

САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

**А.Б. Рыхлов**

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
В ГОРОДАХ**

Учебно-методическое пособие по дисциплине «Климат города»  
для студентов географического факультета, обучающихся по направлению  
022000 – Экология и природопользование

Саратов 2013

Данное издание посвящено методическим вопросам учета климатических условий в градостроительстве. Изложены методы различных этапов учета климатических условий в городах от макро- до микроклиматического уровня, рассмотрены принципы и методы мезо- и микроклиматических различий на территориях городов в разных климатических зонах.

Города не должны вступать в противоречие с природой, напротив, с помощью определенных архитектурно-планировочных решений, учитывающих особенности микроклимата территории, возможно даже улучшение экологической обстановки в городах по сравнению с незастроенной территорией.

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. Влияние большого города на основные метеорологические элементы .....	6
2. Тепловое воздействие большого города .....	8
3. Радиационно-термический режим застройки.....	10
4. Методы определения инсоляции помещений .....	15
5. Методы оценки ветрового режима .....	24
6. Методы биоклиматической оценки городов .....	26

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

## ВВЕДЕНИЕ

Постоянно ухудшающаяся экологическая обстановка на планете особенно ярко проявляется на территориях, подвергшихся урбанизации. Это обстоятельство обуславливает необходимость предусмотреть в концепциях развития городов максимальное соответствие градостроительных решений природным особенностям региона.

Происходящая на планете урбанизация, рост и развитие городских агломераций, как правило, нарушают природное экологическое равновесие и в пределах самого города, и на прилегающих к нему территориях. Возникло понятие «усталые города», где человек ощущает дискомфорт даже при отсутствии существенного загрязнения атмосферы.

Города и городские агломерации возникают на фоне климатических, а точнее микроклиматических особенностей конкретных территорий. Город как урбанизированная система создает свой микроклимат, отличный от естественного, природного. В зависимости от градостроительных решений урбанизированный микро- и биоклимат могут отличаться от естественного как в сторону ухудшения микро- и биоклиматических особенностей, так и в сторону их улучшения, т. е. экологическая обстановка в городах может регулироваться в значительной степени градостроительными решениями. Эти решения должны находиться в полной гармонии с естественными особенностями микро- и биоклимата территории.

Поскольку микроклиматические особенности возникают под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности на фоне общеклиматических условий, то, естественно, методы микроклиматического обоснования при развитии и совершенствовании градостроительных концепций должны включать исследования атмосферной циркуляции и общего климата в регионе расположения города, оценку опасных для климата города метеоявлений, расчеты инсоляции стен зданий, учет особенностей режима ветра в регионе в различных метеоположениях, характерных для урбанизированной территории.

Особое внимание уделяется биоклиматическим оценкам. Среди всего многообразия методов определения биоклиматических условий отобраны наиболее пригодные для расчетов в городской среде в разных климатических зонах.

Необходима также оценка особенностей природных условий, формирующих микро- и биоклимат рассматриваемой территории. Методы таких оценок приводятся в данном издании. Нередко в пределах самого города тоже имеются неоднородности подстилающей поверхности, которые дифференцируются по определенным методам. Далее для конкретного города нужно выделить определенные типы микро- и биоклимата и ранжировать их по степени экологической благоприятности и оценке потенциальных условий рассеивания примесей.

При рассмотрении планов развития и совершенствования градостроительных концепций необходимо прогнозировать микро- и биоклимат при различной направленности градостроительных решений с целью разработки рекомендаций для предстоящего развития этих концепций для оптимизации экологической обстановки в городах России.

Известно, что микроклиматические вариации в пределах ограниченных территорий возникают на фоне общих климатических особенностей региона. В соответствии с этим исследования, целью которых являются микроклиматические обоснования развития и совершенствования градостроительных концепций, должны начинаться с анализа общеклиматических условий региона, включать изучение особенностей атмосферной циркуляции и определение расчетных климатических параметров.

Анализ общеклиматических условий проводится в соответствии с общими правилами климатологической обработки. Рассматриваются все основные характеристики климата, т. е. радиационный и термический режимы, показатели влажности воздуха, атмосферные осадки. Большое внимание уделяется ветровому режиму, инверсионному распределению температуры, поскольку учет именно этих факторов важен при исследовании формирования микроклиматических вариаций в пределах исследуемых территорий.

Методы получения расчетных климатических параметров пока не нашли широкого освещения в учебной и методической литературе, и в данном издании представлены достаточно подробно.

В настоящей работе последовательно изложены методы учета климатических условий от макро- до микроклиматического уровня, рассмотрены принципы и методы микроклиматического районирования территорий городов в разных климатических условиях.

### 1. Влияние большого города на основные метеорологические элементы

Современный большой город, насчитывающий сотни тысяч жителей и занимающий площади в сотни квадратных километров, оказывает существенное воздействие на приземный слой атмосферы. Основными результатами такого воздействия является загрязнение атмосферы и существенное изменение микро- и мезоклиматических особенностей по сравнению с фоновыми климатическими. В городе в среднем скорости ветра на 25-25% меньше чем в пригороде, а температура на 1-2° выше. Между зданиями коэффициент изменения скорости ветра  $k=v_z/v_0$  ( $v_z$  – скорость ветра в застройке,  $v_0$  – скорость ветра на открытом месте) может колебаться от 0,1 непосредственно в «ветровой тени» до 1,5 в разрывах между близко расположенными зданиями. Столь же значительно изменение солнечной радиация – прямая в тени зданий на горизонтальную поверхность уменьшается на 100%, а суммарная – на 80%. Температура воздуха в современных городах-гигантах может быть зимой на 10-14° выше, чем в пригороде. Еще большие различия наблюдаются в температуре подстилающей поверхности: температура асфальта может быть на 20-30° выше – температуры поверхности почвы. Плотность современной застройки, рекомендуемая строителями, составляет 20-25%, причем жилые кварталы застраиваются 5, 9 и 14 этажными зданиями. Площадь стен и крыш зданий становится равной площади незастроенных территорий между зданиями, такое увеличение «приемных» поверхно-

стей города приводит к перераспределению солнечной радиации, изменению термического режима, а вместе с ним и относительной влажности.

Для городов можно предложить две модели их теплового режима: «зимнюю» и «летнюю». Зимой «остров тепла», формирующийся над городом, возникает в результате сжигания в городе огромного количества топлива, поэтому зимой термические контрасты «город-пригород» являются наибольшими. Летом выделение искусственного тепла в городе меньше, а термические различия в системе «город-пригород» обуславливаются радиационными факторами, подверженным трансформации за счет изменения типа и альbedo подстилающей поверхности (высотность и плотность застройки, процент искусственных покрытий и т.п.). Летом термические различия город-пригород редко достигают 4-5°, а ощущение духоты и других форм теплового дискомфорта возникает под действием солнечной радиации и длинноволнового излучения нагретых поверхностей. На основании наблюдений, проведенных в различных городах бывшего СССР, была составлена сводная таблица максимальных отклонений основных метеорологических элементов в городе при различной степени детализации: а) город-пригород, б) отдельные районы внутри города, в) микроклиматические различия внутри застройка (табл.1.1) Различия даны независимо от сезонов и эта таблица может быть использована в описании климата города. При наличии собственных микроклиматических наблюдений, а также достаточно надежных пар метеостанций в городе и за городом, эта таблица может быть уточнена для каждого конкретного города и в случае необходимости разбита на холодный и теплый сезон.

Из табл.1.1 можно сделать вывод, что большинство метеоэлементов имеют максимальные различия в микроклиматическом плане, за исключением температуры воздуха, которая имеет наибольшие различия в системе «город-пригород» Некоторое возможное увеличение суммарной радиации по сравнению с открытым местом, связано с дополнительным поступлением радиации, отраженной от стен зданий. Что касается осадков, то достоверные сведения об их изменениях в мезомасштабе отсутствуют.

Таблица 1.1

Максимальные отклонения основных метеорологических элементов в городе при различной детализации

Элемент	Отделения (разности или отношения)		
	а	б	в
Температура воздуха $^{\circ}\text{C}$ (разность)	12-14	6-10	2-3
Температура поверхности $^{\circ}\text{C}$ (разность)	6-8	10-15	30-40
Суммарная радиация (отношение)	0,8-0,9	0,6-0,8	0,1-1,1
Прямая радиация (отношение)	0,6-0,7	0,4-0,6	0,0-0,9
Скорость ветра (отношение)	0,6-0,7	0,3-0,7	0,1-1,5
Относительная влажность, % (разность)	20-25	15-25	10-20
Осадки (отношение, %)	10-20	-	-

Примечание: а – город-пригород, б – районы внутри города, в – микроклимат застройки

## 2. Тепловое воздействие большого города

В связи с антропогенным воздействием на климат, возникает необходимость количественной оценки таких воздействий. Из всего многообразия трансформации метеорологических элементов в городе наиболее существенным является изменение термического режима городов, выражающееся в повышении температуры воздуха, возникновении так называемого «острова тепла», о чем уже говорилось ранее.

Наиболее простым способом для выявления роли города в воздействии на температуру воздуха является сравнение средних месячных температур двух станций: города и пригорода. Даже в случае отсутствия станции, расположенной в пригороде, можно пользоваться удаленной на 50-100 км, единственным условием может служить лишь ее местоположение, которое должно примерно совпадать с городской станцией, т.е. эта станция должна быть репрезентативна.

На рис.2.1 представлены различия в температуре воздуха между городом и пригородом в различных физико-географических районах, полученные по данным справочников. Для Москвы и Санкт-Петербурга эти различия в среднем



за год составляют около  $1^{\circ}$  - температура в городе выше. Однако в южных городах картина может быть иной - в летние месяцы температура воздуха в городах ниже, чем в пригороде. В первую очередь это объясняется тем, что такие города, как например Ашхабад, летом являются оазисами в связи со значительным (по сравнению с пригородом) озеленением (орошением). В городах степной зоны например Харьков летом в городе в связи с озеленением и увеличением приемных поверхностей также прохладнее днем. Эти города теплее лишь в ночное время, так как они остывают медленнее. Поэтому следует изучать различия в температуре системы город-пригород в различные часы суток. Большой интерес представляет выявление потепления городов в эпоху научно-технической революции.

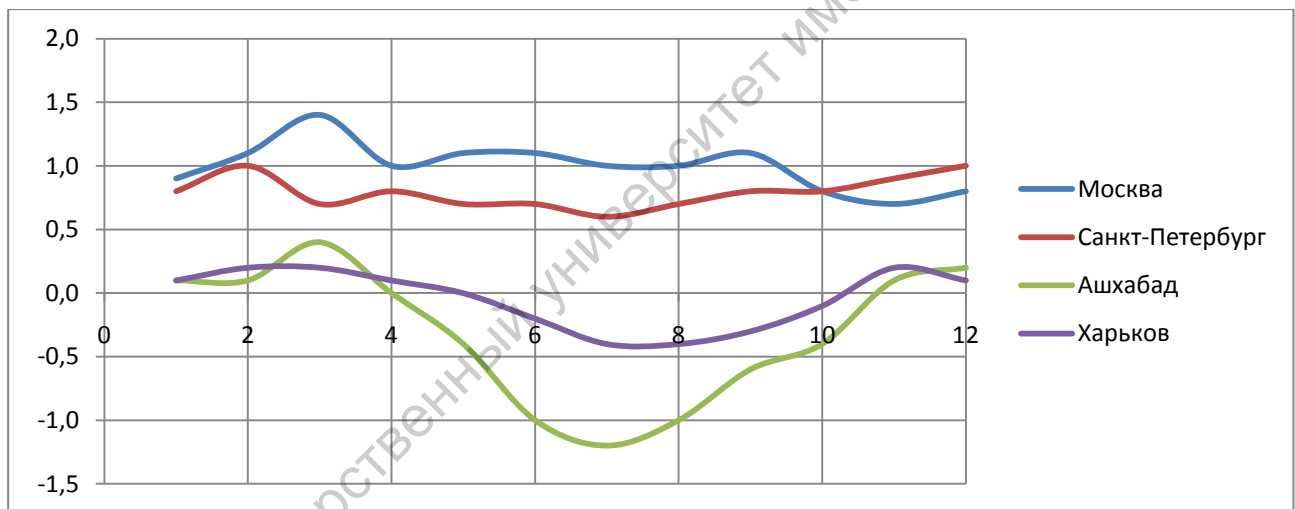


Рис.2.1. Годовой ход разностей температур системы «город-пригород» в различных физико-географических условиях

В связи с имевший место в XX веке колебанием климата, выразившемся в основном, в повышении температуры воздуха в зимний период, необходимо выявить тенденцию повышения температуры в городе, в связи с его ростом, чтобы выделить вклад антропогенных воздействий в естественные изменения. Основной целью такого исследования является количественная оценка вклада города в повышение температуры за счет его роста и сжигания большего количества топлива. Без подобных проработок всю тенденцию повышения темпе-

ратуры можно целиком отнести к «потеплению» климата. Для выявления «векового» хода разности температур системы город-пригород, для выбранных пар станций строятся по многолетним данным для месяцев (представителей сезонов) и за год в целом скользящие 10-летние средние разности температуры воздуха.

Подобные проработки для конкретных городов рекомендуется включить в описание. В описании следует подчеркнуть, что это повышение температуры распространяется на сравнительно небольшие территории, площадь которых составляет сотые доли процента от всей площади Земли и судить по ним о глобальном воздействии на климат не представляется возможным.

### 3. Радиационно-термический режим застройки

Для ряда практических целей, в первую очередь для строительства зданий различного назначения, необходим учет количества солнечной радиации, поступающей на стены различной ориентации. В первую очередь такие сведения необходимы для архитекторов при выборе наиболее рациональной инсоляции помещения и территории застройки, для теплотехников с целью учесть количество дополнительного тепла, поступающего от солнца на стены зданий и через окна внутрь помещений.

Зимой под действием солнечной радиации температура поверхности стен может повышаться до положительных значений на общем фоне отрицательных температур воздуха. Это приводит к дополнительному количеству циклов промерзания и оттаивания ограждающих конструкций, что не учитывается при их испытаниях на долговечность.

Как уже упоминалось, изучение режима инсоляции стен и помещений представляет интерес для решения практических задач (расчета освещения, отопления зданий, изучения термических воздействий на ограждающие конструкции), а также для оценки возможных эффектов мелиорации микроклимата в условиях застройки.

Приход радиации к различно ориентированным вертикальным поверхностям зависит от ряда условий, важнейшими из которых являются высота солнца над горизонтом, альbedo подстилающей поверхности, характер застройки и связанная с этим закрытость горизонта, количество ясных и пасмурных дней, ход облачности в течение суток.

Количество прямой солнечной радиации, поступающей на вертикальные поверхности (стены зданий) разной ориентации, можно выразить следующей формулой:

где  $S_0$  – прямая солнечная радиация, поступающая на вертикальную поверхность,  $S$  – прямая солнечная радиация, поступающая на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам,  $h$  – высота солнца над горизонтом,  $A_s$  – азимут нормали к стене,  $A_0$  – азимут солнца. Азимуты считаются положительными при отсчете от точки юга в направлении часовой стрелки.

В частных случаях, когда вертикальная поверхность обращена к югу,  $A=0$ :

. К западу и востоку ( $A= \pm 90^\circ$ ): . К северу ( $A=0$ )

Для промежуточных румбов:

к юго-западу и северо-востоку  $S_{(юз)-(се)} = \pm 0,707 \cdot S \cdot (\cosh \cdot \sin A_0 - \cosh \cdot \cos A_0)$ ,

северо-западу и юго-востоку  $S_{(сз)-(юв)} = \pm 0,707 \cdot S \cdot (\cosh \cdot \sin A_0 + \cosh \cdot \cos A_0)$ .

Для определения  $h$  и  $A$  используются астрономические формулы

$$\sinh = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau$$

где  $\varphi$  – широта места,  $\delta$  – склонение Солнца,  $\tau$  – часовой угол.

В ГГО им. А.И. Воейкова были выполнены исследования соотношения между суммами прямой радиации, поступающими на горизонтальную  $\Sigma S_{г}$  и вертикальную  $\Sigma S_{в}$  поверхности и выявлена четкая зависимость этого соотношения от широты места и времени года. Это позволило предложить простой способ определения сумм прямой радиации для стен зданий по данным горизонтальной поверхности, опубликованным в Научно-прикладном Спра-

вочнике по климату СССР, а величину — применять в качестве коэффициента для расчета  $S_v$  по формуле:

$$\Sigma S_v = \Sigma S_r.$$

Коэффициенты пересчета прямой радиации на вертикальные поверхности опубликованы и широко используются [Пивоварова, 1973].

Суммарный приход коротковолновой солнечной радиации на вертикальные поверхности может быть записан в виде

$$Q_v = S_v + D_v + R_v.$$

Если имеются отдельные данные о составляющих суммарной радиации, тогда расчет производится просто. Рассчитывается прямая радиация на вертикальную поверхность с помощью коэффициентов пересчета. В случае изотропного распределения рассеянная и отраженная радиация принимаются равными половине той, что поступает на горизонтальную поверхность. Суммарный приход солнечной радиации записывается в таком виде:

— —

где  $D_r$  и  $R_r$  - рассеянная и отраженная радиация, поступающая на горизонтальную (земную) поверхность. Отраженная от земной поверхности радиация определяется по формуле

—,

где  $Q_r$  - средняя многолетняя сумма суммарной радиации на горизонтальную поверхность,  $A_k$  - среднее месячное значение альbedo (в процентах) земной поверхности участков, примыкающих к зданию.

При выборе альbedo следует принимать во внимание комплекс участков дворов (газоны, асфальтовые и бетонные дорожки, песок, кустарник, деревья и пр.). Среднее альbedo при таком сочетании участков принимается равным 20%. В период со снежным покровом можно использовать альbedo метеорологической площадки, но с учетом поправки на влияние городских условий (в городе альbedo ниже). Разница в альbedo в зимние и переходные месяцы составляет 15-20%.

Известно, что допущение изотропного распределения диффузной радиации не всегда оправдывается, т.к. отражение от снега при наличии солнца не изотропно.

Однако если рассматривать не интенсивность, а суммы радиации (суточные или месячные) при средних условиях облачности, то ошибка из-за недоучета анизотропности отраженной радиации существенно уменьшается. При облачности 7 баллов в летний период наблюдается выравнивание среднего суточного хода рассеянной и отраженной радиации для вертикальных поверхностей любой ориентации и приближение распределения диффузной радиации к изотропному вполне оправдано.

Учет солнечной радиации, поступающей на стены зданий, позволяет более правильно подойти к оценке их теплового режима и микроклимата помещений.

В таблице 3.1 приведена температурная поправка за счет солнечной радиации, основанная на зависимости температуры наружной поверхности стены от поглощенной радиации ( $B_k$ ) в теплый период года, когда поглощенная радиация является главным фактором, определяющим радиационный баланс

$$\Delta_1 t = 0,04 \cdot B_k - 0,8,$$

$$\Delta_1 t = t_1 - t_2,$$

где  $t_1$  – температура наружной поверхности стены с учетом солнечной радиации,  $t_2$  – то же без учета солнечной радиации.

Таблица 3.1

Поглощенная стеной коротковолновая солнечная радиация ( $B_k$ ) и поправка ( $\Delta_1 t$ ) к температуре наружной поверхности стены за счет радиации

$B_k$ МДж/м <sup>2</sup> час	$B_k$ , МДж/м <sup>2</sup> мес	$\Delta_1 t$	$B_k$ , МДж/м <sup>2</sup> час	$B_k$ , МДж/м <sup>2</sup> мес	$\Delta_1 t$
	0	-0,6	0,36	260,0	2,5
0,08	54,5	0	0,41	297,0	3,0
0,23	92,2	0,5	0,47	335,0	3,5
0,19	134,1	1,0	0,52	377,0	4,0
0,24	176,0	1,5	0,57	411,0	4,5
0,30	218,0	2,0	0,63	452,5	5,0

Для перехода от температуры поверхности стены без учета радиации к наиболее часто употребляемой при теплотехнических расчетах характеристике - температуре наружного воздуха  $t_H$  – дается дополнительная поправка  $\Delta_{пt}$ :

$$\Delta_{пt} = t_H - t_2.$$

Подставив значение  $t_2$ , получим:

$$t_1 = t_H + \Delta_{1t} - \Delta_{пt}.$$

Значения  $\Delta_{пt}$  при различной температуре наружного воздуха приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Температура наружного воздуха  $t_H$ , температура наружной стены  $t_2$  без учета радиации и поправка  $\Delta_{пt}$

$t_H$	$t_2$	$\Delta_{пt}$	$t_H$	$t_2$	$\Delta_{пt}$	$t_H$	$t_2$	$\Delta_{пt}$
-50	-47,0	-3,0	-20	-18,0	-2,0	10	10,5	-0,5
-45	-42,0	-3,0	-15	-13,5	-1,5	15	15,2	-0,2
-40	-37,0	-3,0	-10	-8,5	-1,5	20	19,9	0,1
-35	-32,5	-2,5	-5	-4,0	-1,0	25	24,7	0,3
-30	-27,5	-2,5	0	1,5	-1,0	30	29,5	0,5
-25	-22,5	-2,5	5	5,5	-0,5			

Таким образом, с помощью приведенных таблиц 3.1 и 3.2 можно определить температуру наружной поверхности стены с учетом воздействия солнечной радиации. Для этого нужно знать количество суммарной радиации, поступающей на стену здания, альbedo стены и температуру воздуха.

Если рассматривать только дневное время, то средняя часовая сумма радиации будет выше примерно в 2 раза по сравнению с суммами, осредненными за сутки (осреднение за 24 часа принято в СНиП). Следовательно, можно предполагать, что и добавка к температуре стен за счет солнечной радиации увеличится, но, вероятно, не в такой пропорции, как радиация, если учесть тепловую инерцию здания и изменение в суточном ходе других метеорологических элементов. Еще большие различия будут при сравнении средних часовых за сутки сумм с суммами за отдельные часовые промежутки.

Необходимо отметить, что схема, по которой рассчитана температура поверхности стены, предусматривает средние суточные значения метеороло-

гических и радиационных элементов и определенные стандартные характеристики здания. Поэтому применять приведенные зависимости  $V_k$ ,  $\Delta_{1t}$ , и  $\Delta_{пт}$  к любым случаям нестационарного процесса или резко отличным типам зданий нельзя.

Из оценки теплового эффекта солнечной радиации, поступающей на стены зданий, видно, что в условиях стационарного режима добавка к температуре стены невелика. Большее значение для повышения температуры внутри помещения имеет солнечная радиация, проникающая через светопроемы, величина которой учитывается в уравнениях теории стационарного теплового режима зданий отдельным членом.

#### 4. Методы определения инсоляции помещений

Облученность здания определяется количеством поступающей радиации. Общее количество солнечной радиации и количество ультрафиолетовой радиации в ее составе должно быть достаточным для нормального развития человеческого организма. Но чрезмерная солнечная радиация вызывает световой дискомфорт, перегрев и ультрафиолетовую переоблученность. В последнем случае необходима защита от солнца - применение солнцезащитных устройств. В соответствии с санитарными нормами и правилами в определенный период года помещения и жилая территория должны подвергаться непрерывному солнечному облучению: не менее 3 часов в день с 22.07 по 22.08 для северных районов, не менее 2,5 часов с 22.03 по 22.09 для центральной части России и не менее 2 часов в период с 22.02 по 22.10 в южных районах. Оптимум количества солнечной радиации, поступающей в квартиры и процент облучаемой площади в них регулируются, прежде всего, ориентацией здания, расстоянием между зданиями, формой, конфигурацией, окраской здания, а затем планировкой отдельных элементов зданий (глубина помещения, размеры окон, балконов, карнизов, лоджий и т.д.) и выбором средств инженерного оборудования, в том числе

солнечных отопительных систем. Все эти нормы дифференцируются в зависимости от свето-климатических условий отдельных районов страны.

Продолжительность инсоляции открыто стоящих зданий с окнами любой ориентации может быть определена по формуле:

$$\cos \tau = \operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \delta_0, \quad (4.1)$$

где  $\varphi$  – широта места;  $\delta_0$  – склонение солнца;  $\tau$  – часовой угол солнца, отсчитываемый от момента истинного полдня.

В таблице 4.1 приведено время начала и конца облучения (освещения) прямой солнечной радиацией стен южной и северной ориентации – на 15-е число месяца. Данные продолжительности облучения для различных широт представлены на рис.4.1.

Таблица 4.1

Время начала и конца облучения прямой солнечной радиацией (часы и минуты на 15-е число месяца) южных (северных) стен открыто стоящих зданий и время восхода и захода Солнца

$\varphi$	Восход	Заход	Восход	Начало	Конец	Заход
	Январь		Апрель			
60	8 40	15 20	4 45	6 21	17 39	19 15
50	7 44	16 16	5 09	6 33	17 27	18 51
	Февраль		Май			
60	7 26	16 34	3 28	6 42	17 18	20 32
50	7 04	16 56	4 19	7 06	16 54	19 41
	Март		Июнь			
60	6 10	17 50	2 36	7 00	17 00	21 24
50	6 06	17 54	3 50	7 30	16 30	20 10
	Октябрь		Июль			
60	6 52	17 08	2 56	6 52	17 08	21 04
50	6 34	17 26	4 01	7 18	16 42	19 59
	Ноябрь		Август			
60	8 12	15 48	4 07	6 33	17 27	19 53
50	7 28	16 32	4 43	6 48	17 12	19 17
	Декабрь		Сентябрь			
60	9 02	14 58	5 31	6 07	17 53	18 29
50	7 56	16 04	5 39	6 11	17 49	18 21

Примечание:

1. Время указано истинное солнечное, п.д. - полярный день, п.н. - полярная ночь.
2. Время начала и конца облучения южных стен в зимний период, а северных стен в летний период совпадает с восходом и заходом солнца.
3. В летний период время начала облучения солнечной радиацией южных стен совпадает с концом облучения северных стен и наоборот.
4. Время начала облучения восточных стен совпадает с восходом Солнца; конец облучения в 12 ч. Время конца облучения западных стен совпадает с заходом Солнца, начало облучения в 12 ч.



Для формирования экологически благоприятной городской среды и создания оптимальных условий проживания важно на стадии проектирования определить ширину, направление улиц и высоту зданий. Ниже описан разработанный в ГГО простой графический метод для расчёта инсоляции стен зданий и придомовых территорий при различных параметрах линейной застройки, позволяющий на количественной основе осуществлять сравнительную оценку инсоляционных ресурсов различных типов застройки для выработки климатически обеспеченных оптимальных градостроительных концепций и решений.

При линейной двухсторонней застройке улицы угол закрытости горизонта противоположными домами будет иметь максимальное значение, когда азимут Солнца совпадает с азимутом нормали к стене (Солнце находится перед стеной). Чем больше азимут Солнца отклоняется от азимута нормали, тем меньше угол закрытости горизонта.

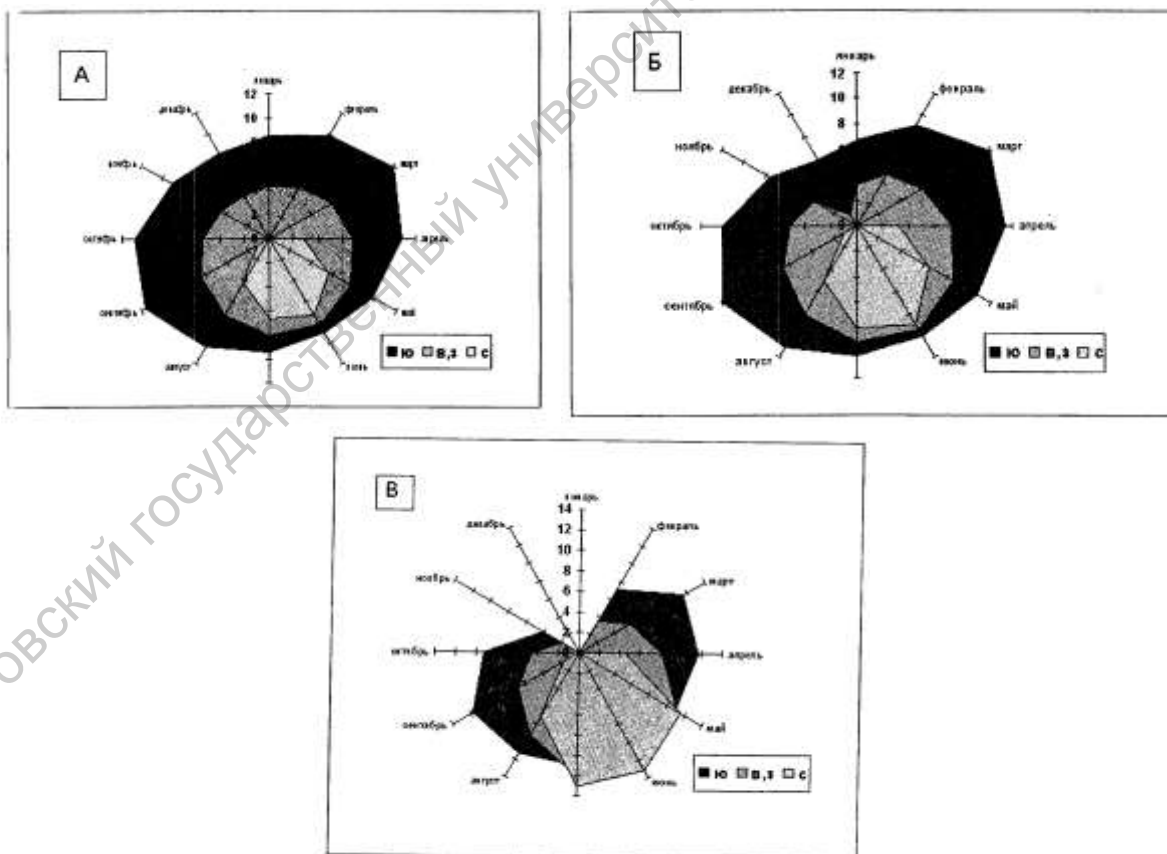


Рис. 4.1. Продолжительность инсоляции помещений: А:  $\varphi = 50^\circ$ , Б:  $\varphi = 60^\circ$ , В:  $\varphi = 70^\circ$

Для решения задачи будем рассматривать прямолинейную улицу постоянной ширины ( $L$ ), застроенную зданиями, имеющими постоянную высоту с каждой стороны улицы на всем её протяжении. Тогда, угол закрытости горизонта можно определить по формуле:

$$\operatorname{tg}\beta(f) = m \cdot \cos(f - f_n), \quad (4.2)$$

где параметр застройки  $m = (H - h)/L$  характеризует угол закрытости горизонта противоположной стеной, высота которой  $H$ , для участка затененной стены, расположенного на высоте  $h$ ;  $f$  – азимут рассматриваемого направления с участка затененной стены,  $f_n$  – азимут нормали к затенённой стене.

При прохождении Солнца через азимут  $f$  оно будет освещать стену (или ее часть) лишь в том случае, если высота Солнца ( $h_o$ ) будет больше угла закрытости горизонта ( $\beta$ ). Таким образом, моменты начала и окончания периода инсоляции определяются из уравнения:

$$h_o(f) = \beta(f) \quad (4.3)$$

Высота и азимут Солнца вычисляются по известным формулам астрономии:

$$\text{-----} \quad (4.4)$$

$$\sin h_o = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega, \quad (4.5)$$

где  $\delta$  – склонение Солнца,  $\varphi$  – географическая широта,  $\Omega$  – часовой угол Солнца в данный момент времени. Для зданий в условиях застройки с учётом уравнения (4.4) условие (4.2) может быть записано в виде:

$$\operatorname{arctg} [m \cdot \cos(f - f_n)] = \operatorname{arcsin} (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \Omega) \quad (4.6)$$

Решая уравнение 4.6, можно определить моменты начала и конца периодов, в течение которых стена данной ориентации может, в зависимости от сочетания геометрических и географических факторов, освещаться Солнцем.

На основании вышеизложенных теоретических положений разработан графический метод определения режима инсоляции стен зданий при линейном типе застройки, отвечающий основным требованиям, предъявляемым к методам расчёта в области архитектурно-строительного проектирования, а именно, об-

ладает наглядностью и простотой решения задач по инсоляции, возникающих в процессе разработки концепций [Пигольцина, 2003].

Суть метода заключается в следующем. Известно, что часовые коэффициенты  $Kв$ , представляющие собой коэффициенты для перехода от радиации на горизонтальной поверхности к поступающей на вертикальную, вычисляются по [Кондратьев, 1965]

$$Kв = \cos (fo - fn) / \operatorname{tg} ho, \quad (4.7)$$

где  $fo$  – азимут Солнца,  $fn$  – азимут нормали к стене,  $ho$  – высота Солнца.

В результате совместного решения уравнений 4.1. и 4.6, получается следующее выражение:

$$\operatorname{tg}\beta / \operatorname{tg}ho = m \cdot Kв \quad (4.8)$$

Согласно условию 4.3, моменты начала и конца инсоляции будут определяться соотношением:

$$m \cdot Kв = 1 \quad (4.9)$$

Если это соотношение больше 1, то стена не инсолируется, если  $m \cdot Kв < 1$ , то стена облучается прямыми солнечными лучами.

Таким образом, если построить график суточного хода коэффициентов  $Kв$ , по оси абсцисс которого откладывается истинное солнечное время  $to$ , и пересечь кривые  $Kв$  горизонтальными линиями, ординаты которых равны  $1/m$ , то точки пересечения кривых  $Kв$  и прямых  $1/m$  определяют время начала (или конца) облучения стен при заданных параметрах застройки  $m$ .

Значения коэффициентов  $Kв$  зависят только от астрономических факторов и легко рассчитываются. Имея такую (один раз рассчитанную) таблицу, можно без труда построить графики  $Kв$  и определить время начала, конца и продолжительность инсоляции стен для любых параметров линейной застройки, широт и времени года.

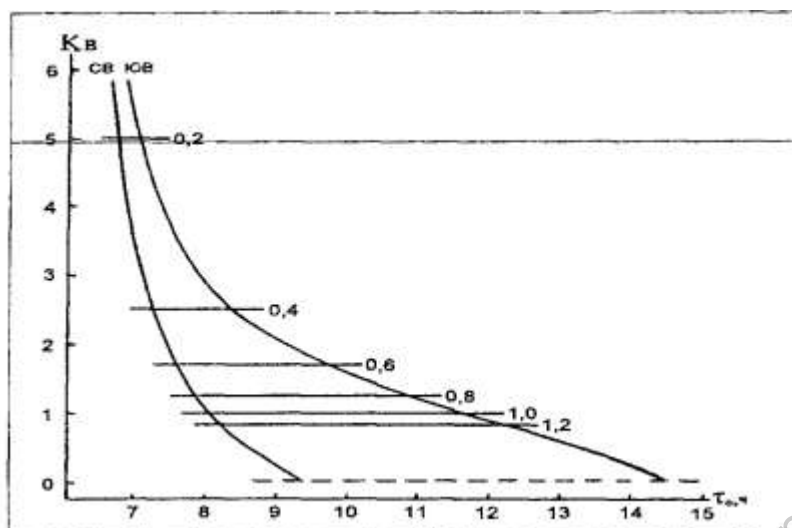


Рис. 4.2. Номограмма для определения времени инсоляции стен СВ и ЮВ ориентации при различных значениях параметра застройки ( $m$ ) в день равноденствия. Широта  $52^{\circ}$ с.ш. Условные обозначения:  $K_v$  - часовые коэффициенты для перехода от радиации на горизонтальной поверхности, к поступающей на вертикальную;  $t_0$  - истинное солнечное время в часах; цифры на ординатах - значения параметра застройки  $m$ .

На рис. 4.2 в качестве примера приведена номограмма для определения времени инсоляции стен СВ и ЮВ ориентации в день равноденствия на широте  $52^{\circ}$ с.ш. при различных параметрах линейной застройки. Точки пересечения кривых  $K_v$  и горизонтальных линий показывают время начала облучения стен при разных параметрах  $m$ , обозначенных на изолиниях. Моменты окончания инсоляции стен соответствуют значениям  $K_v=0$ , отмеченным на графике пунктирной линией. По приведенной номограмме можно определить как изменение режима инсоляции стен в зависимости от их ориентации при определенных значениях параметра застройки, так и изменение инсоляции стен конкретной ориентации в зависимости от величины параметра  $m$ . На данный график можно нанести кривые  $K_v$  одновременно для стен всех ориентации, что даст наглядную картину изменения режима инсоляции стен по всему кругу горизонта, то есть при любом направлении улиц.

Наиболее удобным средством для определения времени облученности конкретного проектируемого дома являются номограммы Рейдата или солнечные карты, широко используемые за рубежом и реже в России. На номограмме для соответствующей широты места отмечается затенение места строительства

близлежащими препятствиями (зданиями, деревьями и т.д.). Предварительно составляется план окружающих место строительства построек и растительности.

На рис. 4.3а изображен такой план для конкретного примера. Измеряются: расстояние до затеняющего предмета, его высота, поперечный и продольный размеры. Затем составляется вспомогательный график угловых размеров всех затеняющих предметов (см. рис. 4.3 б). По угловым размерам, затеняющим здание, составляется теневая маска на номограмме Рейдата. Подробное описание номограмм Рейдата можно найти в книге [Маркус, Моррис, 1985].

Основу номограмм составляет стереографическая проекция небесной сферы с изображенными на ней траекториями Солнца. Ряд концентрических окружностей представляют высоты Солнца, а по внешнему краю сферы могут быть указаны азимуты в масштабе от 0 до 80°. По такой сфере при наложении на нее соответствующих планшетов могут быть определены высота и азимут Солнца для любой даты и любого времени, а также угол падения лучей на поверхности с различными углами наклона. Каждая такая номограмма составляется для определенной широты. Ее можно использовать для той же широты в другом полушарии.

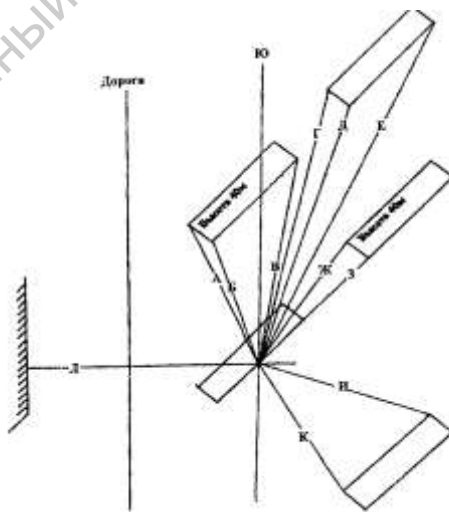


Рис. 4.3.а План-схема затеняющих здание объектов



Рис.4.3.б Угловые размеры затеняющих здание объектов



- выбрать из [Маркус, Моррис, 1985] номограмму, соответствующую широте предполагаемой стройки;
- составить план застройки вокруг выбираемого места, измерить расстояние до ближайших препятствий, их высоту, широту и длину, а для деревьев - диаметр окружности, в которую вписывается крона дерева, измерить угловые размеры препятствий (схема измерения показана на рис.4.3);
- нанести изображения препятствий на номограмму (построить теневую маску);
- пользуясь номограммой, на которой изображены и оцифрованы суточные траектории движения солнца для центральной и последней даты каждого месяца, определить периоды, когда строительная площадка освещена.

После того, как зафиксировано место строительства, для принятия архитектурного решения (расположения окон, балконов и др.) следует по этой же номограмме оценить освещенность различно ориентированных стен зданий при том или ином варианте посадки здания в месте строительства (осевая линия здания может быть направлена под различными углами к меридиану).

Для того, чтобы определить облученность Солнцем конкретной стены нужно вырезать сектор на номограмме и соответствующие ему часы суток, когда освещается выбранная стена. Дальше продолжительность, начало и конец облучения стены Солнцем определяют по номограмме указанным выше способом. Строгое определение теневых углов для каждой стены здания и наклонных поверхностей (при разных углах наклона) можно найти в книге [Маркус, Моррис, 1985]. Следует отметить, что облученность зданий, как правило, в реальных условиях, особенно в высоких широтах, сокращается из-за облаков. Поэтому возможное число часов облученности здания следует уменьшить, опираясь на продолжительность солнечного сияния.

## 5. Методы оценки ветрового режима

При организации жилой застройки необходимо обеспечить хорошую аэрацию строящегося города и каждой из его частей. От ветрового режима зависит ориентированность и раскрытость элементов застройки. В одних условиях климата наиболее приемлема так называемая свободная застройка, раскрытая в обе стороны. В такой застройке создаются условия для хорошего проветривания. В других случаях следует предпочесть замкнутые группы домов, застроенные по периметру. Иногда сильный ветер и частая пурга вынуждают формировать застройку в виде обтекаемых групп домов со сквозными продуваемыми пространствами между ними. Вновь строящееся здание должно вписываться в имеющуюся или планируемую застройку. Таким образом, задачей климатолога при посадке здания на местности и при принятии архитектурного решения, является представление не только климатологических данных о ветре на ближайшей метеостанции, но и характеристика трансформированного воздушного потока, обтекающего фрагмент застройки. Данная информация имеет вид двух роз ветров: повторяемости различных направлений ветра и средних скоростей ветра по направлениям.

Трансформация воздушного потока при обтекании им зданий различной формы исследовалась многими авторами. ГГО организовывало микроклиматические съемки в нескольких городах [Романова, 2000]. В результате были получены коэффициенты изменения скорости ветра в жилых массивах. В условиях свободной застройки без зеленых насаждений существенного (до 50-60%) снижения скорости ветра в среднем не наблюдается, и даже напротив, нередко отмечается ее увеличение. Максимальное увеличение скорости ветра создается на торцевых разрывах ( $k=1,2 - 1,5$ ), где происходит сильное сужение воздушного потока. Направление ветра здесь или совпадает с осевым или составляет с ним угол  $90^\circ$ . Первый случай наблюдается тогда, когда основной направлен вдоль разрыва (в Санкт-Петербурге при западных и восточных ветрах), второй – при направлении основного потока поперек разрыва (южные и северные ветры).



Заметное снижение скорости ветра ( $k = 0,5-0,7$ ) имеет место лишь у торцов зданий, в области интенсивных завихрений. Направление ветра на углах зданий может быть любым, что типично вообще для вихревой зоны.

Ветровые характеристики вдоль фасадов зданий изменяются следующим образом. При ветрах, перпендикулярных к фасаду здания, воздушный поток поворачивает примерно на  $90^\circ$ , т. е. ветер дует вдоль здания, причем скорости ветра практически не меняются, или несколько уменьшены. Наветренная и подветренная стороны фасада в этом случае по скорости ветра различаются между собой очень мало, направления ветра обычно тоже совпадают, но иногда могут быть противоположными.

При ветрах, дующих вдоль фасада, скорости ветра несколько увеличены ( $k=1,1-1,2$ ), направление всегда совпадает с основным.

В центре свободной площадки среди зданий ветровые характеристики очень изменчивы. Направление ветра в центре застройки может совпадать с основным, отличаться от него на  $90$  и даже на  $180^\circ$ . Скорости ветра могут быть как меньше, так и больше, чем на контрольном пункте ( $k = 0,8-1,2$ ).

Точки, расположенные в центре незамкнутого элемента застройки, характеризуются четко выраженными закономерностями. Если воздушный поток имеет свободный доступ на территорию, ограниченную зданиями, направление ветра здесь всегда совпадает с основным, скорости несколько увеличены ( $k \sim 1,1$ ). Если же фасады здания являются препятствием для воздушного потока, то направление ветра в этих точках параллельно фасаду здания или же составляет с ними угол не более  $45^\circ$ . Скорости ветра несколько больше ( $k = 1,1-1,2$ ).

Наличие древесно-кустарниковой растительности вдоль фасада здания снижает скорость ветра на  $25-35\%$  в торцевом разрыве. Совершенно очевидно, что под влиянием зеленых насаждений наблюдается улучшение микроклиматических условий в нижнем слое воздуха. При отсутствии зеленых насаждений зона ослабленных скоростей ветра  $k=0,5-0,9$  занимает всего около  $20\%$  территории застройки, зона усиления остра ( $k=1,2-1,5$ ) около  $30-35\%$ . Если же вдоль фасадов домов имеются древесно-кустарниковые насаждения, то прак-

тически большого усилении скорости в приземном слое в пределах рассматриваемого типа застройки не наблюдается, при этом зона ослабления ветра по площади не возрастает, но скорости значительно уменьшаются ( $k < 0,5$ ).

Следует подчеркнуть, что размещение зеленых насаждений вдоль фасада домов способствует уменьшению скоростей ветра на торцевых разрывах и в то же время не нарушает аэрацию территории застройки.

## 6. Методы биоклиматической оценки городов

Оценка биоклимата является логическим завершением исследований, касающихся изучения климата территорий городов. Для этой цели специалистами по медицинской климатологии разработан ряд биоклиматических показателей, полученных на основе параллельных физиологических и метеорологических наблюдений. Наибольшее распространение на практике получили комплексные показатели, отражающие тепловое состояние человека, поскольку климат и погода влияют, прежде всего, на термический режим организма и его функциональная деятельность во многом зависит от условий теплообмена с окружающей средой.

Тепловое состояние человека определяется его физиологическими показателями, физической нагрузкой, теплозащитными свойствами одежды, а более всего комплексом метеорологических факторов, основными из которых являются температура и влажность воздуха, солнечная радиация и скорость ветра.

Установлено, что человек испытывает тепловой комфорт в том случае, когда его терморегуляторная система находится в состоянии наименьшего напряжения, однако метеорологические условия могут в значительной степени влиять на нее. Так, низкая температура воздуха вызывает ощущение холодного дискомфорта, который существенно возрастает с увеличением скорости ветра и повышением влажности воздуха.

В жарком климате при температуре воздуха, близкой к температуре тела или превышающей ее, даже ветер не всегда приносит ощущение свежести, а

сочетание высокой температуры и высокой влажности воздуха, как правило, вызывает состояние духоты, дополнительно повышая тепловую нагрузку (поступление к телу избыточного тепла от внешних факторов и тепловыделение в самом организме). При этом возможны изменения физиологических функций, которые вызывают не только нарушение термического режима, но и снижение общей сопротивляемости организма человека. Из большого разнообразия существующих в биоклиматологии показателей для биоклиматической оценки городов целесообразно применять комплексные показатели, отражающие тепловое состояние человека: 1) температурные шкалы и индексы, 2) тепловой баланс тела человека, 3) классификации погоды по степени ее благоприятного воздействия на человека.

Эти показатели позволяют оценить биоклиматические ресурсы конкретных территорий, определить их рекреационный потенциал, обосновать целесообразность мелиоративных мероприятий, направленных на ослабление тепловых или холодных нагрузок, решить ряд частных задач, связанных с оптимизацией биоклимата.

**Температурные шкалы.** Для оценки биоклимата городов, расположенных в различных климатических зонах, наиболее приемлемыми, обеспечивающими сравнимость результатов нам представляются следующие температурные шкалы: эквивалентно-эффективные температуры (ЭЭТ) и радиационно-эквивалентно-эффективные температуры (РЭЭТ), учитывающие комплексное воздействие температуры, влажности воздуха и скорости ветра (ЭЭТ), а также в дополнение к этому солнечной радиации (РЭЭТ) на теплоощущение человека. Основой для создания шкалы эффективных температур явились данные опроса нескольких сотен лиц об их тепловом самочувствии и субъективной оценке теплового состояния среды при переходе из одной биокамеры в другую, с разными температурой и влажностью воздуха. При этом выяснилось, что при штиле и полной насыщенности воздуха влагой изменение теплоощущения зависит только от изменения температуры воздуха; поэтому для таких условий величина теплоощущения может быть описана температурой в градусах, но не обычной

температурой, а эффективной, т. е. учитывающей также относительную влажность и скорость ветра.

Одно и то же теплоощущение, одна и та же эффективная температура могут наблюдаться при различных комбинациях рассматриваемых метеорологических показателей. Например, аналогичные теплоощущения возникают при следующих условиях:

температуре воздуха 18,0 °С, относительной влажности 100 % и штиле;  
температуре воздуха 24,5 °С, относительной влажности 100 % и ветре 2 м/с;

температуре воздуха 28,0 °С, относительной влажности 50 % и ветре 3 м/с;  
температуре воздуха 31,0 °С, относительной влажности 10 % и ветре 5 м/с.

Следовательно, возможное повышение температуры поверхности тела за счет какого-либо из основных метеорологических факторов может не наступить ввиду одновременного охлаждающего воздействия других.

Таким образом, под эффективной температурой понимают комплексное воздействие на человека температуры воздуха, скорости ветра и относительной влажности, эффект теплоощущения которого соответствует воздействию неподвижного, полностью насыщенного влагой воздуха при определенной температуре, чаще ее называют эквивалентно-эффективной температурой.

В настоящее время разработаны две оценочные шкалы: основная – для обнаженного человека (эквивалентно-эффективная температура, ЭЭТ) и нормальная – для человека, одетого в обычную, стандартную одежду (нормальная эквивалентно-эффективная температура, НЭЭТ).

К группе температурных шкал и индексов для теплого периода года, обеспечивающих приемлемую сравнимость результатов относят: эквивалентно-эффективные температуры (ЭЭТ), учитывающие комплексное воздействие температуры, влажности воздуха и скорости ветра; радиационно-эквивалентно-эффективные температуры (РЭЭТ), учитывающее еще и влияние солнечной радиации на теплоощущение человека.

Впервые попытку оценить тепловое состояние человека и степень дискомфорта предприняли Хаутон и Яглоу в 1923г., вводя термин «эффективная температура» (ЭТ), т.е. температура неподвижного воздуха, насыщенного водяным паром, вызывающая такие же теплоощущения, что и в реальной атмосфере. Математически ЭТ была выражена А.Миссенардом формулой:

$$ЭТ = t - 0,4 (t - 10) (1 - f / 100); \quad (6.1)$$

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

Основой для создания шкал эффективных температур явились данные опроса нескольких сотен лиц об их тепловом самочувствии и субъективной оценке теплового состояния среды при переходе из одной биокамеры в другую с разной температурой и влажностью воздуха. При этом выяснилось, что при штиле и полной насыщенности воздуха влагой изменение теплоощущения зависит только от изменения температуры воздуха, поэтому для таких условий его величина может быть описана температурой в градусах, но не обычной температурой, а эффективной, т.е. учитывающей также относительную влажность

В подвижном воздухе (при  $v > 0,2$  м/с) интенсивность теплообмена усиливается, и 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 ( $v=0$ ). Для учета совместного влияния температуры и влажности воздуха, скорости ветра на теплоощущения человека предложена эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). ЭЭТ – мера теплового ощущения человека, находящегося в покое; характеризуется показателем, отражающим комплексное воздействие температуры, влажности и скорости движения воздуха.

На практике ЭЭТ для раздетого человека (рис.6.1.А) и для одетого в одежду с теплоизоляцией 1ккло НЭЭТ (рис.6.1.В) оценивают по номограммам. Оценки находятся в точке пересечения прямой линии показания сухого ( $t_{\text{сух}}^{\circ}\text{C}$ ) и смоченного термометра ( $t_{\text{см}}^{\circ}\text{C}$ ) с кривой линией, соответствующей определенному значению скорости ветра. Градусы ЭЭТ здесь изображены короткими линиями,

пересекающими линии скорости ветра. Используется в климатотерапии для микроклиматической оценки мест проведения климатолечебных процедур (воздушных ванн, купаний). За величину КЛЮ, равную единице, физиологи и медики принимают теплоизоляционные свойства одежды, равные  $0,18 \text{ }^\circ\text{C}/\text{ккал}\cdot\text{м}^2\cdot\text{ч}$ , чему соответствуют примерно свойства комнатной одежды. В биоклиматологии температурные шкалы очень популярны, несмотря на необоснованность их с физиологической точки зрения. В таблице 6.1 приводится биоклиматическая классификация ЭЭТ, которая позволяет оценить теплоощущения обнаженного человека.

Аналитические оценки ЭЭТ (для раздетого человека) можно получить по формулам Б.А.Айзенштата:

$$\begin{aligned} \text{ЭЭТ} = t[1-0,003(100-f)] - 0,385 v^{0,59} [(36,6-t) + 0,662(V-1)] + \\ [(0,0015 v + 0,0008)(36,6-t) - 0,0167](100-f) \end{aligned} \quad (6.2)$$

или А Миссенарда (обнаженного по пояс):

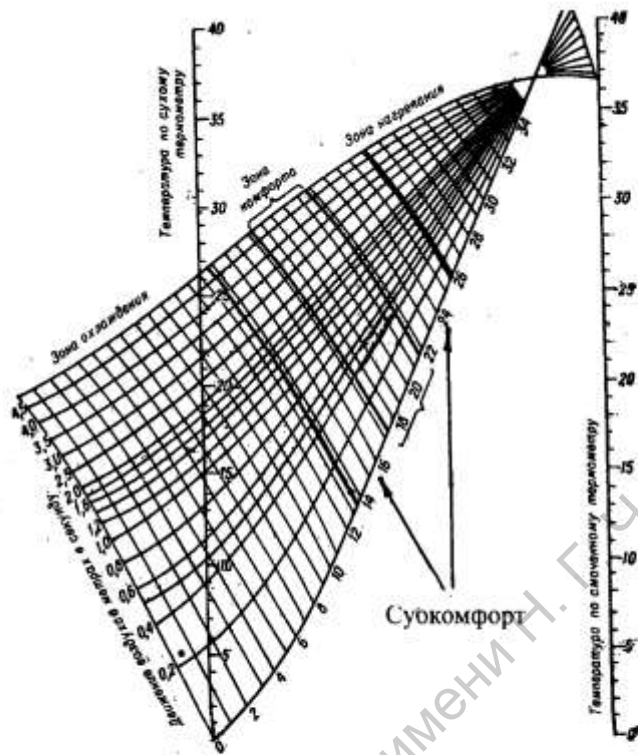
$$\text{ЭЭТ} = 37 - \{ [37-t] / [0,68 - 0,0014f + 1/(1,76 + 1,4 v^{0,75})] \} - 0,29t(1-f/100), \quad (6.3).$$

где  $v$  – скорость ветра, м/с,  $f$  – относительная влажность, %.

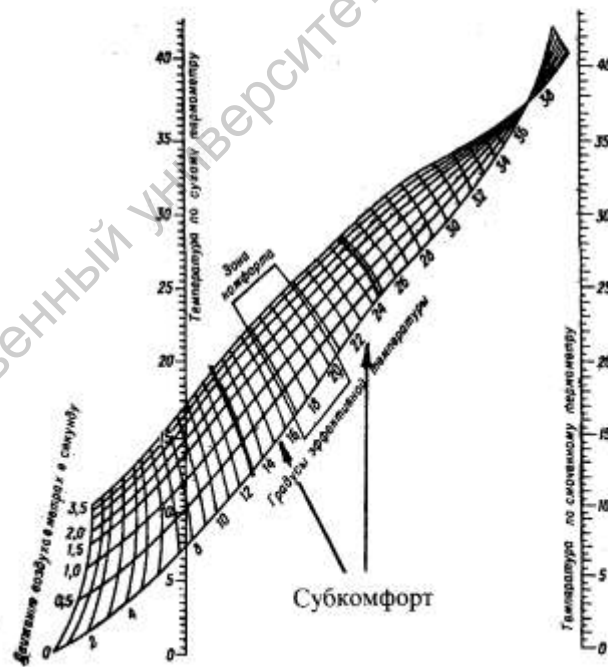
Таблица 6.1

Классификация тепловой чувствительности по значениям эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ)

ЭЭТ, $^\circ\text{C}$	Уровень комфорта
> 30	тепловая нагрузка сильная
24...30	тепловая нагрузка умеренная
18...24	комфортно – тепло
12...18	комфорт (умеренно-тепло)
6...12	прохладно
0...6	умеренно прохладно
0...-6	очень прохладно
-6...-12	умеренно холодно
-12...-18	холодно
-18...-24	очень холодно
<-24	угроза обморожения



А



В

Рис.6.1. Номограммы для вычисления эквивалентно-эффективной температуры для обнаженного (А) и для одетого (В) человека по В.А. Яковенко

В курортологии для оценки условий проведения климатотерапевтических процедур (аэро- и гелиотерапия) используют как ЭЭТ, так и РЭЭТ. Последняя

учитывает и влияние солнечной радиации на организм человека. РЭЭТ рассчитывается по формуле Г.В.Шелейховского:

$$PЭЭТ = 125 \lg [1 + 0,02t + 0,0001(t-8)(f-60) - 0,0045(33-t)\sqrt{V} + 0,185\rho]. \quad (6.4)$$

Здесь  $\rho$  – поглощенная поверхностью тела солнечная радиация:  $\rho = i(1-\alpha)$ , где  $i$  – интенсивность суммарной радиации;  $\alpha$  – альbedo кожи человека (0,28 для непигментированной кожи и 0,11 – для пигментированной). Для простоты определения РЭЭТ Шелейховский предложил номограмму (рис. 6.2). Распределение комфортных условий по величине РЭЭТ характеризует возможности гелиотерапии.

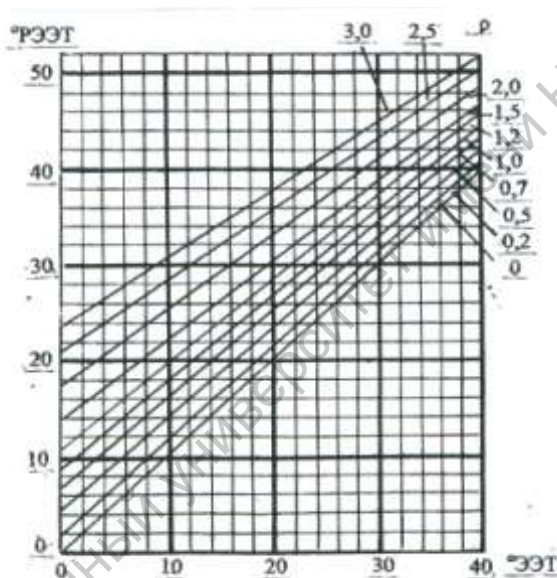


Рис. 6.2. Номограмма для расчета радиационной эквивалентно-эффективной температуры – РЭЭТ (по Г.В.Шелейховскому)

И.В.Бутьева предлагает более простые формулы для расчета НЭЭТ и РЭЭТ по величинам эквивалентно-эффективной температуры :

$$НЭЭТ = 0,8ЭЭТ + 7^{\circ}; \quad (6.5)$$

$$РЭЭТ = 0,83ЭЭТ + 12^{\circ}; \quad (6.6)$$

$$РЭЭТ = 6,2^{\circ} + НЭЭТ. \quad (6.7)$$

Все указанные величины рассчитываются на основе стандартных метеорологических и актинометрических наблюдений. Многочисленные опыты по определению теплоощущения нормально одетых людей при различных метеорологических условиях позволили выделить зоны комфорта, т.е границы НЭЭТ,



при которых испытываемые чувствовали себя наиболее оптимально: зоны комфорта находятся в пределах 17,2 – 21,7°.

Для Южного побережья Крыма рекомендуется зона комфорта – от 13,5 до 18,0°. Однако ряд авторов считают, что для теплого периода года на Европейской части России более подходят температуры в пределах 10-18°. Такое изменение диапазона комфорта объясняется большой изменчивостью погодных условий в течение теплого периода, поэтому происходит адаптация к ней населения средней полосы. Следовательно, диапазон НЭЭТ, в котором люди себя чувствуют комфортно, составляет 8°. Но со временем у большинства авторов сложилось мнение, что за зону комфорта можно принять интервал от 13,5 до 18,0°. Указанные зоны комфорта предназначены для здоровых людей. Для лиц с различными заболеваниями они могут сильно варьировать в зависимости от вида заболевания и географического района. Е.Н.Романова рекомендует при оценке биоклиматических ресурсов территорий, расположенных в различных климатических зонах России, в качестве комфорта принимать интервал ЭЭТ для южных районов 17-21°, средней полосы, Сибири и Приморья – 13,5-18°. ЭЭТ ниже указанных пределов характеризуют состояние охлаждения, а выше – перегрева.

Есть еще один условный температурный показатель – биологически активная температура окружающей человека среды (БАТ), учитывающий не только воздействие температуры воздуха, влажности воздуха, скорости ветра, суммарной радиации, но и длинноволновой радиации подстилающей поверхности. Он определяется по формуле:

$$\text{БАТ} = 9^{\circ}\text{C} + 0,8\text{НЭЭТ}, \quad (6.8)$$

зона комфорта для этого показателя заключена в пределах от 10 °С до 20 °С.

**Метод теплового баланса тела человека.** Научной основой построения уравнения теплового баланса тела человека, послужил установленный физиологами факт постоянства температуры «внутреннего ядра» организма. В этих условиях должно соблюдаться равенство теплотерь и тепlopоступлений организма, обеспечиваемое физиологическими реакциями терморегуляции. Тепло

к телу человека может поступать из окружающей среды от радиационных потоков солнечной радиации и излучения земной поверхности, теплообмена кожного покрова и верхних дыхательных путей с окружающим воздухом, а также в результате окислительных процессов при усвоении пищи – теплопродукции.

Основным источником тепла для организма человека является энергия, образующаяся в нем в процессе химических реакций биологического окисления. Окислению подвергаются в клетках организма питательные вещества – жиры, белки, углеводы. Эти превращения заканчиваются образованием воды, углекислого газа и освобождением тепловой энергии. Величину теплопродукции измеряют по количеству поглощенного кислорода. Энергетическая стоимость 1 литра поглощенного кислорода равна 5 ккал. Интенсивность теплопродукции постоянно меняется. Во время ходьбы она в 2-4 раза, а при очень напряженной работе в 7-10 раз выше, чем в состоянии покоя.

Теплопродукция организма зависит от физической нагрузки человека, увеличиваясь с ростом мышечной активности. При полном покое, когда общие энергетические затраты человека минимальны, теплопродукция организма поддерживается на наиболее низком уровне и соответствует величине «основного обмена», который равен  $80 \text{ Вт/м}^2$ . Теплопродукция у обнаженного человека в состоянии покоя, по данным ряда авторов, при температурах  $19-29^\circ$  не изменяется. На выполнение физической работы затрачивается лишь некоторая часть общей энергии, вырабатываемой организмом. Остальная часть энергии расходуется на нагревание организма и, в конечном счете, отдается во внешнюю среду. Для сравнительной характеристики условий рекреации, на наш взгляд, целесообразно использовать физическую нагрузку, которая соответствует очень легкой работе, за исключением занятий спортом. В табл. 6.2 приведены характерные величины общих энергетических затрат человека ( $Q_{\text{общ}}$ ), энергетические затраты на нагревание ( $q$ ) и минутный объем дыхания ( $W$ ) при различной физической активности человека.

Таблица 6.2

**Характерные величины общих энергетических затрат организма человека ( $Q_{\text{общ}}$ ), той ее части, которая затрачивается на нагревание организма ( $q$ ) и минутный объем дыхания ( $W$ ) при различной физической активности человека**

Характеристика физической активности	$Q_{\text{общ}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$q$ , Вт/м <sup>2</sup>	$W$ , л/мин
Покой	80	80	8
Очень легкая работа	116	116	10
Легкая работа	185	162	15
Работа средней тяжести	265	220	22
Тяжелая работа	520	410	44
Очень тяжелая работа	>700	>545	>58
Ходьба со скоростью 4,2 км/ч	175	150	14
Ходьба со скоростью 5,4 км/ч	260	215	22
Ходьба со скоростью 6,9 км/ч	445	355	37
Бег со скоростью 6 км/ч	700	545	58
Бег со скоростью 9 км/ч	795	615	66
Бег со скоростью 15 км/ч	915	705	76

Теплоощущения человека, в значительной степени, регулируют его индивидуальное поведение и предъявленные им требования к условиям внешней среды. Под тепловым состоянием человека следует понимать такое функциональное состояние организма, которое характеризуется содержанием и распределением тепла в «ядре» и «оболочке», с одной стороны, и степенью функционального напряжения аппарата терморегуляции – с другой. О тепловом состоянии организма человека можно судить в первую очередь по температуре кожи (периферические сосудистые реакции), теплопродукции (уровень окислительных процессов) и величине потоотделения (степень возбуждения центров термического потоотделения). Кроме того, имеют значения и гемодинамические показатели (частота пульса, артериальное давление и минутный объем крови), состав крови, тонус мускулатуры и др.

В результате многочисленных исследований было установлено, что тепловое состояние человека определяется, прежде всего, изменением температуры кожи, на поверхности которой имеются 30 тысяч тепловых и примерно 250 тысяч холодовых рецепторов (нервных окончаний), которые возбуждаются термическим влиянием метеорологических факторов. Они поставляют информацию об условиях в окружающей среде в центры терморегуляции, находящиеся в

головном мозге. При постоянной температуре тела температура кожи может изменяться в широких пределах – от 20 до 38° без значительного ущерба для всего организма. Человек испытывает различное теплоощущение, оцениваемое им субъективно как «холодно», «прохладно», «комфортно», «тепло». Объективная оценка теплового состояния человека производится по данным измерений температуры кожи с помощью термоэлектрического термометра или вычислений косвенным путем.

Тепловое состояние человека характеризуется температурой кожи не отдельных точек тела, а ее средним взвешенным значением, определенным для основных частей тела с учетом их площади. Соотношение между субъективными оценками теплоощущения человека и средней температурой кожи таковы: температура кожи 27,8-28,8° – очень холодно, 28,9-29,9° – холодно, 30,0-32,1° – прохладно, 32,2-33,2° – комфорт, 33,3-34,3° – тепло, 34,3-35,5° жарко, 35,6° и выше – очень жарко. Степень увлажнения кожи является необходимым условием испарения пота. В обычных условиях примерно 10% поверхности кожи влажные. В жарких условиях вся поверхность кожи влажная. Условия увлажнения кожи функционально связаны с температурой кожи.

Учитывая отмеченные факторы, определяющие тепловое состояние человека, можно написать уравнение теплового баланса тела человека в виде:

$$FLE = FR + FP + P_{л} - LE_{л} + q; \quad (6.9)$$

где  $LE$  – затраты тепла на испарение пота с единицы поверхности тела,  $R$  – радиационный баланс тела человека,  $P$  – теплообмен между телом человека и окружающим воздухом путем конвекции,  $P_{л}$  – теплообмен между поверхностью дыхательных путей и воздухом при дыхании,  $LE_{л}$  – затраты тепла на испарение с поверхности дыхательных путей при дыхании,  $q$  – теплопродукция организма,  $F$  – площадь поверхности тела,  $L$  – скрытая теплота испарения.

В том случае, когда суммарный поток тепла к телу человека оказывается больше или меньше общей величины теплопотерь, терморегуляторной системой организма осуществляется компенсация избытка или недостатка тепла с целью сохранения температуры внутренней зоны организма на постоянном уровне

37,0-37,2°C. Отклонения температуры тела от указанных пределов свидетельствует о перегреве или же переохлаждении организма. Постоянство температуры внутренней зоны поддерживается в основном путем потоотделения, теплопродукции и сосудистых реакций, которые регулируют интенсивность кровотока между периферическими и внутренними зонами тела человека.

При избыточном поступлении тепла к организму происходит выделение пота и расширение периферических сосудов, сопровождающееся усилением кровотока с внутренними зонами. Потеря тепла, связанная с испарением пота, ограничивает сколько-нибудь значительный подъем температуры кожи и тем самым поддерживает постоянство температуры внутреннего ядра организма. При этом сосудистые реакции обеспечивают приток крови, охлажденной в поверхностных тканях за счет испарения пота, к внутренней зоне, сохраняя тем самым постоянство ее температуры. Такова в самых общих чертах схема терморегуляции человека в условиях перегрева.

При охлаждении организма потоотделение практически прекращается, происходит сужение периферических сосудов и вместе с этим - ослабление кровотока с центральными зонами тела. При более значительном охлаждении появляется мышечная дрожь, при которой в организме выделяется дополнительное количество тепла. Следует отметить, что при потере тепла человек имеет возможность сознательно регулировать свое тепловое состояние. Используя соответствующую одежду и повышая, по мере надобности, физическую активность, он во многих случаях может обеспечить тепловое состояние близкое к оптимальному. Между тем, находясь на открытой местности и подвергаясь действию высоких температур и инсоляции, человек располагает более ограниченными возможностями ослабления тепловой нагрузки. В этих условиях практически единственным средством терморегуляции является испарение пота.

Еще в 1956 году М.И. Будыко предложил оценивать тепловое состояние и теплоощущения человека по предложенному им уравнению теплового баланса, с учетом влияния разнообразных факторов, таких как радиационные, метеорологические, ряд физиологических параметров, теплоизоляционные свойства оде-

жды. Однако массового применения этот метод не нашел из-за громоздких расчетов. В 1963 году В.И.Русанов предложил упрощенную формулу для расчета теплового баланса тела человека, введя промежуточный комплексный метеорологический показатель НЭЭТ. Автором была получена корреляционная зависимость между величиной теплового баланса человека, находящегося в состоянии покоя при условии, что солнечная радиация будет равна нулю и ЭЭТ, рассчитана по основной шкале. Коэффициент корреляции оказался равным  $0,953 \pm 0,017$ , что позволило описать уравнение теплового баланса формулой:

$$Q = 0,04 \text{ ЭЭТ} - 0,98. \quad (6.10)$$

Общий радиационный баланс тела человека  $FR$  складывается из коротковолнового  $FR_k$  и длинноволнового  $FR_d$  балансов:  $FR = FR_k + FR_d$ . Вид формулы  $FR_k$  зависит от принятой геометрической модели тела человека. Если в качестве аналога тела человека, находящегося в вертикальном положении, принять вертикальный круговой цилиндр, к единице поверхности которого поступает примерно столько же прямой радиации, как к единице поверхности тела человека, то  $FR_k$  выразится формулой:

$$FR_k = 300(1-A) [S (0,6 \cos h + 0,08 \sin h) + D + r] \quad (6.11)$$

Для человека, находящегося в согнутом положении целесообразно пользоваться моделью тела в форме шара. Для этого случая:

$$FR_k = 300 F (1-A) [ S / 2 + D + r ] \quad (6.12)$$

Для обеих моделей  $FR_d$  выражается формулой:

$$FR_d = 300 F \beta (t_z + t_a - 2t_k) \quad (6.13)$$

В формулах:  $S$  – интенсивность прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность, кал/см<sup>2</sup> мин;  $D, r$  – напряжение рассеянной и отраженной радиации в кал/см<sup>2</sup> мин;  $h$  – высота Солнца над горизонтом, град;  $A$  – альbedo кожи человека (для среднепигментированной кожи принимаемое обычно 0,3;  $t_z$  – температура поверхности почвы;  $t_a$  – радиационная температура атмосферы;  $t_k$  – средняя температура кожи человека, которую можно принять равной 33°;  $\beta$  – коэффициент, характеризующий теплообмен путем теплового излучения при

разности температур поверхности тела человека и окружающей среды в  $1^\circ$ , кал/см<sup>2</sup> мин град.

Величина теплообмена между телом человека и окружающим воздухом определяется выражением:

$$FP = 600 \cdot F \cdot \beta \cdot \alpha \cdot (t - t_k) \sqrt{b/b_0} \quad (6.14)$$

Здесь  $t$  – температура воздуха,  $t_k$  – температура кожи (равна  $33^\circ$ ),  $F$  – площадь поверхности тела (для среднего человека равна  $1,5 \text{ м}^2$ ),  $b$  – атмосферное давление на уровне станции,  $b_0 = 1000$  гПа. При небольшой высоте места можно считать  $b = b_0$ . В приведенной формуле  $\alpha$  – коэффициент теплообмена между телом и воздухом, который зависит от скорости ветра, определяющий интенсивность теплообмена (табл. 6.3). При температуре воздуха ниже температуры кожи имеет место отток тепла, т.е. величина  $FP$  отрицательна, а при более высоких – приток.

Таблица 6.3

**Значения  $\alpha$  кал/см<sup>2</sup> мин град при различных скоростях ветра  $V$  м/сек**

$V$	0,0	0,5	1,0	1,5	2	3	4	5	6	8
$\alpha$	0,0050	0,0135	0,0185	0,0227	0,0265	0,0333	0,0392	0,0446	0,0500	0,0594

Как показали расчеты, наиболее значимыми факторами, определяющими тепловое состояние человека в средней полосе России и, в частности в Саратове, является приток солнечной радиации и теплообмен между телом и окружающим его воздухом. Все другие факторы на 1-2 порядка меньше. В табл. 6.4 приведены рассчитанные средние многолетние составляющие теплового баланса тела человека для Саратова в июле.

Таблица 6.4

**Средние значения составляющих теплового баланса тела человека (Дж/с).**

**Саратов. Июль**

Показатель	Время суток														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$FR_k$	204	245	300	311	340	350	365	376	316	354	336	314	282	231	179
$FP$	-495	-516	-538	-538	-451	-409	-409	-399	-394	-377	-364	-383	-394	-355	-384
$P_{\lambda}$	-2,9	-2,8	-2,7	-2,4	-2,0	-2,0	-1,7	-1,6	-1,6	-1,6	-1,5	-1,5	-1,6	-1,7	-1,9
$LE_{\lambda}$	-9.9	-9.9	-9.7	-9.7	-9.7	-9.7	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9	-9.9
$q$	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116

Сравнение результатов расчета средневзвешенной температуры кожи по уравнению теплового баланса с данными наблюдений в натуральных условиях, выполненные И.С. Кандрором и др. показало их удовлетворительное совпадение. После того как методом последовательного приближения рассчитана средневзвешенная температура кожи в тех или иных метеорологических условиях, с помощью уравнения теплового баланса можно вычислить и величину наблюдающихся в этих условиях влагопотерь. Сопоставление рассчитанных и экспериментальных величин средневзвешенной температуры кожи и влагопотерь испарением в различных климатических условиях, показало, что они отличаются в 75% случаев не более чем на  $\pm 0,5^\circ$  и  $\pm 50$  г/час. Такая степень совпадения расчетных и экспериментальных данных представляется вполне достаточной, так как соответствует их индивидуальным отклонениям, наблюдаемым в экспериментах у различных лиц и у одного и того же человека в разные дни при аналогичных метеорологических условиях. В этой связи, на наш взгляд, целесообразно для сравнительной оценки рекреационных условий различных территорий использовать метод теплового баланса тела человека, предложенный М.И. Будыко и разработанный Б.А. Айзенштатом.

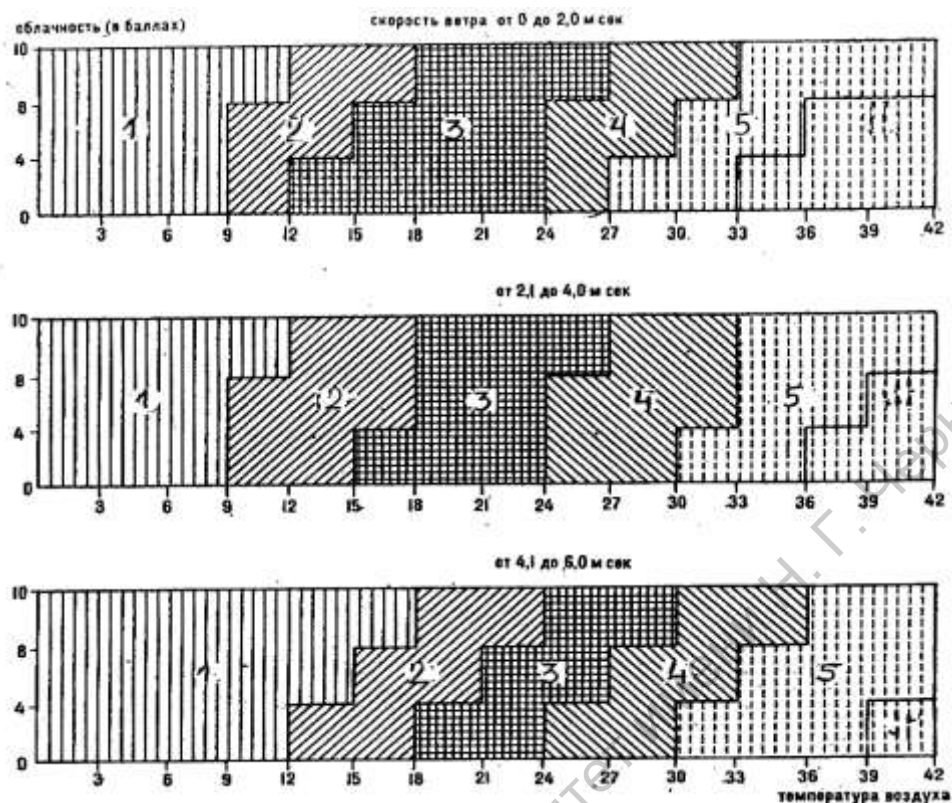
Все приведенные методы оценки теплового состояния тела человека учитывают температуру воздуха, относительную влажность и скорость ветра. Причем, зависимость теплоощущений человека от скорости ветра значительно выше, чем от влажности воздуха и носит функциональный характер. Поэтому, зная частоту сочетания тех или иных значений температуры воздуха и скорости ветра, температуры воздуха и относительной влажности, можно судить о повторяемости различных тепловых нагрузок.

**Методы комплексной климатологии.** При оценке воздействия климата на организм человека широкое распространение получил также и методы комплексной климатологии, предложенные Е.Е. Федоровым и впоследствии развитые Л.А. Чубуковым. Эти методы основаны на выделении типов погоды, а характеристика климата дается по их совокупности и последовательности. Для медицинских целей и рекреации он реализован в двух вариантах.



В.И. Русанов при классификации погоды момента все многообразие метеорологических условий теплого и холодного периодов года объединил в типы и классы погоды. Каждый тип погоды определяется строго ограниченными интервалами температуры и влажности воздуха, скорости ветра и облачности нижнего яруса. Последняя рассматривается как косвенный показатель радиационного режима. Этот метод позволяет получить фоновую картину особенностей распределения погодных условий применительно к тепловому состоянию человека. Предложенный метод, как и другие, в основу которых заложен принцип комплексной климатологии, нагляден и удобен для практического использования, поэтому он довольно часто применяется при биоклиматической характеристике климата отдельных регионов и городов. К недостаткам метода относится то, что классификация типов погоды момента холодного времени года выполнена практически без учета относительной влажности воздуха, хотя совершенно очевидно, что отрицательные температуры в сочетании с высокой относительной влажностью усиливают ощущение дискомфорта.

Н.А. Даниловой предложена своя методика оценки воздействия климатических и погодных условий на организм здорового человека, в основе которой лежат физиологические принципы санитарно-климатического районирования территории, разработанные И.С. Кандрором, Д.М. Деминой и Е.М. Ратнер. Типизация базируется на учете повторяемости определенных типов погоды, вызывающих то или иное тепловое состояние организма человека, обуславливающих определенную степень напряжения его терморегуляционных механизмов. Предложенная Н.А. Даниловой климатофизиологическая типизация погоды (рис.6.3) предназначена для условий с оптимальной относительной влажностью, которая по оценкам гигиенистов колеблется от 30 до 70%, при этом предполагается, что изменение относительной влажности воздуха сравнительно мало отражается на тепловом состоянии человека. Однако не исключено, что повышенное влагосодержание воздуха, особенно на фоне высокой температуры, может вызвать ощущение духоты даже у людей с минимальной реакцией на изменчивость погоды.



**Рис. 6.3. Оценочная шкала определения степени благоприятности погоды по Н.А.Даниловой.**

1 – холодная дискомфортная; 2 – прохладная субкомфортная; 3 – комфортная; 4 – жаркая субкомфортная; 5 – жаркая дискомфортная.

Н.А. Данилова рекомендует разработанную ею методику только для регионов с оптимальной относительной влажностью воздуха. Правомерность этого замечания подтвердила оценка биотермических условий Туапсе и Владивостока, где часто наблюдается душная погода. Так в Туапсе сочетание высокой температуры и влажности воздуха создают ощущение духоты. Непосредственная близость моря и защищенность города горами способствуют формированию довольно длительного периода с душной погодой. Во Владивостоке продолжительность благоприятного по биоклимату периода, рассчитанного по методике Н.А.Даниловой, колеблется от 105 дней в городе до 140 дней в пригородах. Однако в июле и августе характерна большая повторяемость душной погоды. В июле число таких дней может превышать 15-20. Нередки случаи, когда условия,

соответствующие состоянию сильной духоты, непрерывно сохраняется в течение суток.

**Индекс патогенности.** Для учета в оценке климато-рекреационного потенциала раздражающих условий окружающей среды В.Г. Бокша предлагает вычислять индекс патогенности по основным метеорологическим параметрам: температуре воздуха ( $I_t$ ), относительной влажности ( $I_f$ ), скорости ветра ( $I_v$ ), облачности ( $I_n$ ), межсуточной изменчивости атмосферного давления ( $I_{\Delta p}$ ) и изменчивости температуры воздуха ( $I_{\Delta t}$ ). Индекс патогенности облачности вычисляется как  $I_n = 10 - 10S_{\phi}/S_m$ , где  $S_{\phi}$  – фактическая продолжительность солнечного сияния (часы);  $S_m$  – максимально возможная продолжительность солнечного сияния (часы). Можно привлекать дополнительные факторы, например электрическую активность атмосферы, солнечную активность (СА) и т.д. Общий индекс равен сумме частных индексов:

$$I = I_t + I_f + I_v + I_n + I_{\Delta p} + I_{\Delta t}. \quad (6.15)$$

$$I = 10^{[(f-70)/20]} + 0,2v^2 + 0,06n^2 + 0,06(\Delta p)^2 + 0,3(\Delta t)^2 + I_t. \quad (6.16)$$

$$I_t = 0,02(18 - t)^2 \text{ при } t < 18^{\circ}; \quad I_t = 0,02(t - 18^{\circ})^2 \text{ при } t > 18^{\circ}. \quad (6.17)$$

Уточнив классификацию В.Г. Бокши, ю.п. Хрусталева, С.С. Андреева и Ю.Г. Анриади рекомендует производить классификацию раздражающего воздействия погодных условий в соответствии с таблицей 6.4. Оценивая уровень раздражения человеческого организма по индексу патогенности метеорологической ситуации следует понимать, что суммарное значение данного индекса указывает на степень раздражающего воздействия погодных факторов на организм, но не на характер их изменений.

Таблица 6.4

**Классификация погодных условий [25]**

Индекс патогенности метеорологической ситуации	Погодные условия
0...9,9	Оптимальные (комфортные)
10...16	Слабо раздражающие
16,1...18	Умеренно раздражающие
18,1...24	Сильно раздражающие
Более 24,1	Острые

Индекс патогенности надо рассматривать как математическую функцию параметров патогенности погоды, куда включены межсуточная изменчивость и отклонения основных метеорологических элементов от их средних или оптимальных значений, являющихся обычным для организма среднего человека, т.е. не вызывающих у него отрицательных реакций. Минимум метеопатических реакций возникает если: температура воздуха  $+18^{\circ}$ , относительная влажность 50%, скорость ветра 0 м/с, облачность 0 баллов, изменчивость атмосферного давления 0 гПа/сут, изменчивость температуры  $0^{\circ}\text{C}/\text{сут}$ .

**Оценка холодного периода.** Наибольшие трудности возникают при оценке состояния человека в зимний период, особенно в районах с холодными и очень холодными (суровыми) погодными условиями в эту пору года. Для оценки суровости погод зимнего периода в настоящее время предложено довольно большое число методов. Одним из наиболее популярных методов оценки суровости погоды является метод Бодмана. Балл «жесткости» погоды рассчитывается по формуле:  $S = 1 - 0,04 \cdot t - 1 + 0,272 \cdot v$ . Формула проверялась рядом ученых и было отмечено, что метод мало выдержан в физиологическом отношении. И.М. Осокин попытался «поправить» формулу, но его поправки не улучшили ее. Бодман предложил шкалу, по которой в зависимости от температуры воздуха и скорости ветра определяется балл суровости. При  $S < 1$  зима не суровая, мягкая; 2-3 балла - умеренно суровая; 3-4 балла – суровая; 4-5 баллов – очень суровая; 5-6 – жестко суровая и 6 баллов и более – крайне суровая.

Индекс Сайпла также основан на учете влияния температуры воздуха и скорости ветра на суровость погоды:  $W = \sqrt{100v + 10,45 - v} - 33 - t$ . Оценка теплоощущения проводится в виде шкалы величин теплопотерь, выражаемых в ккал/м<sup>2</sup>·ч: до 600 – прохладно; до 800 – холодно; до 1000 – очень холодно; до 1200 – жестко холодно и до 2500 – невыносимо холодно. Ветро-холодовой индекс Сайпла более, чем баллы Бодмана, отражают ощущение холода, которое испытывает человек, хотя и он не имеет научного обоснования.

И.А. Арнольди в результате экспедиционных исследований в районах Крайнего Севера предложил в качестве оценки «жесткости» погоды коэффи-

циент в виде:  $T = T_g - 2 \cdot V$ , где  $T_g$  – температура воздуха. И.В. Арнольди установил четкую связь между увеличением коэффициента жесткости погоды и понижением температуры кожи щеки у людей, работающих на открытом воздухе зимой. Он считает, что увеличение скорости ветра на 1 м/с условно приравнивается к понижению температуры воздуха на 2°. Согласно приведенной формуле, погода, оцененная в 30 баллов жесткости, ограничивает пребывание и производство работ на воздухе, а в 45 баллов – делает его недопустимым.

В дальнейшем В.И. Русанов, анализируя существующие показатели суровости зимних погод, приходит к выводу, что зависимость между скоростью ветра и его охлаждающей способностью подчиняется не линейному закону, как это следует из формулы Арнольди, а параболическому, т.е. холодная нагрузка на человека существенно увеличивается при скорости ветра до 5 м/с и медленней при больших скоростях.

Для оценки степени дискомфорта различных типов городской застройки и их мелиоративных возможностей в зависимости от радиационно-термического и ветрового режима холодного полугодия В.Н.Адаменко и К.Ш.Хайруллин. предложили метод «приведенных температур», под которыми они понимают температуру воздуха при штиле. Величина «приведенной температуры» определяется по формуле:

$$t_{np} = t_g - 8,2 \sqrt{V} + Q, \quad (6.18)$$

где  $t_g$  – температура воздуха;  $V$  – скорость ветра;  $Q$  – радиационная добавка смягчающая холодовой дискомфорт при достижении определенной величины обогрева лица и рук. Ощутимый результат радиационная добавка дает лишь в те месяцы, когда высота Солнца в полдень составляет 15° и более, в других случаях достаточно учитывать лишь роль ветра. Высота Солнца зимой для условий Саратова существенна лишь в феврале, когда в полдень она составляет 25°, поэтому в наших расчетах эту добавку мы не учитывали. Авторы приведенной формулы (6.18), предложили пороговые значения приведенной температуры воздуха по степени неблагоприятного воздействия на тепловой режим человека:

- I)  $t_{np} > -17^{\circ}$  – никаких ограничений для пребывания людей на открытом воздухе;
- II)  $t_{np} < -17^{\circ}$  – частичное ограничение пребывания на улице только ослабленных людей или людей с расстройством сердечно-сосудистой системы;
- III)  $t_{np} < -28^{\circ}$  – условия слабого дискомфорта: при нахождении на открытом воздухе в движении или на работе необходим 10-15-минутный обогрев в теплом помещении через каждые 40-50 минут;
- IV)  $t_{np} < -38^{\circ}$  – условия жесткого дискомфорта при котором возможно обморожение лица даже при кратковременном появлении на улице; требуется сокращение времени пребывания на открытом воздухе или рабочего времени на 30% против обычного;
- V)  $t_{np} < -42^{\circ}$  – условия жесткого дискомфорта, когда необходимо полное прекращение пребывания и выполнения работ на открытом воздухе.

Метод приведенных температур в целом позволяет учитывать негативный эффект на тепловое состояние человека, обусловленный особенностями температурно-ветрового режима холодного полугодия.