

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Современная динамика биоклиматических индексов на территории
России**

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

студентки 2 курса 215 группы

направления 05.04.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Таракановой Алены Витальевны

Научный руководитель

доцент, к.г.н.

Н.В Семенова

Зав. кафедрой

доцент, к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Введение. Биоклимат

Саратов 2022

территории

является

важным составляющим жизни и здоровья человека. Это важный природный ресурс от которого зависит комфортность ощущений, а также работоспособность и здоровье организма.

Имея информацию о климатических особенностях регионов люди могут скоординировать графики работы и отпуска, выбрать по теплозащитным свойствам оптимальные помещения и одежду.

В последние время все чаще отмечается зависимость человека от изменения погодных условий. К такому состоянию могут приводить различные внешние и внутренние факторы. Проблемы влияния изменения окружающей среды на здоровье человека рассматривает Всемирная метеорологическая организация, которая разработала Всемирную климатическую программу (ВКП) [1]. Изучая изменения климата в городах можно понять, как они влияют на здоровье человека.

Таким образом, основная идея данной работы изучить влияние климатических факторов на территории России при помощи специально разработанных биоклиматических индексов. Для этого были рассчитаны индексы по 94 станциям за 16 лет (с 2005 по 2020 гг). Для удобства анализа станции были разделены по федеральным округам. Все данные были взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД [2].

Цели работы:

- Проведение расчётов и анализ биоклиматических индексов для оценки комфортности климатических условий;
- Построение карт распределения значений индексов;
- Оценка динамики изменения индексов в зональном и меридиональном направлении.

Основное содержание работы. Биоклиматические индексы характеризуют особенности тепловой структуры среды и являются косвенными индикаторами состояния теплового поля, окружающего человека [4]. Биоклиматические индексы рассчитываются для здоровых людей

проживающий в разных климатических районах. Используя различные температурные шкалы и табличные значения производятся исследования влияния метеорологических элементов на человека.

Рассчитывая и анализируя индексы можно выявить положительные и отрицательные воздействия климатических факторов как по отдельности, так и в комплексе на состояние человека. Для рационального использования территории можно выявлять медико-климатические потенциал этой местности, а значит можно использовать в сфере здравоохранения.

При одних и тех же погодно-климатических условиях люди ощущают их по-разному. На ощущение могут влиять такие факторы как возраст, пол, состояния здоровья, скорость адаптации организма, а также много других факторов. Таким образом для оценки климата необходимо использовать комплексные метеорологические показатели (индексы), которые отражают теплоощущение человека и которые определяют зоны комфорта и дискомфорта. Под зонами комфорта понимают такие пределы метеорологических условий, при которых большинство людей отмечают комфорт теплоощущений, то есть окружающая среда не требует напряжения адаптационных механизмов человека [6].

Наиболее важными индексами являются комплексные показатели, в которых учитывается влияние двух и более метеорологических элементов [5]. В зависимости от сочетания элементов входящие в биоклиматические индексы, их можно разделить на температурно-влажностные, температурно-ветровые, температурно-влажностно-ветровые и так далее [4]. Индексы рассчитываются для «среднего» человека, одетого в стандартную одежду без учёта индивидуальных теплоощущений.

Комплексным показателем теплоощущения человека является эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). Это индекс для обнажённого человека. В 1937-1938 годах формулы были предложены А.Миссенардом, для расчётов эффективной температуры (ЭТ). Но в формуле не учитывалась

скорость ветра. После этого в 1938 также Миссенардом была предложена ET, показатель, который более полно характеризует теплоощущение человека. В этой формуле учитывается влияние температуры воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра. Индекс рассчитывается по формуле (2.1).

$$ET = 37 - \frac{37-t}{0,68-0,0014f+1/(1,76+1,4V^{0,75})} - 0,29t\left(1 - \frac{f}{100}\right) \quad (2.1)$$

где t- температура воздуха, °С;

V - скорость ветра, м/с;

f - относительная влажность, %.

На территории СНГ значение ET аналогична величине эквивалентно-эффективной температуры.

Для формулы (1) используется скорость ветра, измеренная на высоте 10 метров, которую привели к 2 метрам по формуле (2.2):

$$V_2 = \frac{V_{cp}}{1,3} \quad (2.2)$$

где V_2 - скорость ветра на высоте 2 метра, м/с,

V_{cp} - скорость ветра на высоте 10 метров, м/с.

Нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ) рассчитывается для человека, одетого в стандартную одежду одного типа. Таким образом данной формулой учитываются теплозащитные свойства одежды. В 1980 году И.В. Бутевой [6] была предложена формула нормальная эквивалентно-эффективной температуры (НЭЭТ) (2.3):

$$НЭЭТ = 0,8ЭЭТ + 7^{\circ}C \quad (2.3)$$

Но также стоит отметить, что НЭЭТ пригодна для оценки теплоощущений человека, одетого в строго определенную, «стандартную» одежду. По той причине, что при создании шкалы одежда принималась величиной постоянной, а изменялись только метеорологические условия.

При проведении анализа всегда учитывается тот факт, что ни ET, ни НЭЭТ не учитывают адаптационных возможностей организма человека, физиологические особенности, характер работы и состояния здоровья индивидуально каждого человека.

Биологически активная температура (БАТ) внешней среды определяет воздействие на организм человека температуры воздуха, влажности воздуха, скорости ветра, суммарной радиации и длинноволновой радиации подстилающей поверхности. Формулу (4) для расчёта БАТ в 1981 году предложила Г.В.Циценко.

$$\text{БАТ} = 0,8\text{НЭЭТ} + 9^\circ\text{C}$$

(2.4)

Недостаток индексов *ЭТ*, *ЕТ*, *ЭЭТ*, *НЭЭТ* состоит в недоучете теплоощущения от нагревания солнечной радиацией. Он преодолевается применением так называемой радиационно-эквивалентно-эффективной температуры (*РЭЭТ*). Согласно Е.Г. Головиной и В.И. Русанову РЭЭТ может определяться по эмпирической формуле (2.5):

$$\text{РЭЭТ} = 125 \lg [1 + 0,02t + 0,001(t-8)(f-60) - 0,045(33-t)\sqrt{V} + 1,129\beta]$$

(2.5)

где *t* – температура воздуха, °С;

V – скорость ветра, м/с;

f – относительная влажность, %;

β – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация, кВт/м²;

$\beta = \varepsilon (1 - \alpha)$, α – альbedo кожи, $\alpha = 0,28$ – для непигментированной кожи;
 $\alpha = 0,11$ – для пигментированной кожи;

ε – суммарная солнечная радиация, кВт/м².

Приближенные оценки РЭЭТ для теплоощущений на солнце получают по приближенным соотношениям И.В. Бутьевой (формулы 2.6, 2.7):

$$\text{РЭЭТ} = \text{НЭЭТ} + 6,2 \square$$

(2.6)

или

$$\text{РЭЭТ} = 0,83 \text{ЭЭТ}_{\text{осн}} + 12,0 \square$$

(2.7)

Оценка РЭЭТ характеризует климатолечебные ресурсы местности по радиационному режиму. Для здорового населения границы комфортной зоны величин РЭЭТ составляют 19,7-23,6.

Также одним из способов оценки биоклиматических условий является индекс ветрового влажного охлаждения Хилла.

Для оценки индекса сначала рассчитывают индекс ветрового (сухого) охлаждения Хилла (H_c), используя формулу (2.8).

$$H_c = (0,13 + 0,47V^{0,5})(36,6 - t)$$

(2.8)

где t – температура среды, V – скорость ветра.

Индекс H_c характеризуют теплотери единичного открытого участка кожи при температуре кожи $T_K = 33^\circ\text{C}$ или взвешенной температуре тела $T_T = 36,6^\circ\text{C}$ и пропорциональны разности между упомянутыми T_K , T_T и температурой наружного воздуха (T_H).

Индекс ветрового влажного охлаждения Хилла (H_w), учитывает поправку к индексу H_c за счет упругости водяного пара (e) (формула 2.9):

$$(2.9) \quad H_w = H_c + (0,085 + 0,102V^{0,3})(61,1 - e)^{0,75}$$

где V – скорость ветра, м/с;

t – температура воздуха, °С;

e – упругость водяного пара, гПа.

Суровость погоды рассматривают с точки зрения её влияния на охлаждение человека, ограничивающее его пребывание и на открытом воздухе и определяющее потребность в одежде.

Из наиболее известных критериев суровости зимних условий было предложено Бодманом. Он предложил метод расчёта баллов «жёсткости погоды». Расчёты производились при помощи формулы (2.10):

$$(2.10) \quad S = (1 - 0,04t)(1 + 0,272V)$$

где S -суровость зимней погоды, баллы;

t - температура воздуха, °С;

V - скорость ветра, м/с.

Данная формула использовалась при расчётах «жёсткости» или «суровости» и многими учёными было отмечено, что данный индекс не обоснован в физиологическом отношении. Оценка рассчитанных значений по формуле (2.10) производится при помощи шкалы.

Для того чтобы подчеркнуть важную роль ветра при отрицательных температурах воздуха и оценить их влияние на состояние человека канадский учёный Сайпл предложил «ветро-холодовый» индекс, который рассчитывается по формуле (2.11).

$$(2.11) \quad K = (\sqrt{100V} + 10,45V)(33 - t_b)$$

где v -скорость ветра, м/с;

t_v -температура воздуха, °С.

«Ветро-холодовой» индекс более точно отражает «ощущение холода», которое испытывает человек.

Одна из известных методик является методика Стедмена для расчета индекса жары (ИЖ). Формула получена путем регрессионного анализа учитывает большое количество факторов, среди них: стандартные метеорологические наблюдения, потери теплоты при дыхании, сопротивление кожи нагреву, сопротивление кожи влаге, сопротивление поверхности нагреву, сопротивление поверхности влаге, особенности теплопроводности одежды и т. д. Получаемая при этом величина может трактоваться как «ощущаемая человеком температура». Расчет ИЖ производится по формуле (2.12) [9]:

$$\begin{aligned} \text{ИЖ} = & -42,379 + 2,04901523 \cdot t + 10,14333127 \cdot f - 0,224755417 \cdot t \cdot f - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \\ & - 0,05481717 \cdot f^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \cdot f + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot f^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot t^2 \cdot f^2 \end{aligned} \quad (2.12)$$

где t – температура воздуха (°F); f – относительная влажность (%).

Коэффициенты в формуле приведены для температуры в градусах Фаренгейта. Полученные значения по стандартной формуле переводятся в температуры градусах Цельсия и сравниваются с градациями в соответствии. Расчет ИЖ по формуле дает значение индекса в тени, для открытого солнца полученному значению прибавляют 8°С и также сравнивают с градациями.

Также кроме расчётов были построены карты, которые дополнили анализ.

Анализ проводился по территории всей России. Для удобства анализа рассчитанных данных территория была поделена на 8 федеральных округов (Центральный, Северо-Западный, Южный, Северо-Кавказский, Приволжский, Уральский Сибирский и Дальневосточный федеральные округа). Таким образом по комплексу данных были сделаны следующие заключения.

По всем индексам наблюдается в зональное распределение с некоторым меридиональным в районе Восточной Сибири и Дальнего Востока. Это происходит из-за мощного сезонной синоптической циркуляции.

По индексу ЭЭТ в течение всего года территории России находится по уровню комфортности от «угроза обморожения» до комфортно (умеренно-тепло)», как в рассмотрении по средним значениям за 16 лет, так и по годам. Территория по исследуемым станциям не попадает в градации «тепловая нагрузка умеренная» и «тепловая нагрузка сильная». Но достаточно большая часть территории по индексу ЭЭТ находится в градации «угроза обморожения», некоторые больше 6 месяцев в году. Изменения градаций индекса проходит плавно в зональном направлении. Такое можно увидеть в Приволжском федеральном округе за счёт большого количества станций.

По индексу НЭЭТ зоне охлаждения территория России находится от 6 до 12 месяце. Зона перегрева в большей степени наблюдается только в течение 1-3 месяцев, но не на всей исследуемой территории. Зона перегрева в некоторых районах наблюдаются только на 1 станции или вообще отсутствуют. В других автономных округах наблюдается в течение 2-3 месяцев.

По индексу БАТ достаточно большая территория находится продолжительное время в зоне «холодного дискомфорта». Значительное время в зоне «тёплого дискомфорта» находятся территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов.

Проведя анализ индекса РЭЭТ, были сделаны следующие выводы. Большая часть территории находится в зоне «охлаждения» в течение длительного периода. Самые северные станции в зоне «охлаждения» находятся от 10 до 12 месяцев. В зоне комфорта в основном станции находятся в мае и сентябре. Редко в летние месяцы. В зоне «перегрева» вся территория России находится только с июня по август.

Распределение индекса Хилла также можно рассматривать в широтном распределение. Наиболее высокие значения наблюдаются на крайнем Севере. К

югу индекс уменьшается, но значения на территории России не переходят в градации «территория обладает комфортными условиями».

По сезонным индексам Бодмана и Сайпла было установлено, что наиболее холодные территории располагаются в северной части страны. Там крайне сложно проживать и требуется специальная подготовка для пребывания там. На южных территориях наблюдаются небольшие значения. Основная градация для всей территории «умеренно-суровая» (по индексу Бодмана) и «жёстко холодно» (по индексу Сайпла).

Проведя анализ данных индекса жары в тени и на солнце можно сделать следующие выводы. Основные значения индексов «внимание» и «предельная осторожность». В холодных областях значения находятся в градациях «повышенная опасность» и «чрезвычайная опасность» такое может быть связано с низкими температурами и высокой влажностью, потому что исследуемые станции с высокими значениями находятся на крайнем севере у воды.

При анализе карт было установлено, что распределение индексов по территории, независимо от использованных метеорологических величин в расчётах, одинаковы. Наблюдаются одинаковые центры максимальных и минимальных значений. Наиболее холодные центры в районах полуострова Ямал, Гыданского полуострова, полуострова Таймыр и в районе дельты реки Лена, а наиболее тёплые центры в южной части Южного федерального округа и Северо-Кавказского округа. Также над территорией Восточной Сибири и Дальнего Востока наблюдается область с более высокими показателями индекса в зимний сезон. Можно предположить, что данное явление связано с мощным сезонным центром действия атмосферы (зимним Азиатским антициклоном)

Заключение. Как было уже сказано в самом начале работы внешние факторы значительно влияют на здоровье и жизнь человека. Влияние метеорологических элементов, а уж тем более и совместное действие никак

нельзя исключить. То как влияет организм на метеорологические факторы и какие патологические реакции они могут вызывать называются метеопатическими. Из-за недостаточной работы адаптационного механизма могут вызываться метеопатические реакции. Это результат взаимодействия человека и окружающей среды.

Климат и погода могут влиять на человека прямыми и сигнальными путями. Прямое влияние—это прямое воздействие, на тепловое состояние организма человека, метеоэлементов. А сигнальное влияние вызывает метеопатические реакции у метеозависимых людей, а также ухудшение самочувствия у людей неподверженных изменению метеорологических элементов. Самое важно учитывать тот факт, что на состояние человека влияют не только сами метеорологические условия, но и изменчивость отдельных метеоэлементов во времени и пространстве.

Одними из основных задач работы было проведение расчётов и их анализ, а также прослеживание динамики изменения их в пространстве и времени. Таким образом, в работе было проанализировано 8 индексов по 94 станциям или по 8 федеральным округам. По временному изменению показателей сильных изменений значений не наблюдалось, были аномальные года, который были холоднее или теплее, но не было замечена тенденция изменения в одни и те же года на разных территориях. По динамике распределения индексов в зональном и меридиональном направлениях наблюдается равномерное распределение как с севера на юг, так и с запада на восток. Также во время анализа была замечена особенность значения индексов возле воды и на континенте. Таким образом в северной части нахождения возле воды даёт более низкие и холодные значения у воды, которые будут не комфортны для пребывания на местности без специальной защитной экипировки. На юге страны у водной поверхности, без влияния горной местности, значения также ниже, но в тех районах человеку будет комфортнее находится, имея на себе минимум одежды.

Если рассматривать местность у воды, но где будет горная преграда, значения индекса будут такие же, как и на станциях, находящихся в глубине континента. Будут наблюдаться достаточно жаркое лето и прохладная зима. При анализе динамики данные факторы отображены через анализ значений индексов.

Так как биоклиматические индексы способствуют выбору комфортных мест для нахождения человека в работе можно было бы выделить комфортные для проживания и отдыха регионы. Но как уже говорилось ранее данные индексы рассчитываются для человека «среднего» раздетого или одетого в «стандартную» одежду, которая не учитывает тепло-физических процессов. Также индексы не учитывают индивидуальные адаптационные способности организма человека, а также само здоровье человека. К примеру, к климату с высокой влажностью человек с аллергией на влажность никогда не сможет адаптироваться и его состояние будет только ухудшаться. Таким образом, рассчитанные в этой работе индексы, а также построенные карты могут нести только рекомендательный характер, для того чтобы при выборе места отдыха и необходимой экипировки мог ориентироваться, какие ощущения он может получить, прибыв на то место.