффективной температуры, которые позволяют наиболее точно прогнозировать нагрузку меняющихся погодных условий на организм человека. Доказана целесообразность использования индексов, учитывающих скорость ветра, для расчета степени комфортности метеорологических условий для побережий северных морей и Черноморского побережья Кавказа. На основе новых градаций исследуемых индексов создана система прогноза степени комфортности погодных условий для Европейской территории России в целом и для отдельных районов в частности.

Создана и готова к внедрению в оперативную практику система оценки патогенности погодных условий на основе американского индекса HSI, который, помимо основных метеорологических параметров, рассматриваемых при определении комфорта погодных условий, учитывает тепловой режим в дневное и ночное время, эффект накопления тепловой нагрузки, радиационный нагрев и продолжительность периодов экстремальной жары.

Автор выражает благодарность Борису Александровичу Ревичу за предоставленные данные по смертности для Мурманска и за консультации в процессе обработки данных.

Работа выполнена с частичной поддержкой грантов РФФИ 10-08-00493-а, РФФИ "12-05-97014-р_поволжье_a" и FP7-IRSES-"Climseas".

Список использованных источников

1. *Айзенштадт Б.А.* Оценки радиационного влияния различных элементов городской среды на тепловое состояние человека для целей градостроительства // *Строительная климатология*. – М.: Стройиздат, 1987. – № 6. – С. 66–71.

2. *Айзенштадт Б.А.* Метод расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. – 1964. – № 12. – С. 9–16.
3. *Алисов Б.П.* Климат СССР. – М., 1969. – 242 с.
4. *Адаменко В.Н., Хайруллин К.Ш.* Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорация микроклимата застройки // Труды ГГО. – 1973. – Вып. 306. – С. 74–81.
5. *Белкин В.Ш., Полторак Г.И.* Некоторые медико-биологические аспекты изучения горных районов Таджикистана // Съезд географического общества в Душанбе. – Душанбе: Дониш, 1983. – 174 с.
6. *Бокша В.Г., Богоуцкий Б.В.* Медицинская климатология и климатотерапия. – Киев, 1980. – 261 с.
7. *Головина Е.Г., Трубина М.А.* Методика расчетов биометеорологических параметров (индексов). – СПб., 1997. – 110 с.
8. *Бреус Т.К., Раппопорт С.И.* Магнитные бури: медико-биологические и геофизические аспекты. – М.: Советский спорт, 2003. – 192 с.
9. *Исаев А.А.* Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001. – 456 с.
10. *Кобышева Н.В., Стадник В.В., Ключева М.В. и др.* Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики. – СПб, 2008. – 336 с.
11. *Осокин И.М.* О суровости зимы в северной Евразии // Проблемы регионального зимоведения. Вып.2. – Чита: Забайкальск. географическое общество СССР, 1968. – 214 с.
12. *Поволоцкая Н.П., Голицын Г.С., Гранберг, И. Г., Ефименко Н.В., Жерлицина Л.И., Рубинштейн К.Г., Сенник И.А., Васин В.А., Ткачук С.В., Артамонова М.С., Кириленко А.А., Козлова М.Д., Кортунова З.В., Погарский Ф.А., Максименков Л.О.* Новая классификация индексов биотропности в интегральном индексе патогенности погоды на курортах Кавказских Минеральных Вод для медицинского прогноза погоды // НПК «Актуальные вопросы курортологии, восстановительной медицины и профпатологии». – Пятигорск, 2010. – С. 69–72.
13. *Ревич Б.А., Малеев В.В.* Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.
14. *Almeida S., Casimiro E., Calheiros J.* Effects of apparent temperature on daily mortality in Lisbon and Oporto // Portugal. Environmental Health. – 2010. – V. 9. – P. 45–56.
15. *Epstein Yo., Moran D.S.* Thermal comfort and the Heat Stress Indices // Industrial Health. – 2006. – Vol. 44. – P. 388–398.
16. *Hill L.E., Angus T.C., Newbold E.M.* Further experimental observations to determine the relations between kata cooling powers and atmospheric conditions // J. Ind. Hyg. – 1958. – Vol. 10. – P. 391–407.
17. *Höppe P.* The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment // Int. J. Biometeorol. – 1999. – V. 43. – P. 71–75.

18. *Houghton F.C., Yaglou C.P.* Determining equal comfort lines // *J. Am. Soc. Heat. Vent. Engrs.* – 1923. – V. 29. – P. 165–176.
19. *Kalkstein L.S., 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. – V. 79. – N. 1. – P. 44–64.
20. *Kalkstein L.S.* Biometeorology – looking at the links between weather, climate and health // *WMO. Bulletin.2.* – 2001. – V. 50. – P. 1–6.
21. *Missenard A.* L'Homme et le climat. – Paris, 1937. –186 p.
22. *Morgan G., Sheppard V., Khalaj B. et al.* Effects of bushfire smoke on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia // *Epidemiology.* – 2010. – V. 21. – N. 1. – P. 1–9.
23. *Osczevski R., Bluestein M.* The New Wind Chill Equivalent Temperature Chart // *Bulletin of the American Meteorological Society.* – Oct. 2005. – V. 86. – P. 1453–1458.
24. *Siple P.A., Passel C.F.* Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures // *Proc. Amer. Phil. Soc.* – V. 89. – P. 177–199.
25. *Sheridan S.C., Kalkstein L.S.* Progress in heat watch-warning system technology // *American meteorological society.* – 2004. – V. 85. – P. 1931–1941.
26. *Sofiev M., Siljamo P., Ranta H., Rantio-Lehtimäki A.* Towards numerical forecasting system of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and feasibility study // *Int J. Biometeorology.* – 2006. – V. 50. – P. 392–402.
27. *Steadman R G.* The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity index based on Human physiology and clothing science // *Journal of Applied Meteorology.* July 1979. – V. 18. –P. 861–873.
28. *Steadman R.G.* The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature // *Journal of Applied Meteorology.* – July 1979. – V. 18. – P. 874–885.
29. *Steadman R.G.* Norms of apparent temperature in Australia // *Aust. Met. Mag.* – 1994. – V. 43. – P. 1–16.
30. *Thom, E.C.* The Discomfort Index // *Weatherwise.* – 1959. – V. 12. – P. 57–60.
31. *Wilson E.O., MacArthur R.H.* The Theory of Island Biogeography. – 1967. – 220 p.
32. *Weiwei Y., Mengersen K., Wang X., Xiaofang Y., Guo Y., Pan X., Tong S.* Daily average temperature and mortality among the elderly: a meta-analysis and systematic review of epidemiological evidence // *Int. J. of Biometeorology.* – 2011. – V. 10. – P. 43–51.

Поступила в редакцию 25.05.2012 г.

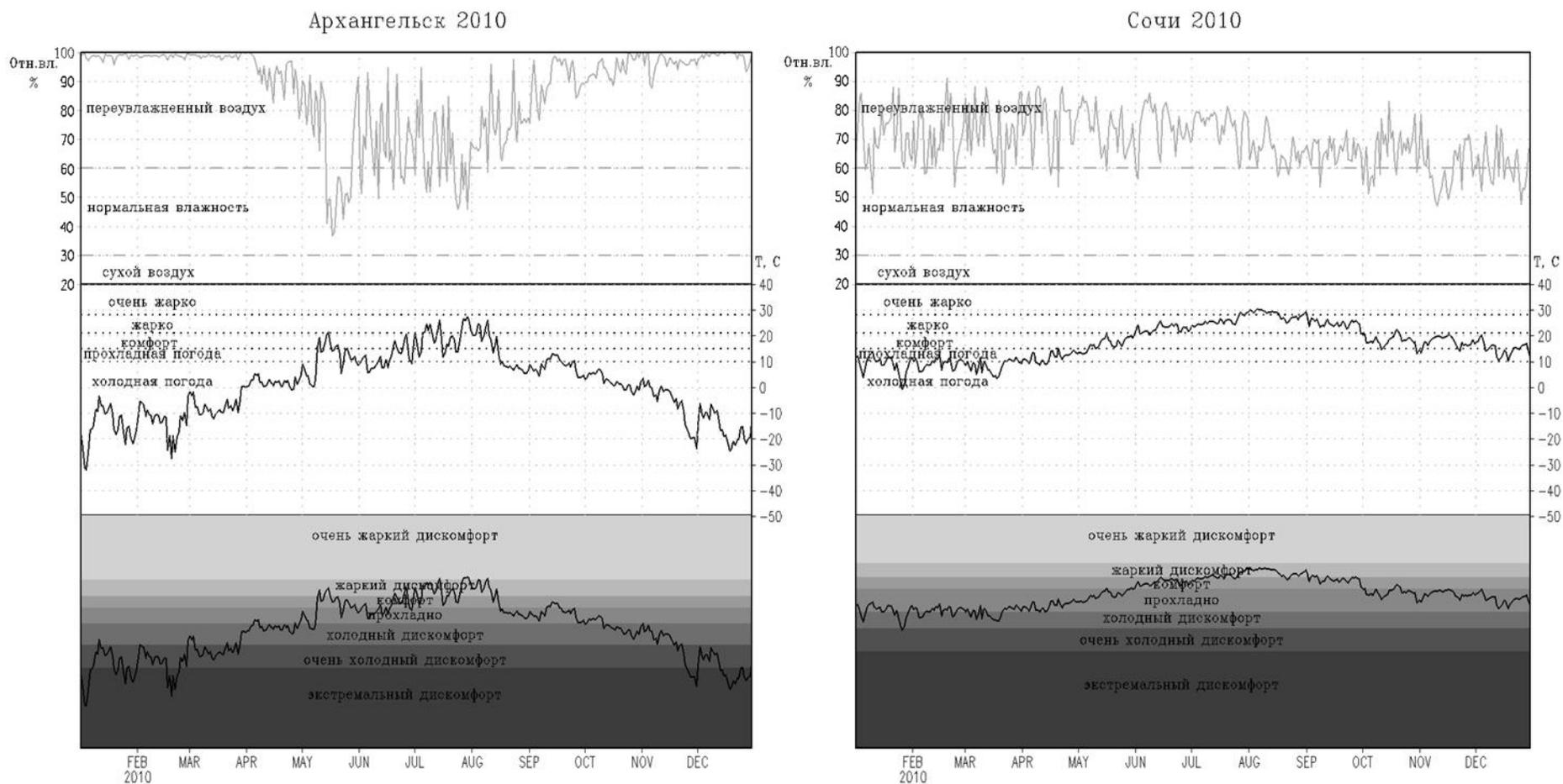


Рис. 2. Годовой ход степени комфортности погодных условий по значениям: относительной влажности, температуры воздуха и индекса ЭТ в 2010 году: Архангельск (слева), Сочи (справа).

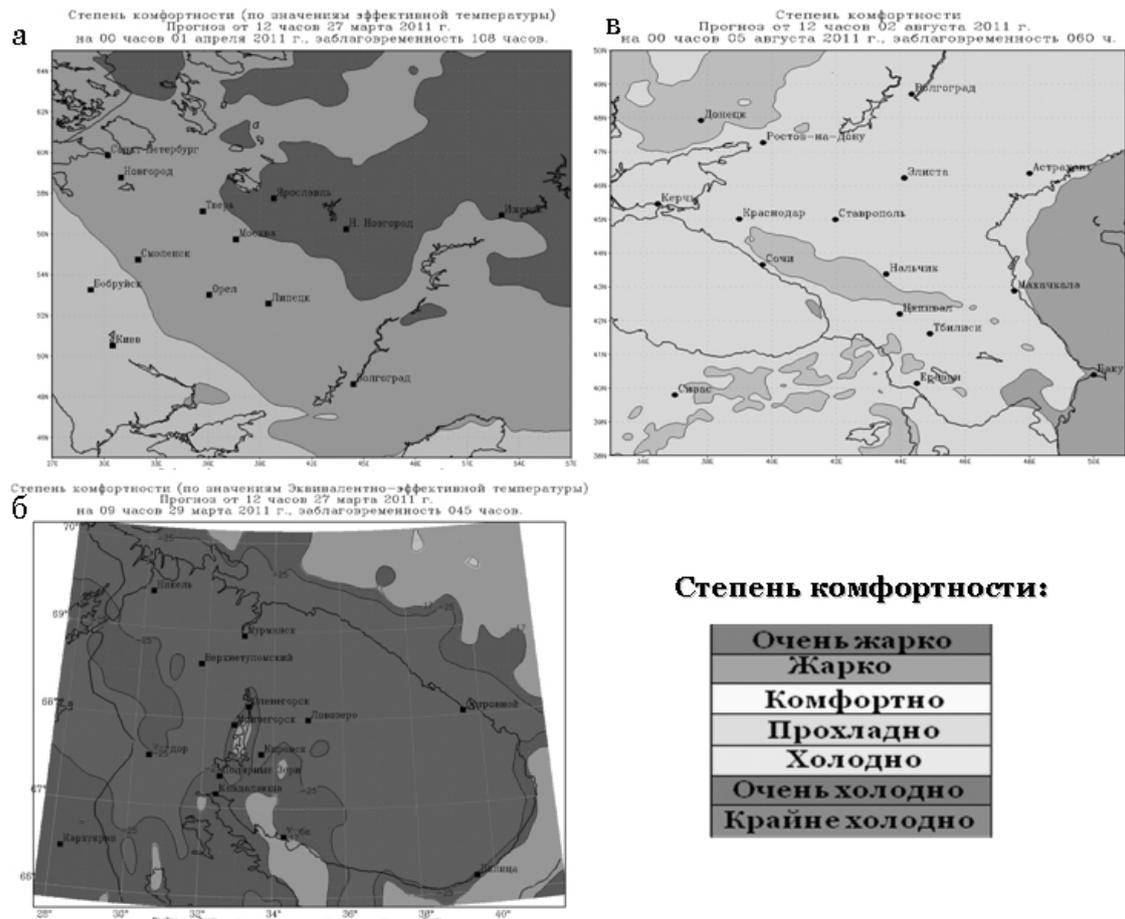


Рис. 3. Пример прогноза степени комфортности погодных условий: ЕТР (а), Кольский полуостров (б), Кавказский регион (в).