

Физико-географические исследования

УДК 551.586

Ю.П. Переведенцев, Р. Занди, Т.Р. Аухадеев, К.М. Шанталинский

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА ЧЕЛОВЕКА В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО ИРАНА

Приведен обзор биометеорологических индексов, используемых при оценке комфортности условий погоды и климата. Выполнены расчеты эффективной и эквивалентно-эффективной температуры для 13 пунктов провинции Хузестан, расположенной в юго-западной части Ирана, за 20-летний период (1994–2013 гг.). Индексы жесткости погоды и патогенности позволили охарактеризовать степень влияния изменчивых погодных условий на функциональное состояние организма человека, выявить пространственно-временные вариации биоклимата в современный период. Согласно индексу Стедмена в летний период на всей территории Хузестана возникает экстремальный риск термической опасности. Обнаружена тенденция усиления тепловых нагрузок на человека в летние месяцы в условиях провинции Хузестан, что усугубляет положение в связи с увеличением частоты возникновения пыльных бурь в этом регионе. Комфортные условия отмечаются лишь в апреле и ноябре. Преобладают положительные значения коэффициентов наклона линейного тренда большинства биометеорологических индексов (за исключением зимних месяцев), что свидетельствует об ухудшении климатических условий лета.

Ключевые слова: биоклимат, биоклиматические индексы, эффективная температура, индекс патогенности, зона комфорта, тепловой стресс, здоровье человека.

Погода и климат оказывают как прямое воздействие на здоровье человека через заболевания, связанные с экстремальными температурами, опасными и катастрофическими явлениями погоды, загрязнением воздуха, так и косвенное, связанное с нехваткой или загрязнением питьевой воды, пищи и т. д. К экстремальным климатическим событиям относятся увеличение количества жарких дней и тепловых волн, интенсивные осадки, увеличение риска засух, увеличение повторяемости сильных ветров и тропических циклонов [1]. Все это происходит на фоне современных глобальных и региональных изменений климата, отраженных в работах [2-4].

Авторы работы [5] пришли к выводу, что будущие воздействия изменений климата на здоровье человека будут преимущественно отрицательными. Они будут особенно тяжелыми в странах с низким доходом, где способность к адаптации наиболее слаба. Адаптационные стратегии должны уменьшить некоторые из неблагоприятных воздействий.

В специальной литературе уделяется достаточно серьезное внимание проблеме изменения здоровья населения в условиях меняющегося климата и особенно в экстремальных метеорологических условиях. Так, в работе [6] представлен анализ изменения здоровья населения России в условиях меняющегося климата. Показано, что в июле 2001 г. в Москве в период продолжительной тепловой волны, во время которой среднесуточная температура в течение 9 последовательных дней превышала пороговую (25°C), суточная смертность в максимуме этой волны достигла рекордно высокого значения – она превысила среднее многолетнее значение смертности для июля на 93 % (абсолютная дополнительная смертность во время рассматриваемой тепловой волны составила 1177 случаев). Гибельные последствия жары августа 2003г. отмечены во Франции, а жаркого лета 2010 г. – в Москве [7].

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 [8]. Так, оценку воздействия высоких температур и повторяемости душных погод на человека рекомендуется проводить с использованием эффективной температуры TE , впервые предложенной в работе [9] и представленной в виде формулы [10]

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

где T – температура воздуха, °C; f – относительная влажность воздуха, %.

Эффективная температура – температура насыщенного влагой воздуха, которая будет давать то же ощущение комфорта (дискомфорта), что и реальная температура окружающего воздуха с опреде-

ленным уровнем влажности [11]. Для оценки теплового стресса на основании эффективной температуры используется ее следующая классификация [1; 12]: выше 30 °С – сильные тепловые нагрузки, от 30 до 24 °С – умеренные тепловые нагрузки, от 24 до 18 °С – «тепло», от 18 до 12 °С – «умеренно тепло», от 12 до 6 °С – «прохладно», от 6 до 0 °С – «очень прохладно». Зона комфорта по значениям эффективной температуры находится в пределах значений индекса 22,5–24,5.

Из формулы (1) следует, что при температуре воздуха ниже 10 °С сухой воздух кажется теплее, чем влажный, а при температуре выше 10 °С, наоборот – холоднее.

Как следует из [8], группа американских ученых провела сравнительный анализ нескольких широко используемых алгоритмов расчета эффективной температуры и пришла к выводу, что наиболее полным является алгоритм, доработанный Стедменом в 1994 г. [13]. Для разработки этой модели были проведены лабораторные исследования с использованием широкого ряда биометрических измерений, 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. Формула Стедмена имеет вид

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

где T_d – температура точки росы (°С).

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

По формуле (1) с использованием среднемесячных значений температуры и относительной влажности за период 1994–2013 гг. (20 лет) были рассчитаны среднемесячные значения TE для 13 метеорологических станций провинции Хузестан.

Таблица 1

Средняя месячная эффективная температура (°С) в Хузестане

Населенный пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дизфуль	11,6	13,1	16,2	20,7	24,8	27,6	29,2	29,1	26,1	22,8	17,3	13,1
Сафи Абад	11,7	13,3	16,4	20,6	24,4	27,0	28,5	28,6	25,7	22,4	17,2	13,2
Шуштер	13,1	14,9	18,0	22,2	26,1	28,4	29,7	29,8	27,0	23,7	18,6	14,5
Месджеде-Солейман	11,9	13,5	16,6	20,9	24,6	27,3	28,9	28,8	26,0	22,7	17,5	13,6
Изе	9,7	11,1	13,8	17,5	21,6	24,7	26,5	26,4	23,4	20,0	15,0	11,5
Бостан	11,6	13,6	17,0	21,4	25,0	27,3	28,6	28,5	25,7	22,4	16,9	12,7
Ахваз	12,8	14,7	17,9	22,2	25,8	28,1	29,6	29,9	26,9	23,7	18,2	14,0
Рамхормоз	13,0	14,7	17,8	22,1	25,9	28,3	29,6	29,8	27,1	23,8	18,4	14,4
Агаджери	13,1	14,8	18,0	22,4	25,9	27,9	29,4	29,8	26,9	23,6	18,3	14,3
Бехбехан	11,8	13,5	16,4	20,6	24,3	26,6	28,2	28,4	25,4	22,1	17,0	13,2
Махшехр	12,7	14,6	17,9	22,2	25,9	28,1	29,6	29,7	26,8	23,7	18,0	13,8
Омидийе	12,5	14,5	17,8	22,5	26,5	29,0	30,3	30,8	27,6	24,2	18,4	13,9
Абадан	12,9	14,8	18,2	22,5	26,1	28,3	29,4	29,8	27,1	24,2	18,3	14,0
СРЕДНЕЕ	12,2	13,9	17,1	21,4	25,1	27,6	29,0	29,2	26,3	23,0	17,6	13,5

В табл. 1 представлены осредненные за 20-летний период среднемесячные значения эффективной температуры, распределение которой по территории Хузестана достаточно однородное, за исключением высокогорной станции Изе, расположенной на высоте 767 м, где значения ниже, чем на других станциях. Как видно из табл. 1, максимальные значения TE наблюдаются в период май-сентябрь (изменения от 24,3 °С (Бехбехан) до 30,8 °С (Омидийе)), что соответствует теплоощущению «жарко». При этом в июле и августе данные ст. Омидийе относятся к классу «очень жарко». Комфортные условия по значениям эффективной температуры отмечаются лишь в октябре. В остальные месяцы, за исключением января, «умеренно тепло». Следует отметить, что межгодовая изменчивость TE невелика: среднее квадратическое отклонение (СКО) σ в течение года меняется в пределах

0,6–1,7 °С, разница между максимальными и минимальными значениями в январе в течение 20-летнего периода составляет 4,0–5,8 °С.

Так как распределение средних месячных температур \bar{T} близко к нормальному, то можно считать что в пределах $\bar{T} \pm 2\sigma$ укладывается около 95 % всех ее значений.

Для выделения систематической составляющей изменений эффективной температуры для всех месяцев года были построены линейные тренды для всех метеостанций:

$$y(\tau) = a\tau + \epsilon, \quad (3)$$

где $y(\tau)$ – сглаженное значение температуры на момент времени τ ($\tau = 1, 2, 3, \dots, n$), a – угловой коэффициент наклона линии тренда (КНЛТ), характеризует скорость изменения температуры, ϵ – свободный член. Положительное значение коэффициента a указывает на рост температуры (потепление климата), а отрицательное – на похолодание климата.

Статистическая значимость линейного тренда оценивалась с помощью критерия Стьюдента и по величине квадрата коэффициента корреляции R^2 (коэффициент детерминации). Величина R^2 показывает, каков вклад линейного тренда в общую изменчивость температуры. Тенденция изменения температуры считалась статически значимой, если ее уровень достоверности был равен или превышал 95 % ($p \geq 0,95$). При объеме выборки 50 лет и более это соответствует величине $R^2 > 0,08$ [14]. Величину R^2 обычно выражают в %, и чем больше ее значение, тем больше статистическая значимость длительных однонаправленных изменений, описываемых данным трендом. При $R^2 > 30\%$ факт присутствия этих изменений не подвергается сомнению.

Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) для эффективной температуры достигает 1,2 °С/10 лет (ст. Шуштер, июнь). Повсеместно преобладают положительные значения КНЛТ, что свидетельствует об ухудшении условий летнего периода региона. Как правило, значения R^2 указывают на статистически значимые изменения.

Согласно формуле Стедмена в летний период на всей территории Хузестана возникает экстремальный риск термической опасности. Положение усугубляется наличием пыльных бурь и отсутствием атмосферных осадков. Как показано в [15; 16], в июле в провинции Хузестан наблюдается наибольшее число дней с пыльными бурями.

По эффективным температурам оцениваются также категории опасности при тепловом синдроме [17], которые соответствуют тепловому воздействию на человека при различных индексах жары HI, рассчитанных по температуре и влажности воздуха [18], что актуально в жарких странах Персидского залива.

Таблица 2

Категории опасности при тепловом синдроме в зависимости от эффективной температуры

TE, °С	Тепловой синдром и его следствия	Категория опасности
Выше 54	Непосредственная угроза теплового или солнечного удара	Чрезвычайная опасность
40–54	Вероятность солнечного удара, тепловых спазмов или теплового истощения Возможность теплового удара при длительном воздействии и физической деятельности	Опасность
32–40	Возможность солнечного удара, тепловых спазмов и теплового истощения при длительном воздействии и физической деятельности	Чрезвычайная осторожность
27–32	Возможность повышенной утомляемости при длительном воздействии и физической деятельности	Осторожность

Наряду с эффективной температурой широко используется эквивалентно-эффективная температура (ET), представляющая собой сочетание метеорологических величин, производящих тот же тепловой эффект, что и неподвижный воздух при 100 % относительной влажности и определенной температуре и оценивает теплоощущения обнаженного по пояс человека. Величина ET рассчитывается по формуле А. Миссенарда [11; 18]:

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

где t – температура воздуха, °С; f – влажность, %; V – скорость ветра (м/с) на высоте 1,5 метра.

Установлено, что данный показатель наиболее хорошо отражает влияние климатических условий на состояние человека. Изменение ряда физиологических функций организма идет параллельно с изменением значений эквивалентно-эффективной температуры ET .

В работе [19] приводится классификация ET , позволяющая оценить теплоощущения человека.

Таблица 3

Классификация тепловой чувствительности по значениям ET – эквивалентно-эффективной температуры

Интервал эквивалентно-эффективной температуры, ° ET	Уровень комфорта
Более +30	Тепловая нагрузка сильная
24 ... 30	Тепловая нагрузка умеренная
18 ... 24	Комфортно-тепло
12 ... 18	Умеренно тепло
6 ... 12	Прохладно
0 ... 6	Умеренно-прохладно
Менее 6	Холодный дискомфорт

Для оценки биоклимата предложены методики определения влияния различных метеорологических комплексов (температура – влажность воздуха, температура – скорость ветра, температура – атмосферное давление, влажность воздуха – атмосферное давление) на обнаженное тело человека или на человека в одежде с различными теплозащитными свойствами [20].

С помощью уравнения теплового баланса можно описать теплообмен человека, незащищенного одеждой, с окружающей средой [19]:

$$T \pm R \pm P - LE - d = \pm Q, \quad (5)$$

где T – теплопродукция человека, R – радиационный баланс, P – турбулентный теплообмен между телом и окружающим воздухом, L – скрытая теплота парообразования, E – испарение с поверхности тела, d – потеря тепла органами дыхания, Q – интенсивность дефицита (знак «–») или избытка (знак «+») тепла в организме человека.

Исследования показали, что в подвижном воздухе (при $V > 0,2$ м/с) интенсивность теплоотдачи усиливается, порядок уровня и структура теплоощущения изменяются. И здесь возможны самые разнообразные сочетания T °С, V м/с, f %, при которых степень теплоощущения будет одинакова и соответствовать теплоощущениям при полном насыщении влагой воздуха ($f = 100$ %) и полном отсутствии ветра ($V = 0$). В табл. 4 приводятся три таких сочетания (T, V, f) [11].

Таблица 4

Сочетания значений температуры воздуха, относительной влажности и скорости ветра при одинаковой степени теплоощущения

Температура воздуха (°С)	Относительная влажность (%)	Скорость ветра (м/с)
17,8	100	0
22,4	70	0,5
25,0	20	2,5

В России для совместной оценки воздействия T, f и V используется так называемая эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ), предложенная Б.А. Айзенштамом [20]:

$$\begin{aligned} ЭЭТ = T[1 - 0,003(100 - f)] - 0,385V^{0,59}[(36,6 - T) + 0,622(V - 1)] + \\ + [(0,0015V + 0,008)(36,6 - T) - 0,0167](100 - f). \end{aligned} \quad (6)$$

В табл. 5 приведены категории теплоощущений, комфортности, границы зоны охлаждения и перегрева эквивалентно-эффективной температуры.

Наибольший интерес представляет зона комфорта. Ее можно определить как совокупность метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, удерживает нормальный теплообмен, сохраняет нормальную температуру тела и не выделяет пота. По повторяемости оценок ЭЭТ в пределах 17–22 °С определяют потенциальные климатические ресурсы местности: менее 30 % – минимальные, 30–50 % – достаточные, 50–70 % – оптимальные, более 70 % – наиболее оптимальные.

Таблица 5

Категории теплоощущения в градусах ЭЭТ в условиях умеренных широт

Категория теплоощущения	ЭЭТ для раздетого человека	ЭЭТ для одетого человека
Комфортно	17,3 – 21,7	16,7 – 20,6
Зона охлаждения	ниже 17,3	ниже 16,7
Зона перегрева	выше 21,7	выше 20,6

Расчеты эквивалентно-эффективной температуры по формулам Миссенарда и Айзенштата позволили классифицировать периоды внутри года (табл. 6, 7). Так, согласно расчетам по формуле (4) с мая по сентябрь тепловая нагрузка умеренная (сильная в июле–августе на ряде станций), в марте–апреле умеренно тепло, в октябре комфортно, в январе–феврале прохладно. По Айзенштату, ЭЭТ выше 21 °С в мае–октябре, что свидетельствует о перегреве, комфортно в апреле и ноябре, в декабре–феврале устанавливается период охлаждения.

Величины СКО рассматриваемых показателей невелики, тенденции изменения *ET* и ЭЭТ в летний период положительны, в декабре и январе на ряде станций значения КНЛТ отрицательны.

Для оценки суровости погоды и климата в работе В.В. Виноградовой [1] были выбраны индексы влажного охлаждения по Хиллу и сухого ветрового охлаждения по Бодману, так как они, как это показал корреляционный анализ, являются наиболее независимыми по сравнению с другими. Оценка их чувствительности к изменению входящих в них метеорологических величин показала, что они лучше других реагируют на изменения температуры воздуха и скорости ветра, особенно при отрицательных и близких к нулю температурах, что очень важно для характеристики суровости климата в зимнее время и переходные сезоны.

Таблица 6

Средняя месячная эквивалентно-эффективная температура по Миссенарду

Населенный пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дизфуль	9,1	10,4	13,7	18,8	23,7	27,4	29,3	29,1	25,7	21,8	15,9	11,5
Сафи Абад	9,3	11,0	14,1	18,8	23,3	26,7	28,5	28,5	25,3	21,5	16,0	11,5
Шуштер	9,6	11,1	14,5	19,8	25,4	28,5	30,2	30,2	26,7	22,6	16,2	11,8
Месджеде-Солейман	9,8	11,0	14,0	18,8	23,7	27,2	29,2	29,1	25,5	21,7	15,9	11,9
Изе	6,5	7,4	10,6	14,9	19,8	23,8	26,1	25,9	22,2	18,0	12,6	8,8
Бостан	5,4	7,9	12,3	18,3	23,6	26,7	28,5	28,4	24,6	20,3	12,9	6,9
Ахваз	8,7	10,7	14,5	20,1	25,0	28,1	30,0	30,2	26,4	22,6	15,7	10,5
Рамхормоз	9,3	11,0	14,7	20,0	25,2	28,5	30,1	30,2	26,8	22,8	16,1	11,1
Агаджери	8,6	10,2	14,2	20,0	25,0	27,8	29,7	30,1	26,3	22,2	15,3	10,5
Бехбехан	9,8	10,8	14,0	18,8	23,4	26,3	28,2	28,4	24,8	21,2	15,6	11,7
Махшехр	7,1	9,4	13,6	19,4	24,7	27,7	29,7	29,7	25,8	21,8	14,3	8,7
Омидийе	7,7	9,7	13,7	19,9	25,5	28,8	30,5	31,0	27,0	22,6	15,1	9,9
Абадан	8,5	10,3	14,6	20,1	25,2	28,2	29,6	30,0	26,5	22,7	15,3	10,0
СРЕДНЕЕ	8,4	10,1	13,7	19,0	24,1	27,4	29,2	29,3	25,7	21,7	15,1	10,4

Таблица 7

Средняя месячная эквивалентно-эффективная температура по Айзенштату

Населенный пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дизфуль	8,3	10,9	14,5	19,9	24,3	26,4	27,6	27,7	25,9	23,1	16,9	11,1
Сафи Абад	8,2	11,5	14,7	19,7	24,1	26,0	27,1	27,4	25,6	22,8	17,2	10,9
Шуштер	9,2	12,3	16,2	20,9	24,7	26,0	27,0	27,3	25,6	23,5	18,3	12,5
Месджеде-Солейман	9,6	12,1	15,7	20,5	24,1	25,5	26,5	26,6	25,2	23,3	17,9	12,3
Изе	7,2	9,1	12,5	17,3	21,8	23,8	25,0	24,9	23,2	20,8	15,8	10,2
Бостан	2,4	7,2	12,6	18,8	23,5	25,1	26,2	26,4	24,4	21,5	14,0	4,6
Ахваз	7,9	11,6	16,1	21,2	24,7	26,0	27,2	27,9	25,8	23,5	17,2	10,3
Рамхормоз	9,4	12,5	16,8	21,4	24,6	26,0	27,1	27,5	25,7	23,7	18,3	12,1
Агаджери	7,3	10,6	15,5	20,8	24,3	25,7	27,0	27,8	25,6	23,1	16,8	9,8
Бехбехан	9,7	12,0	16,0	20,6	24,0	25,2	26,3	26,9	25,0	23,0	18,0	12,7
Махшехр	5,0	9,4	14,3	19,9	24,0	25,5	27,1	27,7	25,1	22,2	15,1	7,1
Омидийе	5,2	8,7	13,8	20,1	24,8	27,0	28,3	29,2	26,4	23,0	15,2	8,0
Абадан	7,7	11,1	15,9	20,9	24,8	25,9	26,8	27,6	25,7	23,3	16,4	9,6
СРЕДНЕЕ	7,5	10,7	15,0	20,1	24,1	25,7	26,9	27,3	25,3	22,8	16,7	10,1

Индекс влажного ветрового охлаждения по Хиллу рассчитывается по формуле:

$$H_w = H_d + (0,085 + 0,102v^{0,3})(61,1 - e)^{0,75}, \quad (7)$$

где $H_d = (0,13 + 0,47 v^{0,5})(36,6 - t)$; v – скорость ветра, м/с; t – температура воздуха, °С; e – влажность воздуха, гПа. Размерность H_w выражается в Вт/м². Здесь H_d – индекс ветрового (сухого) охлаждения. Теплоощущения по значениям H_d делятся на: менее 0,35 – жарко; 0,6–0,9 – комфортно; более 1,7 – холодно; более 2,3 – экстремально холодно.

Ветровой индекс охлаждения рассчитывается также по формуле Сайпла-Пассела:

$$H = (10,45 + 10 V^{0,5} - V)(33 - T) \text{ (Вт/м}^2\text{)}. \quad (8)$$

Биоклиматический индекс H_w характеризует интенсивность потери тепла материальным телом или человеческим организмом в воздушном потоке с определенными температурой и влажностью. При невысоких положительных, а также отрицательных температурах воздуха влажный ветровой поток усиливает дискомфортное состояние человеческого организма. При высоких положительных температурах воздействие влажного ветрового потока уменьшает состояние дискомфорта человека [21].

Величина сухого ветрового охлаждения H_d представлена в табл. 8, из которой следует, что в зимний период (декабрь-февраль) достигается максимум эффекта, а в период с мая по сентябрь значения H_d невелики и в летний период (июль-август) преобладают небольшие отрицательные значения из-за высоких температур, превосходящих температуру здорового человека в 36,6 °С. СКО величины H_d меняются в пределах 0,5–3,0 Вт/м². Преобладают отрицательные значения КНЛТ для ветрового охлаждения, что свидетельствует об ослаблении ветрового охлаждения на территории Хузестана.

Индекс жесткости погоды учитывает совместное действие ветра и низкой температуры, определяющих условия, способствующие обморожению, и определяется по формуле Бодмана [22]:

$$B = (1 - 0,04 t)(1 + 0,272 v), \quad (9)$$

где t – температура воздуха в °С, v – скорость ветра в м/с.

Кроме формулы Бодмана в практике используется коэффициент «жесткости погоды» T по Арнольди [19] – эмпирический показатель, в соответствии с которым увеличение скорости ветра на 1 м/с условно приравнивается к понижению температуры воздуха на 2 °С и рассчитывается по формуле:

$$T = t - 2V, \quad (10)$$

где t – температура воздуха в °С, V – скорость ветра в м/с.

Таблица 8

Средние месячные значения величины сухого ветрового охлаждения

Населенный пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Дизфуль	12,8	12,7	11,2	8,3	4,2	1,0	-0,3	-0,1	2,4	5,3	8,9	10,7
Сафи Абад	12,6	12,0	10,7	8,1	4,5	1,4	0,2	0,5	2,8	5,5	8,5	10,9
Шуштер	14,0	14,1	12,5	8,4	2,7	-0,7	-2,1	-1,8	1,2	4,9	10,0	12,2
Месджеде-Солейман	12,1	12,3	11,3	8,3	3,8	0,3	-1,3	-1,0	2,0	5,2	9,1	10,6
Изе	15,1	15,3	13,5	10,8	7,3	3,4	1,5	1,7	4,9	8,5	11,5	13,5
Бостан	19,4	18,5	15,3	10,4	5,0	1,7	0,1	0,4	3,8	7,7	14,0	18,4
Ахваз	15,2	14,7	12,2	7,8	3,1	0,1	-1,5	-1,1	2,0	5,2	10,4	13,7
Рамхормоз	14,5	14,1	11,6	7,7	2,5	-0,8	-1,9	-1,8	1,1	4,6	10,0	13,2
ериАгадж	15,8	16,0	13,2	8,4	3,4	0,2	-1,2	-0,9	2,2	5,8	11,3	14,2
Бехбехан	12,0	12,6	10,9	8,0	4,0	1,2	-0,2	0,2	2,8	5,4	8,9	10,5
Махшехр	18,0	17,4	14,3	9,4	4,1	1,0	-0,5	0,1	3,3	7,0	13,0	16,8
Омидийе	16,4	16,0	13,7	8,9	3,7	0,5	-0,9	-0,7	2,5	6,0	11,8	14,6
Абадан	15,8	15,6	12,7	8,2	3,3	0,2	-1,0	-0,8	2,3	5,7	11,2	14,7
СРЕДНЕЕ	14,9	14,7	12,5	8,7	4,0	0,7	-0,7	-0,4	2,6	5,9	10,7	13,4

Климатическая оценка характеристик суровости должна использоваться при разработке нормативов регламента работы на открытом воздухе. В холодную часть года при морозной и ветреной погоде продолжительность работ на открытом воздухе сокращается или вовсе приостанавливается.

Индекс патогенности метеорологической ситуации I , предложенный В.Г. Бокшей [23], используется для оценки степени раздражающего действия изменений погоды на организм. Этот индекс представляет собой сумму индексов патогенности разных метеорологических величин:

$$I = I_t + I_h + I_v + I_n + I_{\Delta p} + I_{\Delta t}, \quad (11)$$

где I_t – индекс патогенности температуры воздуха; $I_t = 0,2 (18 - t)^2$ при t меньше или равной 18°C ; $I_t = 0,02 (t - 18)^2$ при $t > 18^\circ\text{C}$; t – среднесуточная температура, $^\circ\text{C}$; $I_{\Delta t}$ – индекс патогенности межсуточного изменения температуры Δt ; I_h – индекс патогенности влажности воздуха; h – среднесуточная относительная влажность (%); I_v – индекс патогенности ветра; v – среднесуточная скорость ветра (м/с); I_n – индекс патогенности облачности, которую определяют по 11-балльной системе: 0 соответствует полное отсутствие облаков, 10 баллов – сплошная облачность, n – балл облачности; $I_{\Delta p}$ – индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления Δp .

В.Г. Бокша предложил следующую рабочую формулу для расчета индекса патогенности метеорологической ситуации (баллы):

$$I = 10^{\frac{h-70}{20}} + 0,2v^2 + 0,06n^2 + 0,06(\Delta p)^2 + 0,3(\Delta t)^2 + I_t. \quad (12)$$

Ряд исследователей пришли к выводу о том, что комфортные условия, при которых возникает минимум метеопатических реакций, определяются следующими значениями метеорологических величин: температурой воздуха 18°C , относительной влажностью 50 %, скоростью ветра 0 м/с, облачностью 0 баллов, межсуточными изменениями температуры и давления, равными нулю.

В.Г. Бокша [23] приводит следующие три градации индекса патогенности метеорологической ситуации:

Индекс патогенности (I)	0–9	10–24	> 24
Условия погоды	Оптимальные (комфортные)	Раздражающие	Острые

Следует отметить, что воздействие пыльных бурь на человека усугубляет положение, так как частицы пыли могут проникать в дыхательные пути и оседать в легких. Особую опасность представляют для здоровья людей твердые частицы пыли с диаметром менее 10 микрон: при их высокой кон-

центрации в воздухе могут возникать: инфекция верхних дыхательных путей, заболевания сердечно-сосудистой системы, бронхит, одышка, воспаления легких и др. Пыль загрязняет воздух и воду, ухудшает их качество и тем самым наносит вред экологии окружающей среды.

В качестве примера расчет ряда индексов производился по данным срочных метеонаблюдений на станциях Абадан (3 м высоты над уровнем моря), Ахваз (20 м) и Дизфуль (152 м) в период 15–16 июля 2013 г. Погода Хузестана в этот период характеризовалась высокими температурами, низкой относительной влажностью, практически полным отсутствием облачности нижнего яруса, небольшими суточными перепадами температуры воздуха и атмосферного давления. Ветер усиливался в послеполуденные часы из-за термической конвекции. Конкретно температура воздуха в суточном ходе менялась в пределах 21–51 °С, относительная влажность 11–39 %, скорость ветра от 1 до 7,5 м/с, нижняя облачность 0–3 балла (общая 8 баллов). Ветер менялся от 1–2 м/с до 3–7 м/с. Давление атмосферы от 985 до 1005 гПа.

В результате расчетов было установлено, что эффективная температура менялась во времени в пределах 18–38° (максимум в полуденные часы), эквивалентно-эффективная температура по Миссенарду 16–39°, индекс Стедмена 24–59°, ЭЭТ по Айзенштату 12–40°, индекс жары 23–56°. Таким образом, в полуденные часы по всем рассчитанным показателям состояние погоды можно классифицировать как опасное для здоровья человека.

Значения индекса патогенности приводятся в табл. 9.

Таблица 9

Индекс патогенности метеорологической ситуации для станций Абадан, Ахваз и Дизфуль в 2013 г.

Пункт	Индексы патогенности метеовеличин						Суммарный индекс
	I_t	I_h	I_v	I_n	$I_{\Delta p}$	$I_{\Delta t}$	
Абадан (15.07)	4,21	0,00	1,09	3,84			9,14
Абадан (16.07)	4,44	0,00	1,33	3,84	0,0	0,39	10,01
Ахваз (15.07)	3,43	0,00	0,27	3,84			7,54
Ахваз (16.07)	3,52	0,00	0,38	3,84	0,00	0,06	7,80
Дизфуль (15.07)	2,83	0,00	0,27	3,84			6,94
Дизфуль (16.07)	3,05	0,00	0,27	3,84	0,00	0,36	7,53

Как видно из табл. 9, основной вклад в индекс патогенности вносят индексы патогенности температуры воздуха и облачности (радиации). Вклад остальных составляющих из-за стабилизации метеорологической обстановки невелик либо отсутствует, что позволяет отнести индекс патогенности к оптимальным (комфортным) условиям погоды. Лишь 16.07.2013 г. в Абадане возникли слабо раздражающие условия погоды.

Следует отметить, что результаты по индексу патогенности противоречат только что рассмотренным, что можно объяснить как слабым суточным ходом метеовеличин, так и его методическим несовершенством.

Выводы

1. Представлен обзор биометеорологических индексов используемых при оценке комфортности погоды и климата, тепловых нагрузок на организм человека.

2. Выявлены сезонные и суточные особенности биоклимата юго-западной части Ирана. Отмечены значительные различия между биоклиматом западной (равнинной) и восточной (гористой) частями провинции Хузестан.

3. Анализ вариаций пространственно-временной изменчивости биометеорологического режима за период с 1994 г. по 2013 г. показал, что наблюдается тенденция усиления континентальности климата летом и, как следствие, усиление тепловой нагрузки на человека.

4. Для всей территории провинции Хузестан, за исключением предгорных районов характерны высокие значения эффективной и эквивалентно-эффективной температуры, индекса жары в летний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова В.В. Воздействие климатических условий на человека в засушливых землях Европейской России // Изв. РАН. Сер. Геогр. 2012. № 2. С. 68-81.
2. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима Волжского бассейна // Метеорология и гидрология. 2001. № 10. С. 16-23.
3. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // Метеорология и гидрология. 2004. № 2. С. 38-47.
4. Переведенцев Ю.П., Гоголь В.Ф., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестн. Воронежск. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 5-12.
5. Хайнес А., Коватс Р.С., Кэмпбелл-Лендрум Д., Корвалан К. Изменение климата и здоровье человека – воздействия, уязвимость и адаптация // Тр. Всемирн. конф. по изменению климата. М., 2004. С. 307-322.
6. Ревич Б.А. Неблагоприятные метеорологические условия как факторы риска здоровью населения России // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 1. С. 16-26.
7. Гамбурцев А.Г., Сигачев А.В. Динамика вызовов скорой помощи Москвы за последние пять лет // Вестн. РАН. 2012. Т. 82, № 5. С. 415-424.
8. Емелина С.В., Константинов П.Н., Малинина Е.П., Рубинштейн К.Г. Оценка информативности некоторых биометеорологических индексов для разных районов России // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 25-37.
9. Houghton F.C., Vagloglou C.P. Determining lines of equal comfort // J. Amer. Soc. Heat. And Ventilating Engineers. 1923. Vol. 29. P. 165-176.
10. Missenard A. L'Homme et le climat. Paris, 1937. 186 p.
11. Исаев А. А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 456 с.
12. Хентшел Г. Крупномасштабная и локальная классификация климата с точки зрения биометеорологии человека // Климат и здоровье человека. Л., 1988. Т. 1. С. 117-121.
13. Steadman R.G. Norms of apparent temperature in Australia // Aust. Met. Mag. 1994. Vol. 43. P. 1-16.
14. Шиловцева О.А., Романенко Ф.А. Многолетние изменения температуры воздуха на Северо-Западном Таймыре и Нижнем Енисее в XX веке // Метеорология и гидрология. 2005. № 3. С. 53-68.
15. Переведенцев Ю.П., Занди Р., Аухадеев Т.Р. Особенности режима пыльных бурь в юго-западной части Ирана в начале XXI века // Уч. зап. Казанск. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2014. Т. 156, кн. 2. С. 147-155.
16. Переведенцев Ю.П., Занди Р., Аухадеев Т.Р. Особенности климатических условий в юго-западной части Ирана (на примере провинции Хузестан) // Уч. зап. Казанск. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2013. Т. 155, кн. 4. С. 144-157.
17. Беттен Г. Погода в нашей жизни. М.: Мир, 1985. 228 с.
18. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / под ред. Н.В. Кобышевой. СПб: ГГО, 2008. 336 с.
19. Андреев С.С. Экология человека. Ростов н/Д: Изд-во Турова Е.А., 2007. 248 с.
20. Айзенштат Б.А. Методы расчета некоторых биоклиматических показателей // Метеорология и гидрология. 1964. № 12. С. 9-16.
21. Золотокрылин А.Н., Канцеровская И.В., Кренке А.Н. Районирование территории России по степени экстремальности природных условий для жизни человека // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1992. № 6. С. 16-30.
22. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. С. 25-46.
23. Бокша В.Г., Богуцкий Б.В. Медицинская климатология и климатотерапия. Киев: Здоровье, 1980. 261 с.

Поступила в редакцию: 18.11.14

Yu.P. Perevedentsev, Zandi Rahman, T.R. Aukhadeev, K.M. Shantalinskii

ASSESSMENT OF CLIMATE INFLUENCE ON A MAN IN DROUGHTY CONDITIONS OF SOUTHWEST IRAN

The review of bio-meteorological indexes used in estimation of weather and climate conditions comfort is provided. Calculations of effective and equivalent-effective temperature for the 20-year period (1994-2013) for 13 stations of the province Khuzestan which is located in the southwest of Iran are executed. The rigidity index of weather and the pathogenicity index allowed to characterize the degree of influence of changeable weather conditions on a functional condition of a human body, to reveal spatial and temporal variations of a bio-climate during recent times. According to Steadman's index, during the summer period there is an extreme risk of thermal danger on the entire territory of Khuzestan. The tendency of strengthening of thermal loads on a person in summer months in the conditions of the Khuzestan province is observed; this fact aggravates the situation due to the increased frequency of dust storms in this

ince is observed; this fact aggravates the situation due to the increased frequency of dust storms in this region. Comfortable conditions are noted only in April and November. Positive values of inclination coefficients for a linear trend of the majority of bio-meteorological indexes prevail (except for winter months), which testifies to deterioration of summer climatic conditions.

Ключевые слова: bioclimate, bio-meteorological index, effective temperature, pathogenicity index, zone of comfort, heat stress, human health.

Переведенцев Юрий Петрович,
доктор географических наук, профессор,
заведующий кафедрой метеорологии, климатологии
и экологии атмосферы
E-mail: Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru

Занди Рахман, аспирант
E-mail: rahmanzandi@gmail.ru

Аухадеев Тимур Ринатович, аспирант
E-mail: tauhadeev@yandex.ru

Шанталинский Константин Михайлович,
кандидат географических наук, доцент кафедры
метеорологии, климатологии и экологии атмосферы
E-mail: Konstantin.Shantalinsky@kpfu.ru

Казанский федеральный университет
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35

Perevedentsev Yu.P.,
Doctor of Geography, Professor, Head of the Department
of meteorology, climatology and ecology
of the atmosphere
E-mail: Yuri.Perevedentsev@kpfu.ru

Zandi Rahman, postgraduate student
E-mail: rahmanzandi@gmail.com

Aukhadeev T.R., postgraduate student
E-mail: tauhadeev@yandex.ru

Shantalinskii K.M.,
Candidate of Geography, Associate Professor at Department
of meteorology, climatology and ecology of the atmosphere
E-mail: Konstantin.Shantalinsky@kpfu.ru

Kazan Federal University
420008, Russia, Kazan, Kremlevskaya st., 35