

115 10

551.5
B-129

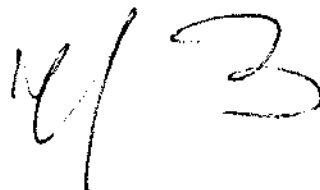


О.Л.БАБУШКИН

БИОМЕТЕОРОЛОГИЯ

2008

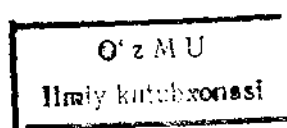
129
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА



О.Л. БАБУШКИН

БИОМЕТЕОРОЛОГИЯ

(учебное пособие)



Ташкент
«Университет»
2008

УДК 551.515 : 636.38(58)

Изложены основные положения биометеорологии как составной части курса «Биометеорология и зоометеорология».

Книга предназначена в качестве учебного пособия по разделу «Биометеорология» для магистрантов, специализирующихся по специальности «Метеорология», и для студентов по курсу «Прикладная метеорология». Она может быть полезна для студентов географического, биолого-почвенного и экологического направлений университетов.

Рецензенты: канд. физ-мат. наук, доцент физфака НУУз Ю.В. Петров,
канд. геогр. наук, зав. отделом НИГМИ В.О. Усманов.

ВВЕДЕНИЕ

Биометеорология – наука, исследующая влияние внешних, главным образом метеорологических факторов на живой организм. Биометеорология развивается на стыке метеорологии, биологии, физиологии, медицины, географии, экологии.

Объектами исследования в биометеорологии являются погода и климат в их взаимодействии с организмом человека.

В основе биологических ритмов организма лежат экзогенные (то есть вызываемые внешними причинами) и эндогенные (вызываемые внутренними причинами) факторы. Ритмические процессы в природе способны вызвать характерные изменения функций в живом организме. Эти процессы могут даже предрасполагать к возникновению тех или иных заболеваний. Однако явные симптомы погодных заболеваний наблюдаются лишь в тех случаях, когда экзогенные факторы характеризуют не постепенные и равномерные изменения, к которым организм приспособлен, а резкими и необычными.

Если считать, что в основе суточных ритмов лежат периодические колебания метеорологических факторов, то и причины отклонений суточных ритмов кроются в нарушении этой периодичности.

Физические факторы внешней среды, наряду с другими, вызывают появление ответных реакций в виде периодических (суточных и сезонных) изменений физиологических функций и процессов обмена в организме. Поэтому главный вопрос стоит в нахождении наиболее выгодных соотношений между внутренней средой организма и условиями внешней среды, выявлении тех факторов, которые нарушают эти соотношения.

Первые мысли о биологическом значении климата мы находим уже в Древней Греции в трудах основоположника классической медицины Гиппократ (около 460-377 г. до н. э), который исследовал воздействие климата на человека и в своих книгах об эпидемических болезнях при описании каждой формы болезни давал предварительный анализ метеорологических условий. Он писал «Если много людей одновременно заболевают одной и той же болезнью, то причину следует искать в том, что является общим для всех людей, и в том, чем они чаще всего пользуются. Значит, речь идет о вдыхаемом воздухе».

Но только с XIX в. люди стали серьезно изучать влияние погоды на человека. В это время началось исследование климата морских побережий и высокогорий применительно к лечению различных болез-

ней. Уже в середине XIX в. появился ряд медицинских работ, посвященных взаимосвязям между метеорологическими явлениями и смертностью, между возникновением заболеваний и определенными метеорологическими условиями, исследованиям воздействия определенных метеорологических условий на психику и физиологию человека.

С начала XX в. проводились детальные климатотерапевтические исследования, при этом рассматривалось влияние как отдельных метеорологических факторов, так и комплексных метеорологических процессов.

Особенно широкие исследования проводились после Второй мировой войны. Во многих странах Земного шара появились научно-исследовательские институты, занимающиеся изучением различных областей биометеорологии – медицинской климатологии, тропической и высокогорной климатологии, атмосферного электричества и аэрозолей и других.

Биометеорология как наука направлена на изучение влияния метеорологических и климатических факторов на организм человека с целью решения целого ряда прикладных задач в области медицины, курортологии, строительства, гигиены труда и многих других.

Контрольные вопросы.

1. Что такое биометеорология?
2. Что является объектом исследования в биометеорологии?

ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ СЕЗОНОВ НА ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ

Многочисленные наблюдения показывают выраженную сезонность в распространении простудных, сердечно-сосудистых и других заболеваний, а также и обострение патологического процесса. Это, помимо географических условий, в известной мере связано с резко и часто меняющимися метеорологическими факторами, в том числе и с прохождением фронтов. Изменяющаяся погода предъявляет повышенные требования к приспособляемости организма, что приводит к трудностям и ее срывам, в результате чего и развивается патологическое состояние.

Некоторые заболевания характеризуются определенной зависимостью от времени года. Б. Руддер в книге «Очерки метеоблиологии человека. Метеорологические и сезонные влияния» дал подробный обзор такой зависимости. Он назвал такие заболевания сезонными. Пример таких сезонных заболеваний представлен в табл. 1.1 [по 4].

Одни из таких заболеваний встречаются с максимальной частотой летом. К этой группе относятся, например, различные заболевания кожи, которые отчасти связаны с усилением потоотделения в это время года. В летний сезон значительно чаще бывают различные кишечные расстройства и инфекционные катары кишечника, лучевые поражения кожи, связанные с интенсивным воздействием ультрафиолетовых лучей. Клепцовой сыпной тиф в Хабаровском крае наблюдают в весенне-летний сезон, что связано с появлением клещей в это время года. Эпидемические вспышки полиомиелита наблюдаются в летне-осенние месяцы.

Максимум частоты других заболеваний попадает на холодный период года. В осенне-зимний сезон повышается заболеваемость гриппом, ангиной, пневмонией. В холодное время (январь-февраль) вирус гриппа сохраняется во внешней среде значительно дольше и является более вирулентным, то есть более болезнетворным, в большей степени способным вызывать заболевания. Спротивляемость организма людей ко всем инфекционным заболеваниям в зимние месяцы снижается в результате изменения витаминного баланса и в результате общей иммунобиологической перестройки организма.

Наибольшее число заболеваемости ангиной отмечается с сентября по февраль с максимумом в октябре. Наибольшая заболеваемость пневмонией у детей до года зарегистрирована в январе-апреле. Максимум смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, особенно от кровоизлияния в мозг, приходится на декабрь-март.

В весенний и осенний сезон наблюдается наибольшая заболеваемость язвенной болезнью желудка. Есть мнение, что периодичность обострений язвенной болезни желудка связана с сезонными изменениями общей реактивности организма, прежде всего с изменениями возбудимости нервной системы.

В холодное время года (с ноября по май) наиболее часто возникают сердечно-сосудистые заболевания (гипертоническая болезнь, стенокардия, инфаркт миокарда и др.). По данным отдельных авторов наиболее часто в Риге сердечно-сосудистые заболевания отмечаются в марте-апреле, а инфаркт миокарда – в ноябре. Ряд авторов отмечает, что в Карловых Варах у большинства больных (48,7%) инфаркт миокарда развивается во время холодной погоды, причем максимальная заболеваемость наблюдалась весной и осенью. Очень часто инфаркт развивался на следующий после перемены погоды день.

Медики находят зависимость между частотой проявления инфаркта миокарда и периодами значительных барометрических колебаний. Предполагается, что в эти периоды резко меняется сосудистый тонус, иногда появляется спазм сосудов, что способствует развитию острой коронарной недостаточности преимущественно у лиц с атеросклерозом коронарных сосудов.

К весенней группе следует отнести, например, спазмофилию – своего рода кризис в течение наблюдавшихся зимой нарушений обмена веществ типа рахита. В соответствии с сезонной перестройкой эндокринной и вегетативной систем в это время года наблюдается также повышение частоты базедовой болезни.

Следует упомянуть о весеннем максимуме заболеваемости туберкулезом и многими аллергическими заболеваниями, такими как экзема, сывороточная болезнь, различные инфекционные заболевания. Для некоторых сезонных заболеваний характерен синусоидальный тип кривой заболеваемости с подъемами и спадами на протяжении всего года. Другие сезонные колебания, напротив, характеризуются резким ростом частоты.

Имеются сведения, которые указывают на связь между сосудистыми катастрофами и солнечной активностью (суммарная площадь и число пятен, хромосферные вспышки). Ряд исследователей считает, что, как правило, при повышении активности Солнца по сравнению с периодом средней его активности увеличивается число случаев инфарктов миокарда, инсультов и гипертонических кризов. Во время

Важнейшие истинно сезонные заболевания

Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь
	Летние поносы у грудных детей		Эпидемический гепатит		
	Менее выраженное преобладание смертности среди мальчиков грудного возраста			Острый лейкоз	
	Острые кишечные инфекции Дизентерия Тиф Паратифы			Острая	
	Лептоспирозы			Острый	
	Полномиелит			Язвенная болезнь	
	Острая эпидемическая менингия			Болезнь	
	Летний менингит				
	Вирусный энцефалит, передаваемый насекомыми				
	Конъюнктивит, вызываемый диплобациллой				
	Трихомонадный кольпит				
	Железистая гиперплазия при эндометрии				
	Расстройство менструального цикла				

Таблица 1.1

по состоянию на 1951 г. (по Руддеру)

Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
	Рахит					
	у взрослых (не у детей)					
	глаукома					
	ревматизм					
	Ангина					
	желудка и двенадцатиперстной кишки					
	сердца и сосудов					
	Скарлатина Дифтерия					
	Цереброспинальный менингит					
	Неспецифические агагальмические белки					
	Бронхит/пневмония					
	Пневмококковый конъюнктивит					
	Крупозная пневмония					
	Экзема					
	Спазмофилия-тетания					
	Малая корь					
	Паротит					
	Пилороспазм					
	Экзема и псориаз					
	Менингит Миллиарный туберкулез					
	Кровохарканье					
	Узелчатая эритема					
	Фликтенулезный конъюнктивит					
	Экссудативная полиморфная эритема					
	Сывороточная болезнь Базедова болезнь					
	Малярия (трехдневная)					

солнечной вспышки происходит выброс высокоскоростных потоков заряженных частиц, которые при встрече с магнитосферой Земли вызывают сильные изменения напряженности магнитного поля Земли, то есть приводят к магнитной буре. Установлено, что опаснее всего для людей микропульсации геомагнитного поля, частота которых совпадает с частотой биения сердца. Нахождение человека в электромагнитных полях низкой и очень низкой частоты вызывает дестабилизацию сердечного ритма, которая может привести к инфаркту и даже смерти от аритмии. Так как микропульсации начинаются еще за сутки до магнитной бури, то этим объясняется аномальное количество смертей от инфаркта перед магнитными бурями. Эти вопросы весьма сложны и требуют всестороннего и длительного изучения.

Контрольные вопросы.

1. Что такое «сезонные» болезни?
2. Какова причина «сезонности» заболеваний?
3. Чем можно объяснить повышение заболеваемости гриппом в холодный период года?
4. Почему клещевой сыпной тиф проявляется в весенне-летний сезон?
5. Чем объясняется увеличение числа случаев инфарктов миокарда, инсультов и гипертонических кризов во время магнитных бурь?

ГЛАВА 2. ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

2.1. Действие атмосферного давления

На ранних этапах медико-метеорологических исследований предполагалось, что колебание давления воздуха оказывает механическое влияние на кровообращение, например, путем сдавливания поверхностных капилляров, расположенных в коже и дыхательных путях. Однако испытания в климатических камерах показали, что колебания давления, связанные с погодой, соответствуют различиям в высоте над уровнем моря всего лишь в 500 м, тогда как признаки таких физиологических изменений организма, как замедление пульса, повышение минутного объема и увеличение объема дыхания – появляются лишь при давлении, соответствующем высоте 3000 м.

В случае резкого изменения атмосферного давления, например, при полетах или поездках по горным дорогам, нередко возникает ощущение глухоты. Это происходит в связи с тем, что в барабанной полости уха в обычных условиях давление соответствует нормальному атмосферному давлению. При изменении атмосферного давления возникает перепад давлений на барабанной перепонке: с одной стороны перепонки давление соответствует новому внешнему атмосферному давлению, а с другой – оно остается таким, каким было до начала изменения. При понижении атмосферного давления барабанная перепонка выпячивается, при его повышении – втягивается, что воспринимается как ощущение глухоты. Барабанная полость сообщается с носоглоткой через евстахиеву трубу, которая обычно закрыта, так как ее стенки сомкнуты. Только при глотании благодаря сокращению мышц глотки евстахиева труба открывается, и атмосферный воздух получает свободный доступ в барабанную полость.

При понижении атмосферного давления газы, находящиеся в желудочно-кишечном тракте, расширяются, вызывая растяжение органов. Это может сопровождаться ухудшением аппетита и нарушением процесса пищеварения. Кроме того, связанное с пониженным давлением высокое стояние диафрагмы может привести к затруднению дыхания и нарушению функции сердечно-сосудистой системы. Именно с этими явлениями связаны те неприятные ощущения, на которые жалуются люди во время полета.

Исследования показали, что серьезных физиологических расстройств у человека не отмечается до высоты 2,5-3,0 км. На этой высоте человек чувствует себя, как и на высоте уровня моря, хотя количество кислорода в крови снижено. При этом появляется углубление и некоторое ухудшение дыхания, учащение пульса, увеличение минутного объема сердца, некоторое увеличение числа эритроцитов.

На высоте 4-5 км нарушается высшая нервная деятельность, регуляция движения и кровообращения. Эти явления на высоте 6-7 км усиливаются, становясь опасными для большинства людей. Пребывание на высоте 7-8 км опасно для жизни человека и ведет к тяжелым расстройствам. Эту высоту считают предельной и пребывание на ней без кислородных приборов невозможно. На высоте 8,5-9,0 км насыщение крови кислородом падает ниже 50-45% и наступает смерть.

Исследования в условиях горной местности показывают на увеличение содержания гемоглобина и числа эритроцитов как результат раздражения кроветворного аппарата вследствие недостатка кислорода в артериальной крови. Указанные сдвиги могут проявляться и на средних высотах от 800 до 1800 м над уровнем моря.

Кроме пониженного давления на организм человека может оказывать влияние и повышенное давление. Считается, что влияние повышенного атмосферного давления на человека само по себе не опасно (до 2 часов). Однако очень важна скорость изменения этого давления.

При быстром переходе из среды с повышенным давлением воздуха в среду с более низким атмосферным давлением, например, при быстром выходе из водолазного скафандра при подъеме из морских глубин, при нарушении герметизации кабины самолета на больших высотах, наступает кессонная или декомпрессионная болезнь. Газы, входящие в состав вдыхаемого воздуха, растворяются в крови и органах организма. При повышении давления увеличивается и количество растворенных в организме газов. При постепенном снижении давления (декомпрессии) избыток газов удаляется путем диффузии из тканей в кровь, а из нее наружу через легкие с выдыхаемым воздухом. При постепенной декомпрессии процесс удаления газов происходит без образования пузырьков. Если же декомпрессия происходит быстро, то в крови и тканях образуются пузырьки свободного газа, состоящие из азота (75-80 %), кислорода (15-18 %) и углекислоты (5-10 %). Увеличиваясь в объеме, они образуют газовые пробки, которые закупоривают или разрывают кровеносные сосуды.

В целях поддержания температуры тела на постоянном уровне организм включает механизмы терморегуляции. Эти механизмы направлены при охлаждении на увеличение теплопродукции и ограничение теплоотдачи, а при нагревании – на ограничение теплопродукции и увеличение теплоотдачи. Таким образом, они направлены на поддержание тепловой автономии организма и сохранение теплового баланса.

Сохранение теплового баланса осуществляется при помощи химической и физической терморегуляции.

Химическая терморегуляция осуществляется за счет изменения интенсивности окислительных процессов в организме для обеспечения изменения теплообразования. Одним из примеров является то, что в холодное время при дрожании за счет мышечной деятельности происходит повышение теплопродукции.

Влияние температуры внешней среды на физическую терморегуляцию осуществляется совокупностью физиологических процессов, которые либо уменьшают, либо увеличивают теплоотдачу. Теплообмен между организмом и внешней средой совершается в результате непрерывного теплообразования в организме и отдачи тепла в окружающую среду за счет конвективного и радиационного теплообмена, а также за счет испарения пота; часть тепла организм затрачивает на нагревание пищи, выдыхаемого воздуха.

При температуре воздуха 20 °С теплотери организма распределяются следующим образом:

- конвекция	31,0%;
- излучение (радиация)	43,74 %;
- испарение	21,71 %;
- нагревание пищи	1,55 %
- нагревание воздуха в легких	1,3 %
- потери тепла с мочой и калом	0,7 %.

При этой температуре воздуха теплоотдача конвективными потоками и излучением составляет 70-80 % всей теплоотдачи организма.

При низкой температуре основную роль в регуляции теплоотдачи играет сосудистая система. Сужение сосудов как кожных, так и более глубоких приводит к ослаблению кровотока и меньшей разницы между температурой кожи и воздуха, это уменьшает теплоотдачу. При низкой температуре наблюдается сокращение гладких мышц кожи («гусиная кожа»). На физическую терморегуляцию у человека можно влиять и выбором соответствующей одежды.

При повышении температуры воздуха выше 20 °С значительно меняется теплоотдача путем испарения вследствие усиления потоотделения. В покое при температуре 15-20 °С потоотделение незначительно, оно составляет 0,4-0,6 л в сутки. При высокой температуре отдача тепла испарением резко увеличивается, а при одинаковой температуре воздуха и кожи теплоотдача осуществляется только испарением. Резко увеличивается потоотделение при большой мышечной работе. Потоотделение является активным регулятором теплоотдачи.

Прием холодной пищи и воды приводит к затратам тепла организма на их нагревание в жаркую погоду.

Сокращение относительной площади тела (то есть площадь поверхности тела, приходящаяся на единицу его массы), которое происходит в холодную погоду, когда человек «сжеживается», приводит к сокращению теплоизлучения и, соответственно, к уменьшению теплоотдачи с поверхности тела.

В жаркую погоду человек старается расслабиться, увеличивая тем самым относительную площадь своего тела, то есть его излучательную площадь. При этом теплоотдача с поверхности тела увеличивается.

Температура тела человека остается постоянной при равенстве теплопродукции и теплоотдачи. При преобладании теплоотдачи температура тела падает и наоборот. Температура тела принимается, в среднем, равной 37 °С, однако для различных частей тела она различна. Указанная температура характерна для крови, для поверхности кожи она составляет, в среднем, около 33 °С. Наиболее высокая температура отмечается в печени и работающих мышцах. Пределами температуры тела, при которых наступает смерть человека, являются падение ее ниже 25-27 и повышение выше 43 °С.

В условиях пустыни отмечается зависимость между обезвоживанием организма и повышением температуры. При потере массы тела на 1 % вследствие потери воды температура тела повышается на 0,3 °С. Повышение температуры тела на 1 °С вызывает учащение пульса на 20 ударов в минуту.

При температуре 24 °С и относительной влажности 54 % у акклиматизированных людей выделение пота составляет 3-5 л в сутки. Солевое равновесие можно поддерживать ежедневным приемом 6,2 г соли; при температуре 29 °С потребность организма в соли возрастает.

Опыты в пустыне показали, что с повышением температуры воздуха потоотделение на каждые 0,5 °С увеличивается на 20 г в час. Средняя величина потоотделения при температуре 37,7 °С составляет

920 г в час при весе человека 70 кг; ночью при этих же условиях потоотделение составляет 610 г в час.

Испарение пота тем больше, чем больше количество жировых веществ в нем, а также на поверхности кожи. По этой причине количество испарившегося пота при высокой температуре у европейцев меньше, чем у негров, у которых выделяется больше кожного сала. Гистологические исследования показывают большее развитие потовых и сальных желез в тропиках, у европейцев пигментированная кожа отдает больше воды и потоотделение наступает раньше, чем у непигментированных. Это подтверждено в опытах в тепловых камерах.

По данным среднеазиатских медиков при высокой температуре воздуха отмечена тенденция к понижению как максимального, так и минимального артериального давления в летние месяцы в Средней Азии.

2.3. Совместное действие температуры и влажности воздуха

Влияние температуры воздуха необходимо рассматривать совместно с влажностью воздуха.

Неблагоприятной для здоровья и работы человека является температура воздуха около 0 °С и относительной влажности выше 86 %; такое сочетание усиливает теплоотдачу организма.

В местностях, где летом наблюдается высокая температура воздуха (выше 25 °С) и высокая влажность (выше 75 %), усиливается потоотделение, но при отсутствии ветра испарение пота с кожи незначительное. Это затрудняет теплоотдачу, которая в подобных условиях является единственным способом охлаждения организма.

Высокая температура и низкая влажность воздуха являются типичным сочетанием факторов, характеризующих климат пустынь. Такое сочетание вызывает усиленную отдачу воды с поверхности кожи, которое может быть в 2-3 раза больше, чем в умеренном климате. При этом выделительная функция почек понижается, хотя при достаточном питье почки выделяют столько же воды, сколько и в умеренном климате. Усиленным выведением кожей из организма воды и продуктов обмена и объясняется благоприятное влияние жаркого климата при лечении заболеваний почек. Наблюдения, проводившиеся в почечном санатории в Туркмении (Мары), показали, что уменьшение выведения почками жидкости наблюдается в жаркие дни при повышении температуры воздуха от 15 до 35 °С и выше даже при увеличении количества выпиваемой жидкости. Одновременно тепло, расширяя сосуды почек,

улучшает их кровоснабжение и выделительную функцию. Поэтому санаторий в Мары считался лучшим при лечении почечных заболеваний.

Влажность воздуха в сочетании с температурой оказывает большое влияние на организм. Результирующая температура, то есть воспринимаемая организмом температура, тем выше, чем выше влажность воздуха. При одной и той же температуре влажный воздух «теплее» сухого. Чем выше влажность воздуха, тем выше влажность кожи. Испарение с поверхности кожи происходит и при насыщении воздуха водяным паром, поскольку температура тела, следовательно, и температура прилегающих к нему слоев воздуха выше температуры окружающего воздуха, поэтому слой воздуха, непосредственно прилегающий к организму, не насыщен водяным паром.

Для человеческого организма оптимальными следует считать условия, при которых относительная влажность составляет 50 %, а температура воздуха 16-18 °С. При более высокой температуре влажность воздуха должна быть ниже, чтобы условия были оптимальны для человеческого организма.

При насыщении воздуха влагой в результате конденсации происходит образование мелких капель, содержащих микробы. Эти капли благодаря высокому поверхностному натяжению сохраняются и в значительно более сухом воздухе. Такие капельки обладают большей способностью к диффузии, чем сухие частицы пыли, поэтому они могут попадать в самые отдаленные участки легких, тогда как сухие частицы пыли задерживаются в верхних дыхательных путях и выводятся из организма благодаря движениям ресничек мерцательного эпителия. При этом во влажной среде микроорганизмы хорошо развиваются. Таким образом, во влажном воздухе опасность воздушной инфекции выше, чем в сухом воздухе.

При понижении температуры воздуха содержащаяся в нем влага конденсируется, образуя туман. В промышленных районах туман может поглощать токсичные газы, которые вступают в химическую реакцию с водой, образуя различные соединения, например, серную или сернистую кислоты и др. Если туман возникает в районе эпидемий того или иного заболевания, в его капельках могут содержаться возбудители этого заболевания. С капельками эти возбудители могут заноситься и в другие районы.

Отрицательное влияние на организм оказывает теплый влажный воздух из-за того, что при дыхании легкие в связи с низким испарени-

ем недостаточно охлаждаются. В связи с этим отмечены случаи повышения температуры тела в атмосфере, насыщенной влагой.

2.4. Действие ветра

Ветер оказывает механическое действие. При большой скорости ветра затрудняется передвижение человека, давление на поверхностные ткани организма может вызвать утомление. Ветер оказывает влияние на дыхание, затрудняя его при большой скорости. Он усиливает испарение пота с поверхности кожи. Так, при температуре 20 °С насыщенный влагой воздух, движущийся со скоростью 3 м/с, кажется таким же холодным, как неподвижный воздух при температуре 14 °С. В зависимости от температуры воздуха физиологическое действие ветра различно, то есть при различной температуре воздуха ветер вызывает различные реакции организма. Так, при температуре воздуха от 10 до 18 °С и скорости ветра от 1,6 до 16 м/с резко увеличивает теплопродукцию; при температуре от 18 до 33 °С рост теплопродукции прекращается и появляется опять при температуре выше 33 °С.

Летом при высокой температуре воздуха ветер способствует повышению сопротивляемости организма. Зимой при низких температурах, напротив, он понижает сопротивляемость организма. По данным медиков в холодное время года ветреная погода приводит к повышению смертности, а в теплое время года ветер понижает смертность.

Ветер действует по-разному при отрицательной и положительной температуре воздуха. При отрицательной температуре он усиливает отдачу тепла, что крайне неблагоприятно для организма. Ветер неблагоприятно действует и при температуре близкой к нулю и при большой влажности.

При высокой температуре и высокой влажности, характерной для влажных субтропиков, ветер оказывает положительное воздействие, значительно усиливая испарение пота.

Действию ветра обязаны своим благотворным влиянием на легочных больных горные курорты. Именно действию горного ветра, приносящему чистый, свободный от вредных примесей холодный воздух, обязаны горные курорты своим здоровым воздухом и здоровым климатом.

2.5. Действие состава воздуха

Обмен газов между окружающим воздухом и тканями живого организма происходит исключительно путем диффузии. Дыхательный воздух движется из мест с более высоким давлением в места с пониженным давлением. Установлено, что парциальное давление кислорода в артериальной крови всегда на 2-3 % ниже, чем в воздухе легочных альвеол. Поместив организм в смесь газов, содержащую мало кислорода, можно заставить организм выдыхать кислород. Диффузии газов способствует огромная поверхность дыхательных органов, а также особое строение дыхательного эпителия и богатое кровоснабжение респираторных органов.

С повышением температуры воздуха, увеличением содержания в нем водяных паров и снижением атмосферного давления связано понижение парциального давления кислорода в воздухе. Это обуславливает снижение этого давления и в альвеолярном воздухе, в результате происходит уменьшение насыщения артериальной крови кислородом. Так, например, если парциальное давление кислорода в атмосферном воздухе 210 гПа, то в альвеолярном воздухе оно будет 136-144 гПа, а насыщение артериальной крови кислородом достигает 96 %.

При снижении парциального давления кислорода в атмосферном воздухе до 133 гПа в альвеолярном воздухе оно снижается до 80 гПа, а насыщение артериальной крови кислородом доходит до 84 %.

В.Ф. Овчарова (1975) считает, что с уменьшением весового содержания кислорода в атмосферном воздухе у многих больных наблюдается ухудшение общего самочувствия, усиление болей различной локализации. Для характеристики изменений комплекса метеорологических элементов и оценки их влияния на больных она использует величину весового содержания кислорода в атмосферном воздухе.

Для определения весового содержания кислорода в атмосферном воздухе используется уравнение Менделеева-Клапейрона состояния идеального газа:

$$P_i V_i = R_i T_i, \quad (2.1)$$

где P_i – парциальное давление газа, V_i – удельный объем газа, T_i – температура по шкале Кельвина, R_i – удельная газовая постоянная для сухого воздуха [$R_i = 287 \text{ м}^2/(\text{сек}^2 \cdot \text{град})$].

Так как в подавляющем большинстве случаев воздух не абсолютно сухой, а содержит определенное количество водяных паров, то для сухой его составляющей это уравнение запишется в виде

$$(P - e) \cdot V_c = R_c T, \quad (2.2)$$

где e – парциальное давление водяного пара.

Известно, что по объему в сухом воздухе кислорода содержится 20,95 %, а по весу его доля в среднем составляет 23,2 %. Из этого можно найти плотность кислорода в сухом воздухе

$$\rho_k = 1 / V_k. \quad (2.3)$$

Отсюда можно рассчитать количество кислорода в единице объема при определенных сочетаниях температуры, давления и влажности воздуха. Например, если давление воздуха составляет 1013 гПа, упругость водяного пара 13 гПа, температура воздуха 27 °С, то весовое содержание кислорода в атмосферном воздухе будет составлять:

$$(P - e) / R_c T = 1000 \cdot 0,232 / (287 \cdot 300) [\text{гПа}/(\text{м}^2/(\text{с}^2 \cdot \text{град}))] = \\ \approx 0,269 \text{ кг/м}^3. \quad (2.4)$$

Медики считают, что колебания весового содержания кислорода в пределах $\pm 10 \text{ г/м}^3$ воздуха за 12 часов рассматривается как незначительное, $\pm 10\text{-}20 \text{ г/м}^3$ – как умеренное, более $\pm 20 \text{ г/м}^3$ – как выраженное.

В связи с тем, что снижение парциального давления кислорода в воздухе связано с увеличением количества водяных паров, повышением температуры воздуха и снижением атмосферного давления, то можно предположить, что эта ситуация может возникнуть, когда поступает влажный воздух на достаточно теплом фоне. В условиях нашей республики такие ситуации могут возникнуть при атмосферных процессах, которые обуславливают теплую зимнюю погоду с осадками. К ним приводят циклонические прорывы через юг Средней Азии из Ирана и Афганистана в виде южно-каспийских, мургабских, верхне-амударьинских циклонов, а также вынос теплого влажного воздуха при западных вторжениях.

В тоже время северные вторжения с сухим холодным воздухом не должны снижать количество кислорода. Но для подтверждения этого должны быть проведены специальные исследования.

2.6. Комплексное влияние метеорологических величин

Воздействие на организм обычно оказывается не одним отдельно взятым фактором, а целым их комплексом. Наиболее ярко это действие проявляется во время прохождения атмосферных фронтов.

В своей книге «Метеобиология» Б. Руддер [по 4] описал метеотропные заболевания и показал зависимость таких болезней, как дифтерия, бронхиальная астма, аппендицит, простудные заболевания и другие от погоды. Он пришел к заключению, что болезнетворное действие в этих случаях должно быть приписано прохождению атмосферных фронтов, и что каждое заболевание должно иметь взаимосвязь с прохождением определенного типа фронта.

Особенно сильно страдают от воздействия погоды ревматики. Не обнаружив определенной связи между отдельными элементами погоды и ревматическими приступами, врачи отмечали многочисленные случаи совпадения прохождения фронта с возникновением ревматических болей. Их возникновение совпадало с вторжением холодных воздушных масс, прохождением ташого фронта. Он отмечает, что ревматики могут чувствовать лишь прохождение фронта. Заранее они ощущают такие «послефронтальные» явления, как ливневые дожди или грозы. А «предфронтальный» дождь они встречают безо всяких болевых ощущений.

Отрицательное влияние на самочувствие человека могут оказывать фёны. Фён – теплый, сухой порывистый ветер, дующий с гор в долины. При прохождении фёна отмечается значительное ухудшение состояния больных туберкулезом легких и гортани. У этих больных отмечается бессонница, повышение температуры тела, одышка, головные боли, головокружение, катаральные явления в легких, усиление кашля и т.д. Фёны у больных гипертонической болезнью, как правило, вызывают повышение артериального давления и появление головных болей, шума в голове, головокружение и т.п.

Воздействие фёна на человеческий организм выражается в появлении головных болей, беспокойства, чувства неуверенности, страха, депрессии, зудящих болей, мелкания в глазах, шума в ушах, головокружений, сердцебиений и в падении работоспособности. Действие таких возбуждающих средств, как кофе, никотин, алкоголь заметно усиливается. Однако это относится не к действию собственно ветра, а к целому комплексу метеорологических факторов, оказывающих совместное действие на организм человека. Многие авторы придерживаются мнения, что фён действительно часто вызывает недомогания, но специфиче-

ского, вызываемого только фёном заболевания нет. Все приписываемые фёну симптомы могут вызываться и другими явлениями погоды.

Фёновые недомогания сильнее всего проявляются перед наступлением фёна, в предфёновой стадии; после вторжения фёна эти проявления ослабевают. По наблюдениям, проведенным в районе Швейцарских Альп, установлено, что если частоту нарушений самочувствия, независимых от влияния погоды, принять за 100%, то в начале фёновой ситуации она достигает 160 %, а во время последней предфёновой ситуации – почти 200 %. После достижения фёном долины частота нарушений самочувствия уменьшается до 140 %, затем до 110 % и после окончания фёна возвращается к 100 %. Биологическое воздействие фёна на человеческий организм проявляется не только под открытым небом, но и в закрытых помещениях.

До сих пор процесс воздействия фёна на организм человека не нашел полного объяснения. Еще в начале прошлого века существовала теория, что чувствительность к фёну обусловлена волнами давления. Работы, проведенные в Швейцарских Альпах, показали наличия волн, характеризующиеся периодом в 3-15 мин и достигающих амплитуды в 5 гПа. Была показана связь между значениями быстрых колебаний атмосферного давления, характерного для отдельных видов синоптических ситуаций, и субъективными ощущениями, связанными с погодой. Однако работы в этом направлении не были завершены.

Ряд авторов указывают на повышенную ионизацию воздуха при фёнах в Альпах, а также объясняют его биологическое действие электрическим полем атмосферы при прохождении фёна.

2.7. Действие солнечного света

Физико-биологическое действие солнечных лучей на организм человека обусловлено тремя основными световыми потоками лучистой энергии, отличающимися как физическими свойствами, так и фотобиологическим действием. К ним относятся: 1) энергия наиболее коротковолновой части солнечного спектра – ультрафиолетовых лучей с длинами волн менее 0,32 мкм, которые составляют 0,03-0,21 % всей солнечной радиации; 2) энергия ультрафиолетовых лучей в участке спектра от 0,32 до 0,39 мкм, которые составляют 4-5 % радиации; 3) энергия видимых и инфракрасных лучей.

Ультрафиолетовые лучи действуют бактерицидно, то есть обладают способностью убивать бактерии и микробы, вызывают образова-

ние витамина D в организме, приводят к покраснению кожи (эритеме) и ее пигментации (рис. 2.1).

Бактерицидным и D-витаминобразующим действием обладают ультрафиолетовые лучи длиной волны до 0,3 мкм. Эритемным действием, то есть вызывающим покраснение кожи, обладают лучи до 0,32 мкм. Пигментобразующим свойством обладают лучи до 0,44 мкм. Ультрафиолетовым лучам свойственно действие, приводящее к изменению свойств белковых соединений организма, появлению новых химических соединений, а также к разложению белков. Биологи объясняют биологическое действие ультрафиолетовых лучей их способностью повышать восстановительную активность веществ, обнаруживаемых в поверхностных слоях кожи, что и обуславливает разнообразные изменения в биохимических и биологических процессах организма.

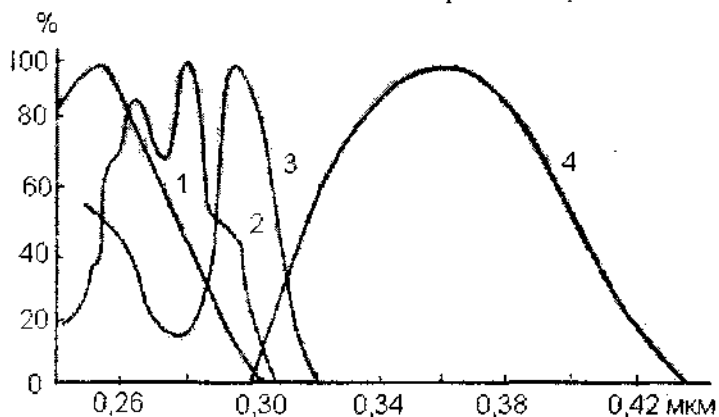


Рис. 2.1. Спектральные кривые эффективности действия ультрафиолетовых лучей для различных биологических процессов [6].

1 – бактерицидное действие; 2 – D-витаминобразующее действие; 3 – эритемное действие; 4 – пигментобразующее действие.

Кожа человека состоит из ряда слоев: рогового (0,03 мм), эпидермиса (0,05 мм), эпидермиса и сосочкового слоя (0,5 мм), вся толщина кожи составляет около 2 мм. Ультрафиолетовые лучи глубже сосочкового слоя не проникают.

Проявлением действия ультрафиолетовых лучей с длиной волны короче 0,32 мкм является покраснение кожи. Существует связь между светочувствительностью кожи, с одной стороны, возрастом и полом, с

другой. Если светочувствительность кожи людей в возрасте от 20 до 50 лет принять за 100 %, то в возрасте от 6 до 12 лет светочувствительность составляет 50 %, от 13 до 19 лет – 30 %, от 51 до 90 лет – 65 %. Чувствительность кожи женщин к ультрафиолетовым лучам на 20 % меньше, чем мужчин.

При высоте Солнца над горизонтом от 45 до 60-61° реакция покраснения выявляется при продолжительности облучения в 20 минут. При высоте стояния Солнца менее 40° пороговое время появления покраснения составляет один час.

Действие солнечных лучей с длиной волны от 0,3 до 0,43 мкм проявляется изменением пигментации кожи. Изучение кожи людей разного возраста и пола показало, что эпидермис состоит из двух различных групп клеточных элементов – обычных эпидермальных клеток и клеток, образующих меланин. В первой группе клеток исходным веществом для образования пигмента являются продукты расщепления белковой молекулы, во второй – происходит усиление окраски пигментных клеток уже имеющихся в коже.

Несмотря на то, что пигмент поглощает ультрафиолетовые лучи, чувствительность кожи к ним с усилением пигментации уменьшается и эритема не проявляется как при непигментированной коже.

У большинства людей (77 %) с розовой нормально функционирующей кожей солнечные лучи вызывают эритему, а вслед за ней и пигментацию. У лиц (9 %) с нездоровой бледной кожей (чаще у светлых блондинов) появляется эритема без последующей пигментации. У лиц с сильной пигментацией (14 %) эритема не образуется.

В результате действия ультрафиолетовых лучей образуется вещество, обладающее сосудорасширяющим действием, повышающим проницаемость кожных сосудов. Это и приводит к покраснению и отечности кожи. Кроме того, в коже, подвергшейся облучению, появляются продукты распада клеточного вещества, которые, поступая в кровь и лимфу, разносятся по всему организму. Эти вещества могут влиять на коронарное кровообращение, накопление и отдачу крови из печени, могут изменять процессы обмена и функциональное состояние желудочно-кишечного тракта.

Изучением влияния времен года на организм человека в связи с различным углом падения солнечных лучей на Землю занимался Б. Руддер [по 4]. Та область солнечного спектра, которая характеризуется антирахитическим действием (лучи Дорно), в умеренных широтах в значительной мере поглощается земной атмосферой; зимой лучи

Дорно почти не достигают земной поверхности, так как в это время года солнечный свет проходит через атмосферу под малыми углами и в значительной степени поглощается. Недостаток ультрафиолетовых лучей оказывает отрицательное влияние на обмен веществ организма даже здоровых людей; основной обмен понижается, замедляется рост, снижается содержание фосфатов в крови. Это состояние лишь количественно отличается от нарушений обмена, характерных для рахита. Когда ультрафиолетовые лучи снова начинают достигать поверхности Земли, уровень фосфора в крови у людей восстанавливается, но уровень кальция еще несколько отстает. Эти сдвиги обуславливают повышение возбудимости нервной системы, которое иногда проявляется в возникновении судорожных припадков. Когда такие припадки возникают в процессе излечения от рахита, то принято говорить о целомном рахитическом «кризисе».

Медиками было выявлено, что сезонные колебания в содержании ультрафиолета в солнечных лучах влияют на функцию щитовидной железы. У людей зимой содержание йода в крови составляет всего 60% его содержания летом.

Хорошо известны сезонные смены настроения, повышение половой активности весной и увеличение числа зачатий в это время года. Перестройка эндокринной и вегетативной систем сказывается и на состоянии кровообращения. С января по апрель наблюдается некоторое повышение артериального давления.

При действии солнечной радиации (на первом этапе самого действия) видимые и инфракрасные лучи в виде поглощенного организмом тепла являются основным раздражителем, изменяющим функциональное состояние органов и систем, прежде всего терморегуляцию и состояние сердечно-сосудистой системы.

2.8. Действие синоптических ситуаций

Медико-метеорологическое бюро в Кенигштайне (Германия) произвело синоптический анализ, учитывающий, прежде всего, процессы скольжения и стратификации атмосферы. Процессы скольжения подразумевают движение воздуха в наклонном направлении вблизи поверхности раздела двух воздушных масс – фронтов. При восходящем скольжении вертикальная составляющая скорости движения воздуха направлена вверх, при нисходящем – вниз. Были установлены многочисленные взаимосвязи между динамическими атмосферными

процессами и болезненными явлениями, особенно реакциями вегетативной нервной системы. Было установлено, что:

1. Наиболее чувствительны к воздействию погоды люди, страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями; они реагируют почти на все метеорологические возмущения, более всего на прохождение холодных фронтов и процессы восходящего скольжения.
2. Больные бронхиальной астмой почти также часто, хотя и менее сильно, реагируют на следующие метеорологические возмущения: прохождение холодного фронта, турбулентность в нижнем слое атмосферы, процессы восходящего скольжения.
3. Коэффициент смертности показывает высокую зависимость от прохождения холодного фронта и, кроме того, стоит в определенной связи с процессами восходящего скольжения и турбулентностью в нижних слоях атмосферы.
4. Эмболии (закупорка кровеносных сосудов), возникающие большей частью под влиянием прохождения холодных фронтов с накладывающимся восходящим скольжением, показывают так же четкую зависимость от прохождения холодных фронтов, процессов восходящего скольжения и турбулентности в нижнем слое атмосферы.
5. Спастические состояния возникают преимущественно под влиянием турбулентности, но подверженные им больные реагируют также довольно четко на процессы восходящего скольжения теплого воздуха и на прохождение теплых фронтов.
6. Частота наступления бессонницы у больных стоит в определенной зависимости от процессов восходящего скольжения в зоне теплых фронтов, в то же время ночи с ненарушенным сном в большой степени связаны со «спокойной» погодой и в некоторой степени с процессами нисходящего скольжения.

В 70-х годах прошлого столетия Минздравом вместе с Гидрометеорологической службой были разработана классификация погоды для использования в медицинской практике. Было выделено четыре типа погодных условий по их воздействию на организм человека:

- I – весьма благоприятная погода;
- II – благоприятная погода;
- III – неблагоприятная погода;
- IV – особо неблагоприятная погода.

Типы I и II (благоприятные) наблюдаются, когда ясно или наблюдается переменная облачность, возможны небольшие кратковременные осадки. Температура воздуха за 12 часов изменяется не более чем на 3-6 °С, давление 755-760 мм ртутного столба (1006-1013 гПа), скорость ветра не выше 12 м/с, относительная влажность 55-85 %. При этих типах метеопатических реакций не наблюдается.

Тип III (неблагоприятная погода) -- это пасмурная, неустойчивая погода, осадки, возможны грозы, туманы, ливни, шквалистый ветер, метели. Давление составляет 745-754 мм ртутного столба (993-1005 гПа) с изменением за три часа на 3-4 мм (4-5 гПа). Колебания температуры воздуха составляют 6-10 °С, относительной влажности 20-40 % за 12 часов. Скорость ветра может возрастать до 9-15 м/с.

Тип IV является особо неблагоприятным. Он характеризуется сильными ливнями, грозами, пыльными бурями, шквалами. Давление воздуха ниже 745 мм ртутного столба (993 гПа) с изменением более 3 мм (4гПа) за три часа. Колебания температуры воздуха составляют 10 °С, относительной влажности на 20-40 % и более за 12 часов. Скорость ветра 15 м/с и более.

При прогнозе неблагоприятных типов погоды метеочувствительным людям приходится прибегать к помощи врачей и лекарств.

2.9. Причины возникновения метеотропных реакций

Выше было показано, что метеотропные реакции, то есть обострение патологических состояний организма, связанных с переменами погоды, могут быть связаны с фронтальными процессами, причем появляются они до, во время и после фронта. Ряд исследователей указывали на роль компонентов атмосферного электричества (ионизация, напряженность электрического поля, проводимость воздуха и т.д.) в происхождении метеотропных реакций.

Фронт как поверхность раздела между двумя воздушными массами различного происхождения характеризуются скачкообразным изменением метеорологических факторов (давления, температуры, влажности воздуха, направления и скорости ветра, облачности и т.д.). С прохождением фронта связано также изменение электрических компонентов. При фронтах меняется проводимость воздуха, концентрация ионов, напряженность поля; некоторые из них претерпевают значительные колебания еще до фронта. На фронтах, преимущественно холодных, образуются грозовые разряды, которые являются источником

электромагнитных импульсов. Они распространяются со скоростью света и имеют широкий спектральный диапазон, в широких пределах меняются их электрические и энергетические параметры. В своем проявлении уже с далеких расстояний они опережают изменения основных метеорологических факторов и могут влиять на организм, особенно на организм больного человека.

Изменение электромагнитных факторов проявляются за 1-2 дня до прохождения фронта, проводимости воздуха и напряженности электрического поля ближе к фронту, а в момент прохождения фронта изменяются основные метеорологические параметры. Такая последовательность изменения электрических и метеорологических факторов при прохождении фронтальных раздела позволяет процесс их изменения разделить на три периода: за 1-2 дня до прохождения фронта, в момент его прохождения и после фронта.

Первый период характеризуется изменениями компонентов атмосферного электричества; при этом на более раннем этапе отмечаются появления изменения электромагнитных импульсов. Эти изменения происходят на фоне определенных сочетаний метеорологических факторов, претерпевающих обычный суточный ход.

Второй период – прохождение самого фронта, который длится несколько часов (1-6), характеризуется скачкообразным изменением всех метеорологических факторов совместно с изменением компонентов атмосферного электричества.

Третий период (до 24 ч) характеризуется восстановлением на определенном уровне значений электрических и метеорологических факторов после прохождения фронта.

Определенное метеотропное влияние оказывается на организм человека и при стационарном положении воздушных масс, особенно при проявлении грозовой деятельности.

Биологическое действие электромагнитных импульсов свидетельствует о существовании раздражителя, действующего на организм еще до прохождения фронта. Действие этот раздражителя имеет самостоятельное значение, но оно тесно связано с последующим действием холода (в случае холодного фронта) на организм.

В первом периоде прохождения фронта на фоне еще не изменяющихся основных метеорологических элементов (совершающих обычный суточный ход) новым безусловным раздражителем являются электромагнитные импульсы. При их действии на организм повышается возбудимость центральной нервной системы, изменяется тонус

сосудов, обмен веществ, реактивность организма на холодовые раздражители. Если эти условия были связаны с началом заболевания, то это может обострить патологическое состояние, ухудшить субъективное состояние, вызвать появление головных болей, болей в области сердца, в суставах, привести к повышению артериального давления и др.

При повторном сочетании электромагнитных импульсов с изменяющимися метеорологическими элементами этот раздражитель может стать условным рефлексом. Этот период определяется условно рефлекторным компонентом сложного действия физического фронтального процесса на организм, проявление которого в основном зависит от типа высшей нервной деятельности и патологического состояния организма.

Во втором периоде прохождения фронта новыми раздражителями являются резкое изменение основных метеорологических факторов (температуры, влажности и давления воздуха, скорости ветра). В этом периоде возможно избирательное действие каждого из указанных элементов в отношении организма как активно действующего. Однако основным является понижение температуры воздуха, вызывающее охлаждение организма. Таким образом, влияние первого и второго периода прохождения фронта обуславливает суммарный ответ со стороны организма.

Третий период прохождения фронта обуславливает стадию, характеризующуюся восстановлением на определенном уровне функционального состояния органов и систем по отношению к изменениям, вызванным прохождением фронта.

Фронтальный процесс, характеризующийся последовательно выраженными изменениями электромагнитных и метеорологических факторов, обуславливает известную «напряженность» в состоянии приземного слоя атмосферы. Эта «физическая напряженность», естественно, вызывает ответную «физиологическую напряженность» в организме, проявление которой обусловлено функциональным состоянием органов и систем и самими колебаниями электромагнитных и метеорологических факторов. Это и приводит к обострению патологических процессов в виде так называемых метеотропных реакций.

Контрольные вопросы.

1. Какое влияние оказывает атмосферное давление на организм человека?

2. Какие высоты над уровнем моря считаются опасными для здоровья?
3. Как высота местности влияет на содержание кислорода в крови человека?
4. От каких физических факторов зависит содержание кислорода в атмосферном воздухе?
5. Какие синоптические ситуации приводят к увеличению, а какие к уменьшению содержания кислорода в атмосферном воздухе?
6. Что такое «кессонная болезнь», каковы ее основные симптомы?
7. Какое лечение применяется при кессонной болезни?
8. В чем заключается механизм поддержания температуры тела на постоянном уровне?
9. Какую роль в поддержании теплового баланса человека играет потоотделение?
10. Какие сочетания температуры и влажности воздуха являются наиболее оптимальными для человеческого организма?
11. Каковы причины отрицательного влияния высокой влажности воздуха для человека?
12. Почему во влажном воздухе опасность распространения воздушной инфекции выше, чем в сухом?
13. Опишите положительные и отрицательные стороны воздействия ветра на человека.
14. Какие синоптические ситуации способствуют увеличению, а какие – уменьшению содержания кислорода в атмосферном воздухе?
15. При какой фазе фёна отмечается наибольшая частота нарушений самочувствия метеозависимых людей?
16. Какое влияние оказывает солнечный свет на организм человека?
17. Какие типы погодных условий являются благоприятными, а какие неблагоприятными для организма человека?
18. В чем причины возникновения метеотропных реакций, по мнению биометсорологов?

ГЛАВА 3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА

3.1. Влияние метеорологических факторов на тепловое состояние человека

Человек постоянно испытывает влияние различных факторов окружающей среды, а именно тепловых, шумовых, световых и других воздействий. Поэтому общее состояние человека зависит от реакции организма на действие всего комплекса факторов внешней среды, которые по характеру воздействия неравнозначны, а их эффекты часто несопоставимы.

Из всех видов воздействия среды на человека наиболее существенные те, которые определяют его тепловое состояние. Это положение вытекает из основной биологической сущности человека как гомойотермного (теплокровного) организма, характеризующегося высокой стабильностью внутренней температуры тела.

Тепловое воздействие среды и реакция организма на это воздействие является одним из условий существования человека на Земле. Тепловое воздействие окружающей среды человек испытывает на протяжении всей жизни, совершенно также как он постоянно испытывает давление атмосферы и силу притяжения Земли.

Организм человека располагает хорошо развитой системой терморегуляции, выработанной в процессе эволюции. Однако возможности терморегуляции ограничены. При сильных тепловых воздействиях возникает высокая напряженность системы терморегуляции. В экстремальных ситуациях, когда аппарат терморегуляции не в состоянии обеспечить защитные функции, наступает перегрев организма, приводящий к серьезным нарушениям здоровья. Аналогичная ситуация возникает при воздействии холодных условий, когда отмечается переохлаждение организма. От уровня теплового воздействия среды на организм существенно зависит самочувствие и здоровье человека, его работоспособность, а также возможная продолжительность выполнения различных видов физической и умственной работы. Поэтому тепловое воздействие на человека рассматривается как одно из наиболее важных.

Тепловое состояние человека формируется под воздействием комплекса метеорологических и других физических факторов, а также под влиянием теплообразования и тепловыделений в самом организме.

Температура воздуха является одним из факторов, определяющих теплообмен между телом человека и окружающим воздухом. В связи с тем, что почти всегда имеется разница между температурой окружающего воздуха и температурой поверхности тела человека, между ними происходит обмен теплом путем конвекции. Конвективный теплообмен увеличивается с ростом разности температур между окружающим воздухом и кожей человека. Если воздух теплее кожи, то происходит приток тепла к телу, если воздух холоднее кожи – организм отдает тепло путем конвекции. Так как средняя температура кожи человека, находящегося в условиях теплового комфорта, примерно равна 33 °С, то при температуре воздуха, близкой к 33 °С, теплообмен между телом и воздухом практически отсутствует.

С возрастанием скорости ветра увеличивается интенсивность обмена между тонким «прикожным» слоем воздуха, температура которого близка к температуре кожи, и воздухом натекающего потока. Поэтому при данной разности температур кожа – воздух теплообмен между кожей и воздухом путем конвекции будет увеличиваться вместе со скоростью ветра.

Температура воздуха влияет и на теплообмен, происходящий в дыхательных путях при дыхании. Однако теплообмен в легких весьма мал, в особенности в теплый период года.

Температура поверхности почвы оказывает влияние на тепловое состояние человека двумя путями.

1. Путем кондуктивного теплообмена между поверхностью почвы и соприкасающимися с ней частями тела. Чем больше разность температур между поверхностью тела и поверхностью почвы, тем более интенсивным будет теплообмен. Однако для стоящего или идущего человека, ступни которого защищены обувью, теплообмен с почвой мал, и поэтому данный вид теплообмена обычно не рассматривается.

2. Путем теплового излучения с поверхности почвы. Потоки излучения, падающие на тело, поглощаются поверхностными тканями, трансформируются в тепловую энергию и тем самым сообщают телу человека определенное количество тепла. Чем выше температура поверхности почвы, тем больше тепла получает человек за счет теплового излучения.

Влажность воздуха существенно влияет на скорость испарения пота с поверхности тела. С увеличением влажности воздуха скорость испарения пота уменьшается, что затрудняет деятельность терморегуляторной системы организма. Летом при высоких значениях влажно-

сти, обычно более 18 гПа, создаются условия духоты, при которой возрастает напряженность терморегуляторной системы, сопровождающаяся плохим самочувствием человека. В этих условиях усиление ветра способствует более активному испарению пота, что снижает ощущение духоты. При холодной погоде увеличение влажности воздуха усиливает ощущение холода.

Влажность воздуха также оказывает влияние на скорость испарения влаги с поверхности дыхательных путей и, следовательно, на теплотери за счет испарения при дыхании. Этот вид теплотерь невелик и достаточно стабилен по сравнению с другими составляющими теплового баланса человека.

Радиационные потоки, поступающие к телу человека, оказывают существенное влияние на его тепловое состояние. Общий поток коротковолновой радиации, воспринимаемый организмом, складывается из прямой солнечной радиации, рассеянной радиации и радиации, отраженной от поверхности земли и от окружающих предметов. Указанные потоки радиации частично отражаются от поверхности кожи и частично ею поглощаются. Доля радиации, отраженной от кожи, зависит от ее альбедо, то есть от ее отражательной способности. Альбедо кожи человека зависит от степени ее пигментации и колеблется в пределах от 0,18 до 0,44. При биометеорологических расчетах среднее значение альбедо обычно принимается равным 0,3. Поглощенная телом человека коротковолновая радиация переходит в тепловую энергию и тем самым сообщает телу определенное количество тепла, которое зависит от интенсивности радиации и от альбедо кожи.

Тепловое излучение (длинноволновая радиация) поступает к телу человека от поверхности Земли, атмосферы и от всех других элементов окружающей среды – от стен зданий, зеленых насаждений, водоемов и т. д. Нагреваясь, поверхность Земли, как и другие предметы, излучает тепло. Согласно закону Стефана – Больцмана излучение этой поверхности пропорционально четвертой степени абсолютной температуры тела

$$U_3 = \sigma \delta T^4, \quad (3.1)$$

где U_3 – тепловое излучение поверхности, σ – постоянная Стефана – Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴), δ – относительная излучательная способность, показывающая, какую долю излучения абсолютно черного тела составляет излучение, T – абсолютная температура те-

ла. Атмосфера, также имея определенную температуру, излучает тепловую энергию. Тепловая энергия от Земли и атмосферы поступает на поверхность тела.

Потоки длинноволновой радиации, попадая на тело человека, почти полностью (около 95 %) поглощаются поверхностными тканями тела и, трансформируясь в тепло, участвуют в нагревании организма. Интенсивность теплового излучения непосредственно зависит от температуры излучающих поверхностей, возрастая с ее повышением.

Само тело человека, так как оно тоже является теплым, постоянно излучает тепло в окружающую среду. Разность между излучением тела человека и поступлением к телу потоков длинноволнового излучения из окружающей среды называется эффективным излучением поверхности тела ($U_{эф}$).

Разность между поглощенной телом человека радиацией (коротковолновой и длинноволновой) и собственным излучением с поверхности тела является радиационным балансом человека. Следовательно, радиационный баланс человека характеризует то количество тепла, которое получает (или же теряет) организм за счет лучистого теплообмена с внешней средой.

При наличии облачности солнечные лучи частично отражаются от облаков, частично рассеиваются в облачном слое и частично проходят через облака, достигая поверхности Земли. При тонких перистых и слоистых облаках ослабление прямой солнечной радиации относительно невелико, а рассеянная радиация заметно возрастает, так что суммарная радиация может оказаться более высокой, чем при безоблачном небе, и к телу человека поступает больше радиационного тепла.

При более плотном и мощном облачном покрове прямая солнечная радиация в значительной степени или полностью задерживается облаками и к Земле поступает в основном лишь рассеянная радиация; при этом человек получает значительно меньше тепла от суммарной солнечной радиации. Однако при облачности заметно возрастает тепловое излучение атмосферы. В целом радиационный баланс тела человека при облачной погоде, за исключением случаев, когда небо покрыто тонкими прозрачными облаками (перистыми, перисто-слоистыми или перистокучевыми), обычно бывает в большей или меньшей степени ослаблен. При жаркой погоде облака часто создают ощущение духоты.

3.2. Теплопродукция человека

В процессе жизнедеятельности и биологического обмена веществ в организме человека образуется тепло в результате окислительных процессов – теплопродукция организма. При этом количество выделившейся энергии находится в прямом соответствии с количеством кислорода, усвоенного в процессе дыхания. Теплопродукция зависит от физической нагрузки, увеличиваясь с ростом мышечной активности. При полном покое теплопродукция поддерживается на наиболее низком уровне и соответствует «основному обмену», равному 82–88 Вт. Если человек находится в вертикальном положении в покое (без движения), то его теплопродукция составляет около 95 Вт. При легкой, умеренно тяжелой, тяжелой и очень тяжелой работе общая теплопродукция имеет соответственно следующие характерные значения: 185, 265, 525 и > 700 Вт. Однако часть этой энергии расходуется на выполнение работы, а остальное тепло затрачивается на нагревание организма и в конечном итоге отдается в окружающую среду. При указанных выше четырех уровнях физической активности на нагревание организма соответственно будет затрачиваться 165, 220, 415 и \geq 545 Вт.

3.3. Терморегуляция

Организм человека можно рассматривать как определенную термодинамическую систему, отличающуюся высоким постоянством температуры внутренней зоны (ядра) при возможных значительных изменениях температуры поверхностных тканей (оболочки). Постоянство температуры ядра обеспечивается с помощью системы терморегуляции, которая чутко реагирует на термические воздействия факторов внешней среды и на тепловыделения в организме.

Рассмотренные выше общие закономерности теплового взаимодействия между телом человека и факторами окружающей среды дают представление о том, какими путями происходит поступление тепла к организму или его теплопотери.

В том случае, когда суммарный приток тепла к телу оказывается больше или меньше общих теплопотерь, терморегуляторной системой организма осуществляется соответствующая компенсация избытка или недостатка тепла с целью сохранения температуры внутренней зоны организма на практически неизменном уровне, составляющем 37,0–37,2 °С. Отклонения температуры тела от указанного уровня свиде-

тельствуют о перегреве или же переохлаждении организма. Постоянство температуры внутренней зоны поддерживается в основном путем потоотделения, теплопродукции и сосудистых реакций, которые регулируют интенсивность кровотока между периферической и внутренней зонами тела человека.

Если поступление тепла к организму превышает теплотери, обусловленные влиянием внешних факторов, то происходит выделение пота и расширение периферических сосудов, сопровождающееся усилением кровотока с внутренними зонами. За счет испарения пота происходит охлаждение поверхностного слоя кожи. В результате температура этого слоя становится ниже температуры воздуха. Кровь, поступающая по капиллярам к поверхности кожи, отдает часть тепла во внешнюю среду и охлажденная уходит во внутреннюю часть организма.

Таким образом, потеря тепла, связанная с испарением пота, ограничивает сколько-нибудь значительный подъем температуры кожи и тем самым поддерживает перепад температуры между внешней и более теплой внутренней зоной 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 нагрева. При охлаждении организма несколько увеличивается теплопродукция, потоотделение практически прекращается, происходит сужение периферических сосудов. При этом кровь не поступает к поверхности кожи, что наглядно проявляется в ее «побелении», и циркулирует в более глубоких слоях организма. За счет этого образуется теплоизоляционный слой, в результате чего кровь не отдает тепло непосредственно в окружающий воздух. За счет этого происходит ослабление теплообмена между внутренней частью организма и окружающей средой и сохранение тепла в организме. 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 весьма ограниченными возможностями ослабления

тепловой нагрузки. В этих условиях практически единственным средством терморегуляции является испарение пота. При этом, чем больше поступление тепла к организму, тем больше потоотделение и соответственно больше теплоотдача путем испарения пота. Если принять, что в организме не происходит ни накопления, ни убыли тепла, т. е. что средняя температура тела постоянна, то затраты тепла на испарение пота численно будут равны суммарному поступлению тепла в организм за счет влияния всех внешних факторов и теплопродукции. Это суммарное поступление тепла, выраженное через величину потоотделения, количественно характеризует тепловую нагрузку на организм. Таким образом, интенсивность потоотделения, а также затрата тепла на испарение пота являются вполне объективными количественными показателями тепловой нагрузки на организм человека. В то же время от потоотделения зависит потребность человека в жидкости, в частности в питьевой воде.

3.4. Влияние одежды на тепловое состояние человека

Одежда оказывает существенное влияние на тепловое состояние человека. При холодной погоде одежда уменьшает теплопотери с поверхности тела, «сберегая» тепло, выделяемое организмом. При жаркой погоде одежда, с одной стороны, уменьшает поступление радиационного тепла к организму, ослабляя тем самым радиационный нагрев тела, с другой стороны, одежда в сильной степени ограничивает испарение пота, затрудняя процесс терморегуляции. Если человек одет в соответствии с условиями погоды, то его тепловое состояние обычно мало отличается от оптимального, при котором уровень активности функций терморегуляции наиболее низок.

Между потерями тепла обнаженным человеком и типом одежды (ее теплоизоляционными свойствами) существует прямое соответствие: чем больше тепла отдается во внешнюю среду с поверхности тела обнаженного человека, тем более теплую одежду он должен носить, чтобы обеспечить для себя оптимальные тепловые условия. Поскольку одежда при разных условиях погоды нивелирует тепловое состояние человека, приближая его к оптимальному состоянию, физиологические реакции организма одетого человека на воздействия внешней среды также будут в значительной мере сглаженными и не смогут адекватно отражать биометеорологические свойства среды с точки зрения ее теплового воздействия на человека.

При жаркой погоде роль одежды как средства регулирования теплового состояния человека в значительной степени утрачивается.

В целом одежда вносит существенные искажения в оценки биотермических свойств среды, в которой протекает жизнь человека. Поэтому для биоклиматических оценок окружающая среда рассматривается с точки зрения ее охлаждающей способности или же способности сообщать организму тепло без учета влияния одежды, т. е. рассматривается тепловой режим обнаженного человека. При этом следует иметь в виду, что летом, при жаркой погоде, когда человек подвергается инсоляции, одежда уменьшает потоотделение на 35-45 % за счет защиты тела от солнечных лучей.

Контрольные вопросы.

1. Из каких составляющих складывается общий поток коротковолновой радиации, поступающий на тело человека?
2. С чем связано тепловое излучение, поступающее к телу человека? Напишите закон Стефана-Больцмана.
3. Что такое эффективное излучение поверхности тела?
4. Что такое радиационный баланс человека? Из чего он складывается?
5. Что такое теплопродукция человека и от чего она зависит?
6. Какие виды терморегуляции вы знаете? Какой механизм их действия?

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

4.1. Уравнение теплового баланса человека

В настоящее время существует большое число методов оценки теплового состояния человека, находящегося под влиянием комплекса метеорологических факторов. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Они характеризуются определенными границами применимости в соответствии с пределами изменения метеорологических параметров.

Одним из наиболее объективных научно обоснованных и удобных для различного рода биоклиматических оценок является метод теплового баланса организма. Наиболее полно разработан этот метод в Среднеазиатском гидрометеорологическом институте Б.А. Айзенштатом [1-3].

Уравнение теплового баланса человека представляется в виде:

$$FLE = FR + FP + P_d - LE_n + M, \quad (4.1)$$

где F – площадь поверхности тела человека, участвующей в процессах конвективного и радиационного теплообмена (для взрослого человека в среднем $F=1,5 \text{ м}^2$); L – скрытая теплота испарения (при температуре кожи $33 \text{ }^\circ\text{C}$ $L=2411 \text{ Дж/г} = 0,67 \text{ Вт} \cdot \text{ч/г}$); E – скорость испарения пота с единицы площади поверхности тела, $\text{г}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$; FLE – затрата тепла на испарение пота, Вт; FR – радиационный баланс тела человека, Вт; FP – теплообмен между телом и окружающим воздухом путем конвекции, Вт; P_d – теплообмен между поверхностью дыхательных путей и воздухом при дыхании, Вт; LE_n – затрата тепла на испарение воды с поверхности дыхательных путей при дыхании, Вт; M – теплопродукция организма, Вт (для стоящего человека, находящегося в состоянии покоя, выделение тепла принимается равным 93 Вт).

Предварительно рассчитав все члены правой части уравнения (4.1), можно найти значение FLE , то есть величину тех затрат тепла, которые идут на испарение пота для поддержания теплового баланса организма. Зная FLE в Вт, легко найти величину потерь влаги за счет испарения пота FE в г/ч:

$$FE = FLE/L = FLE/0,67. \quad (4.2)$$

Согласно уравнению (4.1), члены FR , FP и P_x положительны, когда они характеризуют приток тепла к организму, и отрицательны при теплоотдаче; теплотери при испарении FLE и $LE_{п}$, а также влагопотери FE и E_x следует считать положительными. Именно поэтому в уравнении величина $LE_{д}$ стоит с отрицательным знаком.

Если при расчетах окажется, что FLE отрицательно ($FLE < 0$), то это условно означает, что организм находится в режиме охлаждения. Отрицательное значение FLE численно равно тому количеству тепла, которое организм должен сохранить путем использования соответствующей одежды или же выделить за счет повышения физической активности, чтобы обеспечить состояние теплового комфорта.

Из уравнения (4.1) следует, что затраты тепла на испарение пота FLE равны суммарному поступлению тепла к организму за счет влияния всех внешних факторов и теплопродукции. Следовательно, FLE является количественной характеристикой тепловой нагрузки на организм.

Общий радиационный баланс тела человека FR складывается из коротковолнового $FR_{к}$ и длинноволнового $FR_{д}$ балансов:

$$FR = FR_{к} + FR_{д} \quad (4.3)$$

Вид формулы $FR_{к}$ зависит от принятой геометрической модели тела человека. При решении задачи о радиационном балансе необходимо, прежде всего, соответствующим образом схематизировать форму поверхности тела с тем, чтобы принятая геометрическая модель по возможности более близко отвечала условиям облучения реального человека. Для человека принимаются две геометрические модели.

Первая из них представляет собой шар. В гигиенической практике широко применяется получение интегральной тепловой характеристики – температуры черного шара, или так называемой результирующей температуры (по Вердону). Эта характеристика учитывает влияние трех факторов – температуры воздуха, скорости ветра и потока радиации (коротковолновой и длинноволновой). Б.А. Айзенштат разработал теорию метода черного шара в приложении к тепловому балансу человека.

Температура шара является функцией радиационного баланса шара $R_{ин}$, температуры воздуха t_a и скорости ветра $f(v)$. Поэтому температуру шара можно записать в виде:

$$t_{ш} = R_{ин} / [k f(v)] \pm t_a \quad (4.4)$$

Шаровой термометр представляет собой полый металлический шар диаметром 15 см. Средняя температура шара измеряется с помощью термометра, вставленного через специальное отверстие внутрь шара. Поверхность шара в зависимости от выполняемых задач имеет либо черный, либо телесный цвет с отражательной способностью, равной 0,3. Расчеты показали, что коротковолновая составляющая радиационного баланса шара FR_K (в Вт) представляется в виде:

$$FR_K = 0,5F(1 - A_K)(S/2 + D + r). \quad (4.5)$$

Данной моделью в форме шара целесообразно пользоваться для описания теплового баланса человека, находящегося в согнутом положении, например, выполняющего некоторые виды монтажных или сельскохозяйственных работ.

Для человека, находящегося в вертикальном положении, принимается геометрическая модель в виде вертикального кругового цилиндра, высота которого равна шестикратному диаметру. В этом случае FR_K (в Вт) выражается формулой:

$$FR_K = 0,5F(1 - A_K)[S(0,6 \cdot \cos h + 0,08 \cdot \sin h) + D + r]. \quad (4.6)$$

Длинноволновый баланс FR_D (в Вт) для обеих моделей выражается формулой:

$$FR_D = 0,5 \cdot F \beta (t_3 + t_a - 2t_K). \quad (4.7)$$

В формулах (5) – (7) обозначено: S – интенсивность прямой солнечной радиации, поступающей на перпендикулярную к лучам поверхность, Вт/м²; D – интенсивность рассеянной радиации, Вт/м²; r – интенсивность радиации, отраженной от поверхности Земли, Вт/м²; h – высота Солнца над горизонтом, °; A_K – альbedo кожи человека (для среднепигментированной кожи A_K принимается равным 0,3); t_3 – температура поверхности почвы °С; t_a – радиационная температура атмосферы, °С; t_K – средняя температура кожи, которая принимается равной 33 °С; β – коэффициент, Вт/(м² · °С).

Радиационная температура t_a определяется с помощью номограммы (рис. 4.1), построенной для упругости водяного пара $e = 12$ гПа и нескольких значений количества облаков, выраженных в баллах.

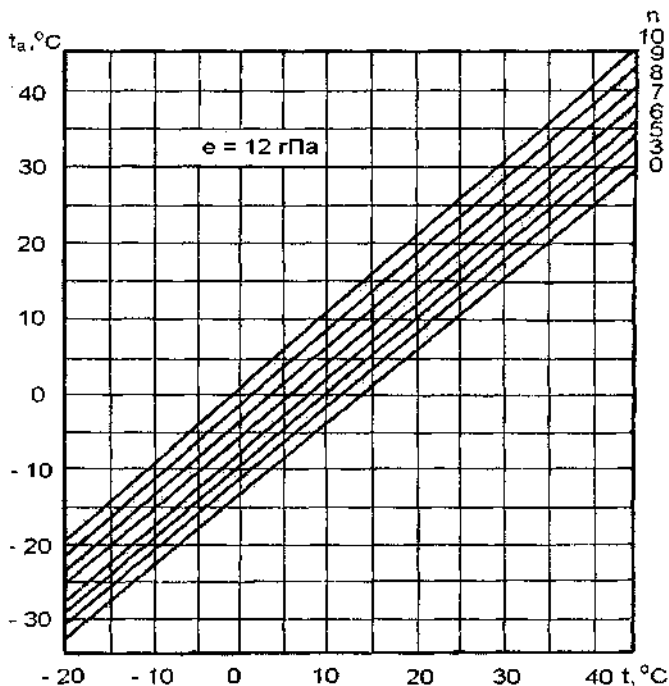


Рис. 4.1. Номограмма для определения радиационной температуры атмосферы t_a по температуре воздуха t при упругости водяного пара $e = 12$ гПа (n – количество облаков в баллах) [3].

Если фактическая упругость пара отличается от 12 гПа, то сначала по рис. 4.1 определяется t_{a1} , а затем к полученному значению вводится поправка Δt_a (в °С), которая равна

$$\Delta t_a = 0,6 (e - 12), \quad (4.8)$$

где e – фактическая упругость водяного пара, гПа.

Коэффициент β вычисляется по формуле

$$\beta = 0,014 (t_s + t_a) + 5,37. \quad (4.9)$$

Величина FP (в Вт) выражается формулой:

$$FP = F \alpha (t - t_a) (b/b_0)^{1,2}, \quad (4.10)$$

где t – температура воздуха, °С; b – атмосферное давление в данном пункте, гПа; b_0 – атмосферное давление, приведенное к уровню моря ($b_0 = 1000$ гПа); α – коэффициент теплообмена между телом и воздухом, Вт/(м² · °С).

При скоростях ветра θ ; 0,5; 1; 2; 3; 4 м/с коэффициент α соответственно равен 3,49; 9,42; 12,91; 18,49; 23,24; 27,36 Вт/(м² · °С).

Величины P_a (в Вт) и LE_a (в Вт) выражаются формулами:

$$P_a = 0,00002 W b (t - t_a), \quad (4.11)$$

$$LE_a = 0,029 W (e_a - e), \quad (4.12)$$

где W – минутный объем дыхания, л/мин (при покое W составляет около 8 л/мин); t_a – температура выдыхаемого воздуха ($t_a \approx 35$ °С); e_a – упругость водяного пара выдыхаемого воздуха ($e_a = 56,3$ гПа); e – упругость вдыхаемого окружающего воздуха, гПа.

Необходимо отметить, что величина P_a весьма мала по сравнению с другими составляющими уравнения теплового баланса (4.1), LE_a несколько больше, чем P_a , но также невелико, причем сравнительно мало изменяется в суточном и годовом ходе. Так, при изменении температуры воздуха от 40 до -40 °С P_a изменяется в пределах от 0,8 до 11,9 Вт, а LE_a при изменении e от 1 до 30 гПа изменяется от 12,7 до 6,0 Вт. Приведенные значения вносят относительно малый вклад в общий баланс тепла организма, составляя лишь в экстремальных условиях холода около 15 % основного обмена, то есть теплопродукции организма при покое.

4.2. Показатель напряженности терморегуляторной системы организма

Наряду с показателем тепловой нагрузки FLE или FE , характеристикой теплового состояния человека является показатель напряженности терморегуляторной системы организма G . Этот показатель выражает отношение фактической тепловой нагрузки к максимально возможной, соответствующей полному увлажнению тела, при тех же метеорологических условиях. Фактор G (в %) характеризует относительную площадь увлажнения поверхности тела потом:

$$G = (FE / FE_{\max}) \cdot 100 \% \quad (4.13)$$

При значениях G , превышающих 50-60 %, наблюдается выраженное напряжение терморегуляторных систем организма. При G , приближающихся к 100 %, создается угроза перегрева, теплового или солнечного удара.

Фактор G чувствителен к изменениям скорости ветра и упругости водяного пара. Он возрастает с увеличением влажности воздуха и убывает с усилением ветра.

4.3. Шкала теплового состояния человека

Для характеристики тепловой нагрузки служит шкала теплового состояния человека (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Шкала теплового состояния человека, находящегося на открытом воздухе при мышечном покое

Тепловое состояние	Теплоощущение	Показатель теплового состояния			Вид одежды
		FE , г/ч	FLE , Вт	G , %	
Потеря тепла					
очень большая	Очень холодно	< -900	< -606	-	Зимняя утепленная
большая	Холодно	-900...-551	-606...-371		Зимняя
умеренная	Умеренно холодно	-550...-201	-370...-136		Демисезонная
слабая	Прохладно	-200...49	-135...33		Костюм
Оптимальное тепловое состояние	Тепловой комфорт	50...150	34...100	5...12	
Тепловая нагрузка					
слабая	Тепло	151...300	101...202	13...25	
умеренная	Очень тепло	301...500	203...337	26...45	
большая	Жарко	501...700	338...472	46...64	
очень большая	Очень жарко	701...900	473...607	65...85	
чрезмерная	Чрезмерно жарко	>900	>607	>85	

Она получена с учетом зависимости температуры кожи t_k от относительной площади увлажнения поверхности тела (от фактора G) и связи между теплоощущением и температурой воздуха t .

Данные табл. 4.1 соответствуют условиям пребывания обнаженного человека в состоянии покоя на открытом воздухе. Оптимальному тепловому состоянию человека или условию его теплового комфорта соответствуют значения FE в пределах от 50 до 150 г/ч, значения FLE в пределах 34 – 100 Вт и значения G в пределах 5 – 12 %. Значения $G < 0$ не имеют физического смысла и потому не приводятся. Выделенным градациям тепловой нагрузки, потери тепла и теплоощущения присвоены соответствующие словесные характеристики. Однако при потерях тепла они носят несколько условный характер, так как предполагается, что теплоощущение человека, одетого в соответствии с условиями погоды, мало отличается от оптимального. В правой части шкалы теплотерьер приведены типы одежды, которые по своим теплоизоляционным свойствам ориентировочно отвечают соответствующим градациям потери тепла организмом.

4.4. Биометеорологическая оценка суровости зим

При оценке холодного периода используются различные показатели, такие как средние месячные температуры воздуха, отклонения от них, количество градусо-дней с морозами, «суммы холода», то есть суммы температур за дни с температурой воздуха ниже 0°C и ряд других.

Для биометеорологической оценки важно, как зимние условия воздействуют на организм человека. Для этой цели приходится прибегать к комплексным показателям, включающим два и более метеорологических факторов.

Например, «условная температура» воздуха по Арнольду (T) представляет собой показатель, при вычислении которого увеличение скорости ветра (v) на 1 м/с условно приравнивается к понижению температуры воздуха (t) на 2°C :

$$T = t - 2v. \quad (4.14)$$

Наиболее часто для оценки суровости зим в баллах наиболее часто используется формула Бодмана, включающая данные о температуре воздуха (t) и скорости ветра (v):

$$S = (1 - 0.04 t) (1 + 0.27 v). \quad (4.15)$$

За единицу суровости принимаются условия при $t = 0$ °С и $v = 0$ м/с. Для характеристики зимнего периода используется следующая балльная шкала:

$S < 1,0$ – зима несуровая, мягкая,

$S = 1,1-2,0$ – мало суровая,

$S = 2,1-3,0$ – умеренно суровая,

$S = 3,1-4,0$ – суровая,

$S = 4,1-5,0$ – очень суровая,

$S = 5,1-6,0$ – жестоко суровая,

$S > 6,0$ – крайне жестоко суровая.

Но оценка суровости по формуле Бодмана не всегда согласуется с ощущениями людей. В связи с этим В.И. Осокин предложил уточнить формулу для расчета показателя суровости зим S в баллах в виде:

$$S = (1 - 0.06 t) (1 + 0.20 v) (1 + 0.0006 H_k) K_a A_c, \quad (4.16)$$

где t – температура воздуха в °С, v – скорость ветра в м/с, H_k – абсолютная высота местности, K_a и A_c – коэффициенты, учитывающие влияние влажности и суточной амплитуды воздуха. Значения K_a и A_c приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения коэффициентов влияния влажности (K_a) и суточных амплитуд температуры воздуха (A_c)

Влажность, %	K_a	Температура, °С	A_c
21-30	0,75	До 4,0	0,85
31-40	0,80	4,1-6,0	0,90
40-50	0,85	6,1-8,0	0,95
51-60	0,90	8,1-10,0	1,00
61-70	0,95	10,1-12,0	1,05
71-80	1,00	12,1-14,0	1,10
81-90	1,05	14,1-16,0	1,15
91-100	1,10	16,1-18,0	1,20
		Более 18,0	1,25

По данным А.А. Кульпекиной (НУУз, 2003), выполнившей расчеты среднесуточных коэффициентов жесткости погоды в Ташкенте для холодного полугодия за период с 1950 по 2000 год, получено, что

максимальное количество коэффициентов приходится на интервал 1,30-1,60 (52 % случаев). Хотя отмечаются случаи и с коэффициентом 2,5, которые относятся к зимам умеренно суровым.

Разделив условно для Ташкента зимы с коэффициентами жесткости S на следующие градации: S менее 1,30 – благоприятные, S от 1,31 до 1,60 – нейтральные, а с S более 1,60 – неблагоприятные, получено, что благоприятные зимы отмечаются в 33 % случаев, нейтральные – в 52 %, а неблагоприятные – 15 % (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Повторяемость (%) различных градаций коэффициентов жесткости погоды по Бодману в Ташкенте в холодный период года

Градация	Месяцы						Всего
	XI	XII	I	II	III	IV	
$S \leq 1,30$	35	42	39	32	28	22	33
$1,30 < S < 1,60$	53	48	49	51	52	57	52
$S \geq 1,60$	12	10	12	17	20	21	15

Из таблицы видно, что наиболее благоприятным месяцем с точки зрения жесткости погодных условий является декабрь, а наиболее неблагоприятными – март и апрель.

В целом за холодный период года с ноября по апрель отмечается устойчивая тенденция к снижению значений коэффициента S в среднем от 1,48 в 1950 г. до 1,33 в 2000 г., что связывается с изменением повторяемости синоптических процессов в Средней Азии (рис. 4.2).

Анализ синоптических ситуаций над Узбекистаном показал, что наиболее благоприятными в биометеорологическом отношении, то есть когда $S \leq 1,30$, являются антициклональные и малоградиентные барические поля, на долю которых приходится 52 % случаев. Неблагоприятные условия, когда $S \geq 1,60$, при этих типах синоптических процессов наблюдаются только в 27 % случаев.

Повторяемость случаев с $S \geq 1,60$ наиболее высока (73 %) при циклонических возмущениях и холодных вторжениях.

Эти условия действуют и на самочувствие человека, что вполне объяснимо.

Для антициклональных и малоградиентных барических полей обычна малооблачная погода со слабыми ветрами и малой междусуточной изменчивостью метеорологических условий, что благоприятно для

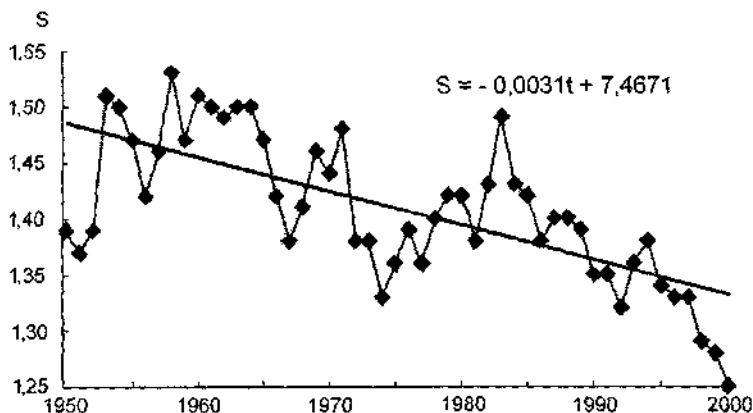


Рис. 4.2. Многолетний ход коэффициентов жесткости погоды (S) в Ташкенте за холодный период года.

самочувствия людей. Напротив, при прохождении циклонов и холодных фронтов вторжений характер погоды неустойчивый с переменной облачностью, резкими перепадами давления, увеличением влажности, значительными междусуточными изменениями температуры и влажности воздуха. Все указанные факторы неблагоприятно воздействуют на человеческий организм.

4.5. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ)

Тепловое воздействие окружающей среды на человека зависит от температуры и влажности воздуха, скорости ветра, радиационных характеристик, в том числе и от температуры окружающих предметов.

Но при оценке влияния окружающей среды на человека не всегда удобно использовать одновременно все эти величины. В связи с этим в санитарно-гигиенической и микроклиматической практике используются комплексные величины, называемые «эффективными температурами». Одной из них является эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). Она является комплексным показателем теплоощущения человека, которые складываются под влиянием трех метеорологических факторов: температуры воздуха, влажности и скорости ветра.

Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) – это та температура неподвижного воздуха, насыщенного водяными парами (то есть

при 100 % относительной влажности), которая создает у человека такое же тепловое ощущение, что и окружающая среда с температурой воздуха t_a с относительной влажностью r и скоростью ветра v .

Для расчетов ЭЭТ используются различные номограммы, имеющие три основных параметра: температуру воздуха, относительную влажность или температуру смоченного термометра и скорость ветра. Примером таковой является представленная для стоящего человека с теплопродукцией около 110 Вт (рис. 4.3).

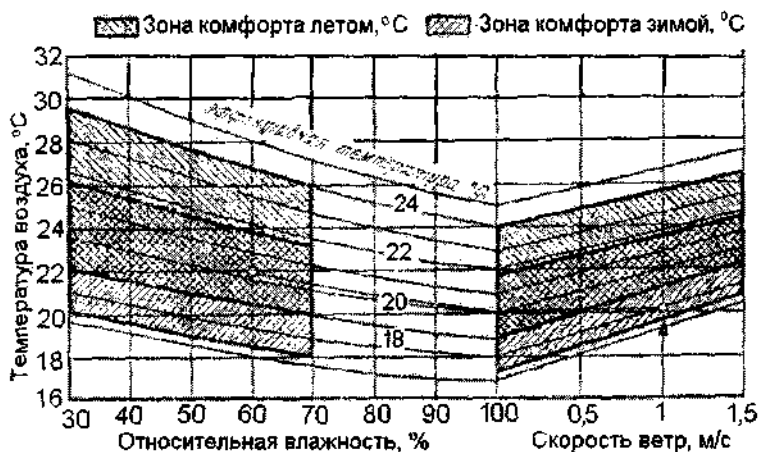


Рис. 4.3. Диаграмма определения эквивалентно-эффективной температуры для человека, выполняющего очень легкую работу (теплопродукция 110 Вт) [5].

На вертикальной оси нанесены значения температуры воздуха в градусах Цельсия, на горизонтальной, в первой ее части, - относительная влажность воздуха в процентах, во второй части - скорость ветра в м/с. В зачерненной части номограммы показаны значения эффективных температур. Линии этих температур пересекают линию 100 % влажности воздуха в точках сухих температур, равноценных эквивалентно-эффективным температурам. Например, линия эквивалентно-эффективной температуры в 24 °C пересекает линию 100 % относительной влажности в точке, в которой температура сухого воздуха 24 °C.

Линии эквивалентно-эффективных температур отвечают одинаковым субъективным ощущениям людей. Другими словами, все точки,

лежащие на одной и той же линии эквивалентно-эффективной температуры, представляют одинаковое тепловое состояние окружающей среды. Например, для человека, продуцирующего около 110 Вт тепла, при безветрии одинаковые тепловое ощущение будут при температуре воздуха 22 °С и относительной влажности 32 %, при температуре воздуха 21 °С и относительной влажности 50 %, или при температуре 20 °С и относительной влажности 70 %. Всем этим сочетаниям отвечает одинаковая эквивалентно-эффективная температура, равная 19 °С.

Диаграмма теплового ощущения в окружающей среде разделяется линией 100 % влажности на две части: левая часть относится к ситуации с отсутствием движения воздуха, правая позволяет судить о тепловом ощущении (состоянии) при разных скоростях движения воздуха.

Порядок нахождения эквивалентно-эффективной температуры следующий:

1. При измеренной температуре воздуха и его относительной влажности находим на диаграмме соответствующую им точку.

2. При неподвижном воздухе по этим двум параметрам находим эквивалентно-эффективную температуру. Здесь же по положению точки относительно заштрихованной области можно установить степень комфортности этих условий.

3. При наличии движения воздуха эквивалентно-эффективная температура будет несколько иной. Для ее нахождения необходимо по линии эквивалентно-эффективной температуры пройти вплоть до пересечения с прямой, соответствующей 100 % влажности. Из точки пересечения с этой прямой следует по горизонтальной прямой продвигаться до пересечения со значением измеренной скорости движения воздуха. Полученная точка отображает влияние подвижного воздуха на теплоощущение в исследуемой среде.

В качестве примера рассмотрим случай для человека, производящего очень легкую работу или при ходьбе, у которого уровень теплопродукции соответствует 110 Вт, при температуре воздуха 22 °С, относительной влажности 60 % и скорости ветра порядка 1 м/с. В условиях неподвижного воздуха теплоощущение соответствовало бы температуре 20,2 °С эквивалентно-эффективной температуры. При скорости ветра в 1 м/с результирующая точка будет соответствовать эквивалентно-эффективной температуре 18 °С.

При других видах работ, когда теплопродукция отличается от 110 Вт, поиск эквивалентно-эффективной температуры производится по другим номограммам.

При массовых биометеорологических оценках какого-либо района приходится наряду с со средними многолетними данными ЭЭТ пользоваться и различными статистическими оценками, требующими большого количества первичного материала по ЭЭТ. Получить такой массовый материал с помощью номограмм очень сложно. В связи с этим Б.А. Айзенштадом получена формула для расчета ЭЭТ применительно к оценке состояния обнаженного человека. В этой формуле ЭЭТ является функцией температуры воздуха t , относительной влажности r и скорости ветра v :

$$\begin{aligned} \text{ЭЭТ} = & t [1 - 0,003 (100 - r)] - 0,385 v^{0,59} [(36,6 - t) + \\ & + 0,662 (v - 1)] + [(0,0015 v + 0,0008) \cdot \\ & \cdot (36,6 - t) - 0,0167] (100 - r). \end{aligned} \quad (4.17)$$

Данная формула позволяет использовать стандартные метеорологические материалы и производить расчеты с помощью ПЭВМ.

Контрольные вопросы.

1. Напишите уравнение теплового баланса человека и опишите основные его составляющие.
2. Что является количественной характеристикой тепловой нагрузки на организм человека?
3. Что выбрано в качестве геометрических моделей для решения задачи о радиационном балансе человека?
4. Что такое альbedo кожи человека и чему оно равно?
5. Из чего складываются теплопотери в верхних дыхательных путях?
6. Напишите формулу Бодмана для определения жесткости погоды.
7. Чем отличается уточненная В.И. Осокиным формула для расчета показателя суровости зим от формулы Бодмана?
8. Что такое эквивалентно-эффективная температура?
9. Опишите порядок нахождения эквивалентно-эффективной температуры по номограмме.

ГЛАВА 5. ОБЩАЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТАШКЕНТА

Город Ташкент, как и все города равнинной и предгорной части Средней Азии, характеризуется четко выраженными признаками аридного климата. Здесь в летний период высокие температуры воздуха и низкая влажность сочетаются с условиями безоблачного неба, когда влияние инсоляции проявляется в полной мере. Наряду с непосредственным поступлением солнечной радиации к телу человека происходит значительный нагрев подстилающей поверхности и различных сооружений, которые становятся источниками интенсивного теплового излучения. В этих условиях формируется высокий нагрев городской среды, и создаются значительные тепловые нагрузки на организм человека.

Рассмотрим общую характеристику биоклимата Ташкента, выполненную на основе многолетних данных метеорологической станции Ташкент-обсерватория с применением рассмотренных выше методов теплового баланса человека.

5.1. Суточный ход показателей теплового состояния человека

Анализ теплового состояния человека начнем с рассмотрения суточных изменений составляющих теплового баланса организма в июле - наиболее напряженном в отношении биотермического режима месяце летнего сезона.

В табл. 5.1 приведены основные характеристики теплового состояния человека в различные часы суток, полученные по средним за многолетний период данным для июля.

Значения эквивалентно-эффективных температур (ЭЭТ) получены по основной шкале (для обнаженного человека) при фактических скоростях ветра, измеренных в районе метеостанции на высоте около 2 м ($ЭЭТ_{\phi}$), и при скорости ветра 0,5 м/с ($ЭЭТ_{0,5}$), которая является достаточно характерной для условий городской застройки со значительным озеленением; значения РЭЭТ получены по $ЭЭТ_{\phi}$ с учетом солнечной радиации.

Из данных табл. 5.1 следует, что характер суточного хода и значения отдельных биотермических показателей имеют существенные различия. Суточный ход FR_K характеризуется лишь положительными значениями, изменяясь от нуля в темное время суток до весьма высоких значений в дневные часы.

Таблица 5.1

Характеристика теплового состояния человека
в различные часы суток в июле

Время суток	FR_k , Вт	FR_d , Вт	FR , Вт	FP , Вт	P_n , Вт	LE_n , Вт	M , Вт
1	0	-156	-156	-166	-2	9	93
4	0	-160	-160	-191	-2	10	93
7	135	-170	-55	-204	-2	10	93
10	345	-70	275	-92	-2	9	93
13	355	45	400	-13	-1	9	93
16	345	48	393	22	0	10	93
19	273	-33	240	-5	0	10	93
22	20	-130	-110	-127	-1	9	93

Продолжение таблицы 5.1

Время суток	FLE , Вт	FE , г/ч	G , %	ΔT_{ϕ} , °C	$\Delta T_{0,5}$, °C	$P\Delta T$, °C
1	-240	-356	-	14,5	16,2	14,5
4	-270	-400	-	12,9	15,6	12,9
7	-178	-264	-	13,9	14,5	15,7
10	265	393	28	19,3	21,0	24,1
13	470	697	54	21,9	23,5	27,1
16	498	738	54	22,8	24,3	27,5
19	318	471	36	22,3	23,2	25,1
22	-154	-228	-	18,4	19,8	18,6

Длинноволновый баланс FR_d в ночные, утренние и вечерние часы отрицателен, что характеризует теплопотери организма за счет обмена потоками излучения с окружающей средой; лишь в непродолжительный послеполуденный период FR_d имеет невысокие положительные значения, свидетельствующие о преобладании теплового излучения окружающей среды, направленного к телу человека, над его собственным излучением в окружающее пространство.

Общий радиационный баланс FR отражает основные особенности суточного хода FR_k и FR_d . В дневной период FR определяется главным образом теплопоступлениями за счет потоков FR_k , т. е. за счет потоков прямой солнечной, рассеянной и отраженной радиации, и достигает весьма высоких значений, которые превышают значения

каждого из остальных членов теплового баланса, характеризующих экзогенное поступление тепла (т. е. поступление тепла извне). В темное время суток значения FR отрицательны, так как полностью совпадают с $FR_{\text{д}}$.

В преобладающий период суток температура воздуха в Ташкенте ниже, чем температура поверхности тела ($33\text{ }^{\circ}\text{C}$), поэтому приток тепла к организму путем конвекции FP осуществляется лишь в послеобеденные часы. При этом поступление тепла за счет FP невелико (в 16 ч FP составляет около 6 % FR). В остальные периоды суток значения FP отрицательны и характеризуют режим потери тепла организмом путем конвекции. При этом в ночные и утренние часы конвективные теплопотери более значительны, чем теплоотдача за счет эффективно излучения тела человека.

Суточный ход теплообмена, который происходит в легких при дыхании как за счет теплообмена ($P_{\text{л}}$), так и путем испарения влаги ($LE_{\text{л}}$), характеризуется незначительной изменчивостью при малых потоках, что в особенности относится к $P_{\text{л}}$. Следовательно, для рассматриваемых условий теплообмен, совершающийся в дыхательных путях, играет незначительную роль в общем тепловом балансе человека.

Сумма всех теплопоступлений и теплопотерь организма FLE , характеризующая уровень активности его терморегуляторных функций, в течение суток изменяется от отрицательных значений ночью до высоких положительных значений днем. Отрицательные значения FLE указывают на необходимость пользоваться соответствующей одеждой для обеспечения состояния теплового комфорта. Высокие дневные значения FLE свидетельствуют о повышенном уровне терморегуляции, в особенности в послеобеденные часы. В этих условиях для поддержания теплового равновесия организма (при котором суммарные теплопотери должны быть равны общему теплопоступлению) человеку необходимо испарять около (или более) 700 г пота за час, что соответствует верхнему пределу большой и очень большой тепловой нагрузки на организм.

Значения фактора G , превышающие в послеобеденные часы июля 50 %, свидетельствуют о высокой напряженности терморегуляторной системы организма человека, находящегося на открытом воздухе и не защищенного от инсоляции.

Приведенные в табл. 5.1 данные относятся к стоящему человеку, находящемуся в состоянии физического покоя. Для пешехода, идущего со скоростью 4 км/ч, теплопродукция, а следовательно и FLE , уве-

личивается примерно на 58 Вт, потоотделение возрастает на 86 г/ч. При этом значения фактора G для сроков 10, 13 и 16 ч будут равны соответственно 34, 61 и 61 %.

Обращаясь к данным об эффективных температурах, помещенным в табл. 5.1, следует помнить, что условиям теплового комфорта человека отвечает интервал значений ЭЭТ от 17,2 до 21,7 °С. Для человека, находящегося вне помещения, оценка его теплового состояния с помощью критерия ЭЭТ допустима лишь для условий, когда человек не подвергается влиянию радиации. С некоторым приближением это может относиться к условиям пребывания под плотными кронами деревьев или при использовании иных эффективных средств затенения. В работе Х. Е. Ландсберга [9] по биоклиматологии приводятся данные, согласно которым эффективная температура, равная 30–31 °С, считается критической (при этих значениях температура тела начинает повышаться), а эффективная температура 35 °С является верхним пределом выносливости.

Из табл. 5.1 следует, что в Ташкенте в июле ЭЭТ_ф лишь в сроки 13 и 16 ч несколько превышает верхний предел зоны комфорта; значения ЭЭТ_{0,5} на 1 – 1,5 °С выше, чем ЭЭТ_ф. Солнечная радиация повышает ЭЭТ_ф примерно на 5 °С, что указывает на выраженные условия теплового дискомфорта для человека, подвергающегося в дневные часы инсоляции.

Эффективные температуры, найденные по номограмме ЭЭТ для условий штиля, показывают, что для средних климатических условий в Ташкенте они в течение всего дневного периода в июле не достигают критических значений 30–31 °С. Однако в отдельные жаркие летние дни эти значения могут быть превышены. Что касается условий, когда человек подвергается инсоляции, то указанные критические значения при штиле могут быть достигнуты в послеполуденные часы и при более умеренных (для условий Ташкента) температурах воздуха, близких к средним многолетним; в отдельные более жаркие дни при штиле такие температуры могут превысить верхний предел выносливости.

При оценке летних биотермических условий Ташкента особый интерес представляет ночной период, когда для организма человека необходим отдых после высоких дневных тепловых нагрузок. Это относится как к условиям отдыха в вечерние часы, предшествующие периоду сна, так и к ночному периоду, когда население Ташкента, там, где это возможно по жилищно-бытовым условиям, стремится проводить ночной сон на открытом воздухе.

В табл. 5.2 представлены ночные значения *FLE* для нескольких городов Средней Азии.

Таблица 5.2
Общие теплототери организма в июле ночью

Город	FLE, Вт	Город	FLE, Вт
Ташкент	-260	Репетек	-187
Термез	-186	Яван	-137
Душанбе	-278	Айвалдж	-140
Бишкек	-274	Исанбай	-185
Алматы	-279	Шерабад	-102
Ашгабад	-114		

Из таблицы видно, что в некоторых городах, расположенных на юге Средней Азии, таких, как Ашгабад, Шерабад, Яван, Айвалдж, складываются условия, весьма неблагоприятные для ночного отдыха, что связано с малыми теплототерями организма. В Ташкенте биотермические условия для ночного отдыха, вне помещения вполне благоприятны. Существенно, что в ночной период биоклимат Ташкента по показателю теплототерь лишь незначительно уступает термическим условиям городов Бишкека и Алматы, расположенных значительно севернее Ташкента. Этому способствует приносящий прохладу ночной горный ветер, который летом наблюдается в Ташкенте, начиная с 20–21 ч по среднему солнечному времени.

При анализе данных табл. 5.2 надо иметь в виду, что эти данные относятся к человеку, находящемуся в вертикальном положении. Если же учесть, что во время сна не менее $\frac{1}{3}$ поверхности тела практически не принимает участия в теплообмене с окружающей средой, то станет понятным, что для лежащего человека ночные теплототери окажутся несколько меньшими, чем приведенные в табл. 5.2. Это обстоятельство для Ташкента следует расценивать как положительный факт, приближающий тепловое самочувствие человека к состоянию теплового комфорта, а для указанных выше южных городов – как неблагоприятный, усиливающий тепловой дискомфорт в ночные часы.

Представление о значимости (весе) отдельных характеристик, влияющих на тепловое состояние человека в течение суток, можно получить из данных табл. 5.3.

Таблица 5.3

Соотношения (%) между некоторыми характеристиками теплового состояния человека в различные часы суток в июле

Время	FS/FLE	FR/FLE	FS/PR	FR_n/FR	FR_d/FR	FR_n/FR_n	Met
1	0	65	0	0	100	-	-4,1
4	0	59	0	0	100	-	-4,3
7	210	31	-	-	309	-	-0,3
10	40	104	39	125	-	-	3,5
13	25	85	30	89	11	13	4,6
16	30	79	40	88	12	14	4,3
19	47	75	∞	113	-	-	-0,8
22	0	71	0	-	-118	-	-3,5

Эти данные, прежде всего, свидетельствуют о существенном вкладе, который вносит прямая солнечная радиация и в особенности радиационный баланс человека в интегральную характеристику тепловой нагрузки FLE . Поступление тепла к организму от прямой солнечной радиации (FS) в дневные часы составляет около 1/3 общих теплоступлений, а в утренние и вечерние часы (7 и 19 ч) прямая солнечная радиация (S) является основным видом поступления тепла. Поступление тепла за счет радиационного баланса в течение периода 13 – 36 ч составляет около 80 % FLE_t , а в 10 ч – более 100 %. В ночные часы (от 1 до 4 ч) отрицательные значения FR составляют более половины (около 60 %) общего дефицита тепла организма, выражаемого величиной FLE .

Рассматриваемая таблица также дает представление о более значительных вкладах в общий радиационный баланс организма потоков коротковолновой радиации FR_k по отношению к потокам длинноволновой радиации FR_n в дневные часы.

Основной обмен $M_0 \approx 87$ Вт, который представляет собой количество тепла, выделяемого в организме при полном покое, может служить определенной мерой для оценок теплоступлений к организму или теплотеря, связанных с влиянием внешних факторов, с точки зрения предъявляемых требований к деятельности терморегуляторной системы. Поэтому в биометеорологии рассматриваются отношения биометрических показателей к M_0 . Это отношение обозначают символом Met .

В табл. 5.3 значения Met приведены в виде отношения $(FLE - M)/M_0$, в котором числитель характеризует поступление (потерю) тепла к организму лишь за счет экзогенных (внешних) факторов. Таким образом, рассматриваемый здесь показатель Met представляет собой нормированное по M_0 значение экзогенного тепла. Если человек находится в состоянии покоя, то значения Met , близкие к нулю, соответствуют благоприятным биотермическим условиям; значительные положительные или отрицательные Met указывают на повышенные требования, предъявляемые условиями окружающей среды к терморегулярным механизмам организма – соответственно в условиях повышенных теплопоступлений и теплопотерь. Таким образом, в Ташкенте в июле в послеполуденный период тепловое воздействие метеорологических факторов превышает четырехкратное значение теплопродукции организма при покое: утренний и вечерний периоды наиболее благоприятны для пребывания человека вне помещения.

5.2. Распределение тепловых нагрузок в различные периоды дня

Суточный ход показателя FLE для центральных месяцев каждого сезона, рассчитанный на основе средних многолетних данных, приведен на рис. 5.1. С помощью нанесенной шкалы теплового состояния человека можно оценить биотермические условия в различные периоды суток.

Из рисунка видно, что в январе даже в середине дня отмечается большая потеря тепла, когда человеку необходима зимняя одежда. Начиная с 17 ч и вплоть до 11 ч утра потери тепла очень большие, и требуют зимней утепленной одежды.

В апреле и октябре в послеполуденное время с 12 и до 16 ч для человека создаются комфортные условия, а с 10 до 12 и с 16 до 18 ч отмечается слабая потеря тепла, заставляющая человека прибегать к помощи костюма. В ночное время в эти месяцы потери тепла становятся большими.

В июле в дневное время в Ташкенте на человека оказывают влияние большие и очень большие тепловые нагрузки.

Более подробные сведения о периодах дня, которым соответствуют различные градации тепловых нагрузок, представлены в табл. 5.4. В этой таблице для сравнения приведены соответствующие данные, полученные для Термеза и Алма-Аты – наиболее жаркого и относительно прохладного городов Среднеазиатского региона.

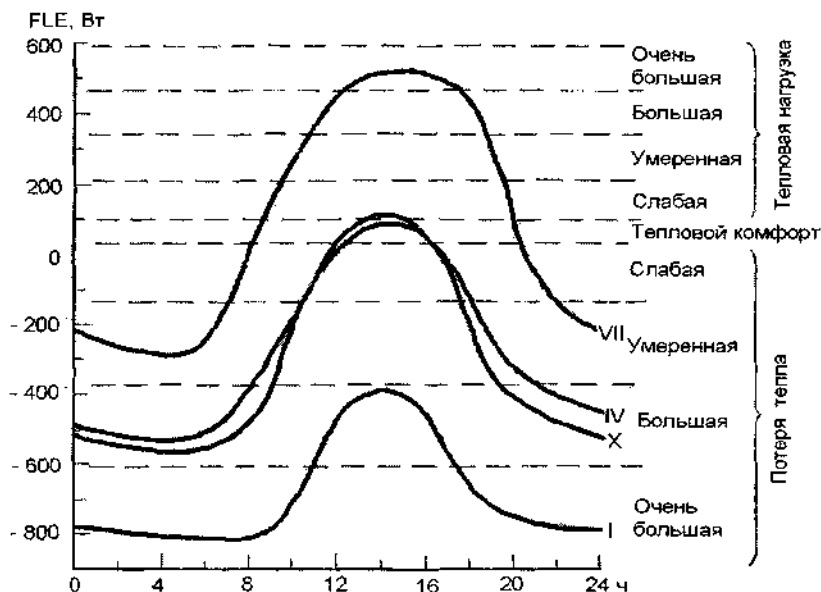


Рис. 5.1. Суточный ход показателя теплового состояния человека *FLE* в Ташкенте [2].

Помимо продолжительности периодов, относящихся к отдельным градациям, также выделена продолжительность периода тяжелых для человека термических условий, объединяемых большой, очень большой и чрезмерной (Б+ОБ+Ч) тепловыми нагрузками.

Как следует из табл. 5.4, в Ташкенте в июле благоприятные термические условия (тепловой комфорт и слабая тепловая нагрузка) наблюдаются лишь в сравнительно короткие промежутки утреннего и вечернего периодов. Большая и очень большая тепловые нагрузки распространяются на преобладающий период дневного времени с 10 ч 38 мин до 18 ч 47 мин.

Сопоставление биотермических условий Ташкента, Термеза и Алматы показывает, что Ташкент занимает промежуточное положение между ними. В Термезе с 11 ч 47 мин до 17 ч 15 мин имеют место чрезмерные тепловые нагрузки, в то время как в Ташкенте по средним данным чрезмерные нагрузки не отмечаются. В Алматы не отмечается также и очень большая тепловая нагрузка.

Таблица 5.4

Время начала и конца периодов дня (ч. мин) в течение которых отмечаются тепловые нагрузки различных градаций по средним многолетним данным за июль [2]

Город	Тепловой комфорт	Тепловая нагрузка	
		слабая	умеренная
Ташкент	8.11 – 8.35	8.35 – 9.26	9.26 – 10.38
	20.08 – 20.23	19.38 – 20.08	18.47 – 19.38
Термез	7.24 – 7.48	7.48 – 8.22	8.22 – 9.12
	19.30 – 19.54	19.05 – 19.30	18.30 – 19.05
Алматы	8.40 – 9.20	9.20 – 10.25	10.25 – 12.34
	18.46 – 19.20	17.46 – 18.46	16.18 – 17.46

Продолжение таблицы 5.4

Город	Тепловая нагрузка			
	большая	очень большая	чрезмерная	Б + ОБ + Ч
Ташкент	10.38 – 12.21	12.21 – 17.21	–	10.38 – 18.47
	17.21 – 18.47	–	–	
Термез	9.12 – 10.21	10.21 – 11.47	11.47 – 17.15	9.12 – 18.30
	17.53 – 18.30	17.15 – 17.53	–	
Алматы	12.34 – 16.18	–	–	12.34 – 16.18
	–	–	–	

Данные табл. 5.4 могут оказаться полезными для планирования работ под открытым небом с учетом благоприятных и неблагоприятных биотермических условий в различные периоды дня.

Важной характеристикой биоклимата летнего дня служить продолжительность периодов с той или иной тепловой нагрузкой (табл. 5.5). Из табл. 5.5 следует, что в Ташкенте в июле продолжительность благоприятных термических условий (тепловой комфорт + слабая нагрузка) невелика и составляет около 14 % дневного периода; примерно столько же времени занимает период с умеренными нагрузками.

Наиболее значительный период дневного времени (58 %) характеризуется высокими тепловыми нагрузками – большой и очень большой. Эти данные свидетельствуют о тяжелых биотермических условиях пребывания людей, не защищенных от солнечных лучей, в летний период вне помещения.

Таблица 5.5

Продолжительность различных уровней тепловых нагрузок в течение дня по средним многолетним данным за июль [2]

Город	Тепловой комфорт		Тепловая нагрузка					
			слабая		умеренная		большая	
	ч	%	ч	%	ч	%	ч	%
Ташкент	0,7	5,0	1,3	9,3	2,1	15,0	3,2	22,9
Термез	0,8	5,7	1,0	7,1	1,4	10,0	1,8	12,8
Алматы	1,4	10,0	2,1	15,0	3,6	25,7	3,8	26,4

Продолжение таблицы 5.5

Город	Тепловая нагрузка						Условия охлаждения	
	очень большая		чрезмерная		Б + ОБ + Ч			
	ч	%	ч	%	ч	%	ч	%
Ташкент	5,0	35,7	0,0	0,0	8,2	58,6	1,7	12,1
Термез	2,1	15,0	5,5	39,3	9,4	67,1	1,4	10,0
Алматы	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	26,4	3,2	22,9

Это учитывается при проведении лечебных и оздоровительных мероприятиях при приеме солнечных и воздушных ванн. При этом необходимо учитывать, что тепловое состояние человека, находящегося в вертикальном и горизонтальном положениях, имеют значительные различия. Человек в горизонтальном положении получает большие тепловые нагрузки, чем стоящий. Поэтому для условий Ташкента при приеме солнечных ванн в июле и августе тепловые нагрузки в течение более трех часов оказываются чрезмерными.

Летом благоприятный в биотермическом отношении период приема солнечных ванн падает на утренние часы, с 8 ч 30 мин до 9 ч 30 мин. После 10-11 ч и до 18 ч прием солнечных ванн должен быть ограничен или же полностью исключен в связи с высокими (от большой до чрезмерной) тепловыми нагрузками на организм.

Прием воздушных ванн, когда тело человека защищено от попадания прямых солнечных лучей, осуществляется летом в течение длительного интервала времени с 10 до 19 ч. В утреннее время до 10 ч прием воздушных ванн может быть связан с относительно небольшими потерями тепла организмом.

5.3. Суммы влагопотерь испарением пота за 1-ю и 2-ю рабочие смены

Для правильной организации труда и отдыха при проведении работ на открытом воздухе в условиях повышенных тепловых нагрузок, для установления рационального питьевого режима необходимо иметь сведения о суммах влагопотерь испарением за период рабочего дня.

Данные о суммарных влагопотерях испарением в 1-ю и 2-ю рабочие смены (8 – 16 и 16 – 24 ч) при выполнении работ средней тяжести под открытым небом в июле при минимальной защите тела одеждой представлены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Влагопотери испарением пота (в г) за период работы
в 1-ю и во 2-ю рабочие смены в июле

Город	1-я смена				2-я смена			
	Период работы, ч				Период работы, ч			
	8-12	12-13	13-16	8-16	16-20	20-21	21-24	16-24
Ташкент	2340	160	2810	5310	3150	140	0	3290
Термез	3315	200	3850	7365	3350	140	40	3530
Алматы	1655	0	2075	3730	1510	0	0	1510

При расчетах учитывалось, что обеденный перерыв с 12 до 13 ч человек проводит в затененном месте. В Ташкенте за 1-ю смену человек теряет испарением пота 5,3 л воды, причем вторая половина рабочего дня (13 – 16 ч) оказывается в биотермическом отношении более тяжелой, чем первая. Учитывая иные пути потери воды, человек в этих условиях должен потребить не менее 6 л воды за день.

Во 2-ю рабочую смену влагопотери испарением оказываются значительно более низкими, чем при работе в 1-ю смену, и составляют около 3,3 л за 8 ч. Наибольшая потеря воды испарением (55 %) происходит в относительно короткий предвечерний период с 16 до 18 ч. В последующие часы работа протекает в условиях быстро убывающих тепловых нагрузок, а после 20 ч – оптимального теплового режима.

В Термезе влагопотери испарением за первую рабочую смену значительно выше, чем в Ташкенте, и составляют около 7,4 л. Город Алматы характеризуется более благоприятными условиями работы на открытом воздухе. Так как данные табл. 5.6 относятся к средним климатическим условиям, то в отдельные более жаркие дни влагопотери

могут заметно превышать приведенные значения. Следует отметить, что одежда, защищая тело от потоков радиации, уменьшает потери воды испарением пота примерно на 2 л за период работы с 8 до 16 ч. Рассмотренные данные подтверждают целесообразность проведения некоторых видов работ во вторую смену в жаркий период года.

Эти данные предназначены для работников службы охраны труда в целях правильного обеспечения работающих на открытом воздухе необходимым количеством питьевой воды для восполнения потерь влаги при испарении пота.

5.4. Годовой ход показателей теплового состояния человека

Изменения показателей теплового состояния человека в течение года, относящиеся к сроку 14 ч 30 мин, можно проследить по данным табл. 5.7.

Таблица 5.7

Средние месячные значения характеристик теплового состояния человека, находящегося в состоянии покоя днем

Месяц	FR_k , Вт	FR_b , Вт	FR_r , Вт	FP , Вт	P_{Σ} , Вт	$IE_{\text{л}}$, Вт	M , Вт	FLE , Вт	FE , г/ч	G , %
I	254	-238	16	-474	-7	12	93	-384	-	-
II	286	-219	67	-431	-7	12	93	-290	-	-
III	270	-162	108	-330	-6	12	93	-146	-	-
IV	309	-78	231	-216	-3	10	93	94	140	10
V	360	1	362	-120	-2	10	93	322	478	38
VI	349	35	384	-35	-1	10	93	430	638	48
VII	354	56	409	3	0	10	93	495	734	55
VIII	364	37	401	-17	-1	10	93	465	690	52
IX	384	-14	370	-99	-2	10	93	351	521	39
X	348	-100	248	-220	-3	12	93	106	157	13
XI	192	-178	130	-335	-6	12	93	-129	-	-
XII	214	-215	-1	-429	-7	12	93	-356	-	-

Наиболее высокие тепловые нагрузки в Ташкенте наблюдаются в июле; в июне и в августе биотермические условия сравнительно мало отличаются от условий июля. Наиболее значительная теплопотеря организма отмечается в январе. Переход от отрицательных значений по-

казателя тепловой нагрузки FLE к положительным совершается в первой половине апреля, а от положительных к отрицательным – в конце октября – начале ноября. Апрель и октябрь – наиболее благоприятные месяцы, характеризующиеся дневными условиями, близкими к тепло-вому комфорту.

Наиболее быстрые изменения показателя тепловой нагрузки FLE происходят от апреля к маю, когда FLE возрастает на 228 Вт, и от сентября к октябрю, когда FLE убывает на 245 Вт. Именно эти периоды характеризуются наиболее существенными изменениями режимов терморегуляции человека: переходом к режиму обильного потоотделения и потребления воды в апреле-мае и переходом от высоких уровней потоотделения и потребления воды к умеренным в сентябре-октябре. Вместе с этим происходят и соответствующие перестройки адаптационно-приспособительных функций организма к нарастанию и убыванию тепловых нагрузок в весенний и осенний периоды года.

Экстремальные значения показателей теплового состояния человека приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Максимальные значения характеристик теплового состояния человека, находящегося в состоянии покоя, в различные месяцы

Месяц	Год	FR_s , Вт	FR_d , Вт	FR , Вт	FP , Вт	P_s , Вт	$LE_{0,2}$, Вт
I	1963	271	-199	72	-177	-2	12
II	1963	269	-84	185	-116	-1	12
III	1944	307	0	307	-58	-1	12
IV	1917	326	80	406	36	0	10
V	1925	345	171	516	99	1	9
VI	1914	331	106	437	144	1	10
VII	1944	347	164	533	166	1	10
VIII	1944	357	131	469	158	1	9
IX	1922	383	109	492	107	1	10
X	1941	327	26	352	71	0	10
XI	1942	245	-148	98	-127	-1	12
XII	1937	200	-194	6	-167	-2	12

Продолжение таблицы 5.8

Месяц	Год	M, Вт	FLE, Вт	FE, Вт	G, %	t°C,
I	1963	93	-26	-	-	21.7
II	1963	93	149	221	14	25.6
III	1944	93	329	488	33	29.3
IV	1917	93	524	778	46	35.3
V	1925	93	700	1038	91	39.3
VI	1914	93	665	986	73	42.2
VII	1944	93	783	1160	88	43.6
VIII	1944	93	712	1055	82	43.1
IX	1922	93	683	1012	76	39.8
X	1941	93	506	750	52	37.5
XI	1942	93	51	76	5	24.9
XII	1937	93	-83	-	-	22.3

При получении этих данных использовались абсолютные максимумы температуры воздуха и соответствующие им значения остальных метеорологических величин.

Экстремальные значения существенно превышают средние значения рассматриваемых параметров. Радиационный баланс поверхности тела человека в течение всего года имеет положительные значения. Величина конвективного теплообмена FP имеет даже при максимальной температуре воздуха отрицательные значения с ноября по март.

Различия между максимальными и средними значениями тепловых нагрузок составляют в течение года 175-400 Вт. При этом отрицательные значения FLE отмечаются только в декабре и январе.

Если же рассматривать отношение $FLE_{\max}/FLE_{\text{ср}}$, то окажется, что весной и осенью в отдельные дни максимальные тепловые нагрузки могут превышать средние в 4-5 раз. Летом же это отношение составляет 1,5-2,7. В соответствии с этим в течение периода с мая по сентябрь могут отмечаться дни с чрезмерными тепловыми нагрузками.

Контрольные вопросы.

1. Объясните суточный ход радиационного баланса тела и смысл перехода от отрицательных значений к положительным.

2. Почему по климатическим данным в июле только в один срок отмечается положительное значение конвективного теплообмена FP ?
3. В какое время года создаются наиболее благоприятные тепловые условия для человека в Ташкенте? Пояснить это, пользуясь графиком суточного хода показателя теплового состояния человека FLE в Ташкенте.
4. Какое количество питьевой воды необходимо работающим на открытом воздухе в 1-ю и 2-ю смены в Ташкенте и Термезе для восстановления потерь влаги за счет испарения пота?

ГЛАВА 6. ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

6.1. Особенности определения тепловых нагрузок на организм человека в условиях городской застройки

Выше говорилось о тепловом состоянии человека, находящегося на открытой плоской поверхности. Находясь в условиях города, человек оказывается под влиянием дополнительного теплового излучения окружающих предметов и отраженного солнечного света.

В четвертой главе уже говорилось о радиационном балансе человеческого организма как о разности между поглощенной телом человека радиации (коротковолновой и длинноволновой) и собственным излучением поверхности тела. При этом поверхность тела постоянно отдает тепло в окружающее пространство путем излучения, которое можно считать практически постоянным. То есть радиационный баланс человека характеризует то количество тепла, которое получает (или теряет) организм за счет лучистого теплообмена с внешней средой.

Потребность в расчете и оценке тепловых нагрузок на человеческий организм велики, так как воздействие элементов городской среды в ряде случаев создает напряженную биотермическую обстановку, усиливая нагрев или охлаждение организма. Имея данные о локальном биоклимате города, и зная механизм его формирования, можно более обоснованно принимать соответствующие градостроительные решения с целью смягчения или устранения неблагоприятного влияния внешней среды.

В условиях города, наряду с радиационными потоками, свойственными открытой местности, к организму человека поступают потоки рассеянной радиации от различных элементов городской среды в виде коротковолновой отраженной радиации и теплового излучения. Интенсивность потоков варьирует в широких пределах не только в зависимости от общих метеорологических условий (облачности, прозрачности атмосферы и пр.), но и от радиационных свойств и температурных характеристик городских объектов, а также от условий освещенности и затенения вертикальных поверхностей различной ориентации, горизонтальных поверхностей и зеленых насаждений.

Необходимо учитывать, что максимальные потоки коротковолновой и длинноволновой радиации поступают на организм человека не одновременно. Потоки отраженной коротковолновой радиации по-

падают на поверхность тела в соответствии с ее интенсивностью в данный момент времени. Например, если стена в какой-то момент оказалась в тени, то отраженная от нее прямая солнечная радиация в этот момент станет равной нулю. В противоположность этому тепловое излучение, испускаемое городскими объектами, например, стенами зданий, асфальтированными поверхностями и т.п., обладает определенной временной инерционностью. Вследствие значительной тепловой инерции их интенсивность теплового излучения, являясь функцией температуры, изменяется в течение долгого времени после того, как поверхность перестала облучаться Солнцем. Примером этому может служить хорошо ощущаемая теплота от излучения стен особенно западной ориентации спустя значительное время после захода Солнца.

Влияние города на поступление к человеку прямой солнечной радиации проявляется в том, что строения и другие объекты городской среды, имеющие вертикальную протяженность, отбрасывают тень на вертикальные и горизонтальные поверхности, и человек, в зависимости от его местоположения, оказывается либо освещенным лучами Солнца, либо в тени. Относительные площади освещенных и затененных поверхностей в течение дня существенно изменяются. Это связано с изменением высоты Солнца над горизонтом и азимута Солнца. Естественно, что в полуденные часы площадь, освещенная Солнцем, будет наибольшей, а в утренние и вечерние часы вскоре после восхода или перед заходом – наименьшей.

Кроме того, большое значение имеют особенности структуры городской застройки – высота зданий, ширина улиц, их ориентация, плотность застройки, зеленые насаждения и тому подобное.

В условиях города изменения в пространстве рассеянной коротковолновой и длинноволновой радиации значительно больше изменения прямой солнечной радиации в освещенных Солнцем зонах. Интенсивность потоков этих видов радиации, падающих на человека от городских объектов, является функцией геометрической формы объекта, его размеров, освещенности и расстояния между человеком и объектом. Поэтому тепловое самочувствие жителя города, находящегося вне помещения, существенно зависит от особенностей его местоположения относительно различных объектов городской среды, представляющих собой локальные источники радиации.

Поэтому одной из важных задач градостроительной биометеорологии является изучение пространственного и временного распределения показателей теплового состояния человека, подвергающегося

радиационно-тепловому воздействию отдельных элементов городской среды – стен зданий, дорог, зеленых насаждений, водных объектов и их сочетаний.

Недостаточный учет воздействия метеорологических факторов на формирование биометеорологических условий застройки в процессе градостроительного проектирования и строительства может привести к созданию дискомфортных условий для человека.

Уравнение теплового баланса человека для условий городской застройки несколько отличается от подобного уравнения, представленного для открытой местности (4.1) и принимает вид:

$$FLE_z = FR_z + FP_z + P_{\lambda z} - LE_{\lambda z} + M, \quad (6.1)$$

где значок z показывает, что эти параметры относятся к условиям застройки.

В данном уравнении необходимо учитывать, что величина теплопродукции в большей степени зависит от уровня физической активности, а не тех различий, которые отмечаются между открытым пространством и городской застройкой. Поэтому ее можно считать постоянной.

Теплообмен в легких (P_z) и теплотери на испарение влаги в верхних дыхательных путях ($LE_{\lambda z}$) составляют летом в дневные часы малые доли от показателя тепловой нагрузки на организм FLE_z , всего 0,2 и 3 %, соответственно. Они мало изменяются с изменением метеорологических условий в городе и за его пределами.

Изменение величины конвективного теплообмена (P) определяется изменениями температуры воздуха и скорости ветра под влиянием застройки. Эти изменения зависят от многих факторов – структуры и геометрических параметров застройки, озеленения, положения зданий относительно ведущего потока воздуха и пр. Если пренебречь в первом рассмотрении пространственной изменчивостью в пределах города температуры воздуха и скорости ветра, которые определяют изменения конвективного теплообмена, то величина разности показателя тепловых нагрузок ($\Delta FLE = FLE_z - FLE_0$) может быть представлена в виде изменения радиационного баланса под влиянием городской застройки:

$$\Delta FLE = \Delta FR = \Delta FR_x + \Delta FR_0 = (FR_x - FR_{x0}) + (FR_0 - F_{00}). \quad (6.2)$$

Таким образом, величина $\Delta FR = \Delta FR_x + \Delta FR_o$ достаточно полно отражает изменение тепловой нагрузки на организм, связанное с влиянием элементов городской среды. Значения разностей ΔFR_x , ΔFR_o и ΔFR характеризуют те изменения, которые вносят городской объект в радиационный баланс человека, а следовательно, в его тепловую нагрузку.

В качестве объективной оценки радиационно-теплого влияния элементов городской среды на человека служит пороговое расстояние, под которым понимается такое удаление от элемента городской среды, при котором человек перестает ощущать поступающее от объекта радиационное тепло.

Это пороговое расстояние определяется расчетным путем по значению порогового ощущения, которое для поглощенной телом прямой солнечной радиации принимается равной 35 Вт/м^2 , а для полусферических рассеянных потоков – 21 Вт/м^2 . Для источников радиационных потоков ограниченных угловых размеров, к которым относятся и элементы городской застройки, величина порогового ощущения составляет 28 Вт/м^2 , что соответствует величине FLE равной 42 Вт .

Регулирование порогового расстояния в некоторых пределах в целях уменьшения его в условиях жаркого климата и увеличения в условиях холодного климата, может быть достигнуто путем либо с помощью озеленения, либо путем окраски внешних поверхностей зданий в светлые или темные тона.

В связи с тем, что радиационное влияние элементов городской среды на человека определяется потоками коротковолнового и длинноволнового излучения и геометрическими параметрами застройки, положением человека относительно этих элементов застройки, а также учитывая, что представление информации о тепловом влиянии большого числа элементов городской среды является очень сложной задачей, обычно рассматриваются методы оценки только основных элементов, а именно:

- односторонней застройки;
- односторонней застройки с озеленением;
- двухсторонней застройки.

Сотрудниками Среднеазиатского гидрометеорологического института Б.А. Айзенштамом и Л.П. Лукиной [2] разработан метод определения радиационных потоков для конкретных элементов городской среды.

6.2. Человек в районе односторонней застройки без озеленения.

Рассмотрим одностороннюю застройку в виде ряда равновысоких домов сплошной (без разрывов) бесконечной длины. Стены домов обращены к равнине. Альbedo и температура стен по всей длине застройки одинаковы. Аналогами данной задачи может служить бесконечно длинная стена или ряд деревьев со сплошными непроецирующими кронами. Высота застройки равна H , удаление человека от стены равно X , эффективная высота над поверхностью Земли человека составляет h , которая при расчетах принимается равной 1,5 м. Схема расположения человека в условиях односторонней застройки представлена на рис. 6.1.

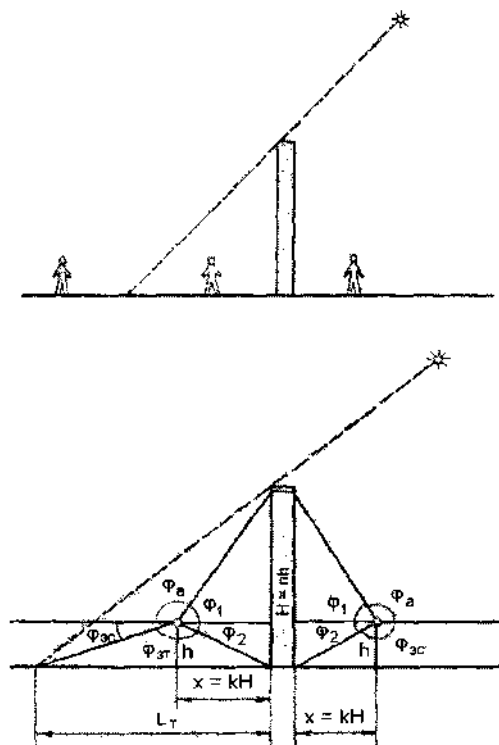


Рис. 6.1. Человек в условиях односторонней застройки

Рассмотрим ситуацию, когда стены застройки освещены Солнцем. Для этой задачи радиационные потоки от стены записываются в виде:

$$FR_k = F(1 - A_k) [S/4 + D(1/2 - \varphi_1) + r_c(\varphi_1 + \varphi_2) + r_s(1/2 - \varphi_2)], \quad (6.3)$$

$$FR_D = F\beta [t_a(1/2 - \varphi_1) + t_c(\varphi_1 + \varphi_2) + t_s(1/2 - \varphi_2) - t_k], \quad (6.4)$$

где FR_k и FR_D – коротковолновая и длинноволновая составляющие радиационного баланса человека, F – площадь поверхности тела человека, A_k – альbedo кожи человека, S – прямая солнечная радиация, D – рассеянная солнечная радиация, r_c и r_s – радиация, отраженная от поверхности стены и от поверхности Земли, β – коэффициент обмена потоками длинноволновой радиации между поверхностью тела человека и окружающей средой, t_a – радиационная температура атмосферы, t_c – температура поверхности стены, t_s – температура поверхности Земли, t_k – температура поверхности кожи человека, φ_1 и φ_2 – угловые коэффициенты, относящиеся к участкам элементов среды, лежащим выше и ниже точки, характеризующей эффективную высоту человека.

Значения φ_1 и φ_2 определяются по следующим формулам:

$$\varphi_1 = 1/2\pi \cdot \arctg [(H - h) / X], \quad (6.5)$$

$$\varphi_2 = 1/2\pi \cdot \arctg (h / X), \quad (6.6)$$

где H – высота застройки, h – эффективная высота человека над Землей, X – расстояние между человеком и стеной.

Из представленных формул следует, что с удалением человека от стены, то есть с увеличением X , значения φ_1 и φ_2 убывают и при $X = \infty$ $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, а FR_k и FR_D – коротковолновая и длинноволновая составляющие радиационного баланса человека в условиях застройки становятся равными таковым в условиях открытой местности.

В табл. 6.1 представлены значения изменения радиационного баланса ΔFR для различных расстояний X от односторонней застройки различной высоты H юго-западной ориентации в Ташкенте в 15 ч. Радиационно-тепловые характеристики представлены в виде отклонений от данных, относящихся к открытому пространству.

Для наглядности эти изменения радиационного потока тепла представлены в виде графика (рис. 6.2).

Таблица 6.1.

Значения ΔFR для различных расстояний X от односторонней застройки различной высоты H юго-западной ориентации в Ташкенте в 15 ч

X , м	ΔFR , Вт				
	Высота, H м				
	5	10	15	30	60
0	118	118	118	118	118
0,5	107	113	115	116	117
1	97	108	112	115	116
2	79	101	106	112	115
5	46	78	91	104	111
10	25	52	70	92	105
15	18	38	55	81	98
30	9	20	31	61	82
50	5	13	20	39	65
70	4	9	14	30	52
100	3	6	10	21	40
1000	0	0	2	2	4

Открытый участок $FR_0 = 442$ Вт

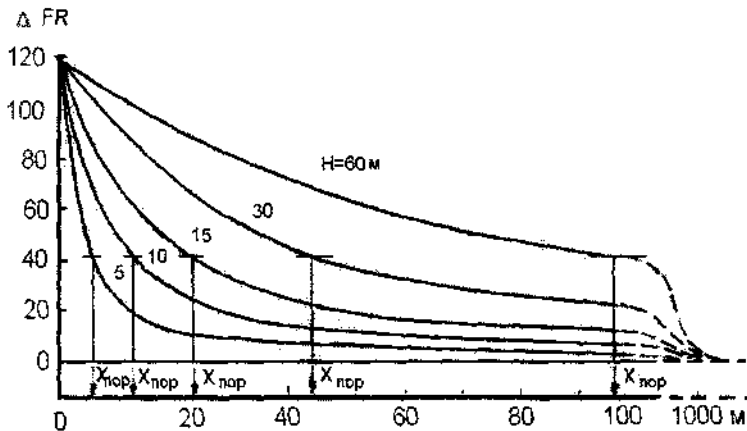


Рис. 6.2. Изменения радиационного баланса ΔFR для различных расстояний X от односторонней застройки различной высоты H юго-западной ориентации. Ташкент, июль, 15 ч.

Из этого рисунка следует, что влияние застройки проявляется на более значительных расстояниях для зданий с большой высотой. На расстоянии 1 м от застройки поступление радиационного тепла к телу человека на 22-26 % больше, чем в условиях открытого пространства. При удалении от застройки ее влияние уменьшается, особенно для низкой (одноэтажной) застройки. На расстоянии 15 м отклонение от условий открытой местности не превышает 4 %. Относительный вклад в тепловую нагрузку, вносимый высокой застройкой (высота зданий 30 и 60 м), расположенной на расстоянии $X = 100$ м, составляет около 5 и 9 %, соответственно.

На рис. 6.2 представлены также значения порогового расстояния, далее которого тепло, излучаемое строением, не ощущается. Для нашего случая при низких высотах застройки (5-10 м) пороговое расстояние также составляет всего 5-10 м. С увеличением высоты застройки увеличивается и пороговое расстояние. При высоте застройки 60 м ее тепловое влияние ощущается почти на 100 м от строения.

6.3. Человек в районе линейной посадки деревьев.

Используя выражения для определения радиационно-тепловых потоков к человеку для условий односторонней застройки, можно оценить влияние линейной посадки деревьев на человека.

В этом случае ряд деревьев рассматривается как сплошное без прощелок равновысокое озеленение. Температура крон принимается на 2,5 °C выше температуры воздуха. Альbedo крон принимается равным 0,2.

На рис. 6.3 представлены данные, характеризующие распределение отклонения радиационного баланса от условий свободного пространства ΔFR в зоне линейной посадки деревьев высотой L , равной 5 и 15 м, ориентированной на юго-восток, юг, юго-запад и запад.

Деревья освещенной стороной обращены к человеку. Величины ΔFR соответствуют времени максимального поступления прямой солнечной радиации к кронам: юго-восточная ориентация – 9 ч, южная – 12 ч, юго-западная – 15 ч, западная – 16 ч. Приведенные данные показывают, что охлаждающее влияние линейного озеленения для южной, юго-восточной и юго-западной ориентаций наиболее существенно проявляется вблизи растений – на расстоянии 2-5 м.

С последующим удалением от зеленой полосы ее охлаждающее влияние либо ослабевает (для южной ориентации при высоте деревьев 5 м), либо имеет слабый эффект притока тепла.

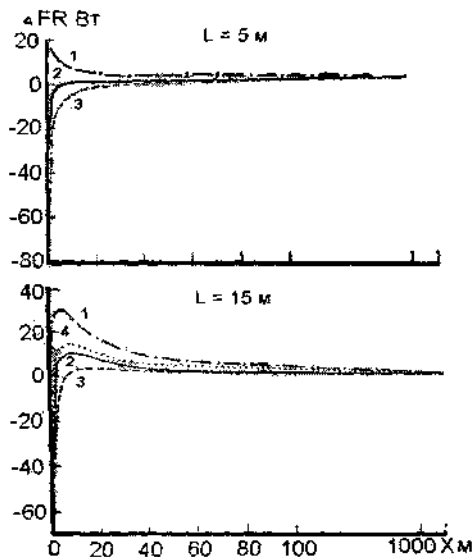


Рис. 6.3. Распределение изменения тепловой нагрузки на организм ΔFR на различных расстояниях X от освещенного Солнцем ряда деревьев высотой L . Ташкент, июль.

Ориентация: 1 – западная; 2 – юго-восточная; 3 – южная; 4 – юго-западная.

Для условий западной ориентации полоса деревьев не создаст эффекта охлаждения даже на близких расстояниях, что объясняется экранированием «холодного» неба более «теплой» кроной деревьев, освещенных лучами Солнца. В целом мелиоративный эффект полосы деревьев в условиях солнечного освещения той стороны, которая обращена к человеку, невелик. Однако по абсолютному значению величина избытка радиационной нагрузки (ΔFR) в зоне озеленения в несколько раз меньше, чем в зоне односторонней застройки.

6.4. Человек в районе односторонней застройки с озеленением вдоль тротуара.

Рассмотрим случай односторонней застройки, когда между тротуаром и застройкой находится ряд деревьев одинаковой высоты с

сомкнутыми по всей высоте плотными кронами, не дающими просветов (рис. 6.4).

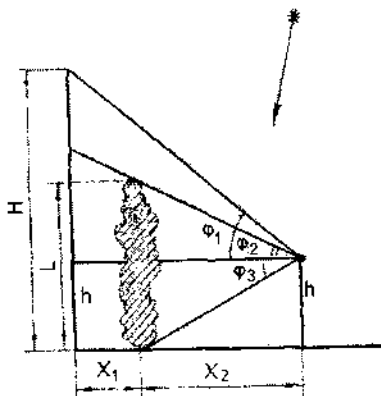


Рис. 6.4. Человек в условиях односторонней застройки со сплошным линейным озеленением.

Примем, что лучи Солнца падают в сторону застройки. Для этой задачи величины радиационных балансов записываются в следующем виде:

$$FR_x = F(1 - A_k) \{ S/4 + D(1/2 - \varphi_1) + r_c(\varphi_1 - \varphi_2) + r_d(\varphi_1 + \varphi_2) + r_s(1/2 - \varphi_2) \}, \quad (6.7)$$

$$FR_d = F\beta [t_s(1/2 - \varphi_1) + t_c(\varphi_1 - \varphi_2) + t_d(\varphi_1 + \varphi_2) + t_s(1/2 - \varphi_2) - t_k], \quad (6.8)$$

где r_d и t_d - радиация, отраженная от крон деревьев, и температура крон деревьев, соответственно.

Значения угловых коэффициентов в этом случае будут следующие:

$$\varphi_1 = 1/2\pi \cdot \text{arctg} [(H - h) / (X_1 + X_2)], \quad (6.9)$$

$$\varphi_2 = 1/2\pi \cdot \text{arctg} (l - h) / X_2, \quad (6.10)$$

$$\varphi_3 = 1/2\pi \cdot \text{arctg} (h / X_2), \quad (6.11)$$

где L - высота деревьев, X_1 - расстояние от деревьев до застройки, X_2 - расстояние от человека до деревьев.

В зависимости от значений H, h, L, X_2 верхняя часть стен застройки может быть либо видна из точки приложения эффективной высоты человека (при $\varphi_1 > \varphi_2$), либо не видна (при $\varphi_1 \leq \varphi_2$). В последнем случае в формулах принимается $r_c = 0$ и $t_c = 0$.

Критическое расстояние от ряда деревьев до человека $X_{2кр}$, при котором ряд деревьев начинает экранировать все здание. Выражается соотношением

$$X_{2кр} = [(L - h) \cdot X_1] / (H - L). \quad (6.12)$$

Это условие необходимо учитывать при решении данной задачи при различных значениях H, h, L, X_2 . На рис. 6.5 приведены данные, характеризующие радиационно-тепловое влияние односторонней застройки с озеленением вдоль тротуара на человека.

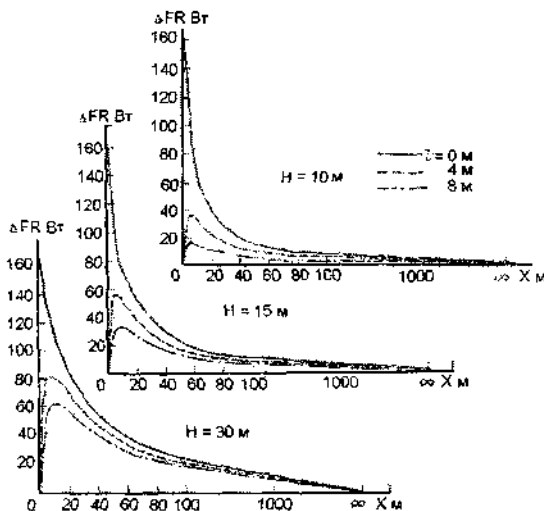


Рис. 6.5. Распределение изменения тепловой нагрузки на организм ΔFR в условиях односторонней застройки с рядом деревьев. Ориентация застройки и озеленения – западная. Ташкент, июль, 16 ч 30 мин.

Расстояние между застройкой и рядом деревьев равно 3 м, температура крон деревьев 36°C , альbedo крон 0,2, высота деревьев 4 и 8 м. Высота деревьев 0 м соответствует случаю односторонней за-

стройки без озеленения. Из рисунка видно, что озеленение существенно ослабляет радиационно-тепловое воздействие застройки. Это ослабление более значительно проявляется в условиях относительно невысокой застройки и при большой высоте деревьев, так как в этих случаях озеленение в большей мере экранирует от человека стены застройки. Следует отметить, что при удалении человека от ряда деревьев ΔFR сначала увеличивается, а затем убывает. Это связано с тем, что вблизи деревьев озеленение полностью экранирует застройку. При удалении от ряда деревьев поток радиационного тепла к человеку увеличивается за счет теплового излучения и коротковолновой радиации от более нагретой и более светлой верхней части застройки, не экранированной деревьями. При дальнейшем удалении человека от застройки с озеленением их влияние уменьшается.

6.5. Человек в условиях двухсторонней застройки.

Двухсторонняя застройка рассматривается в виде прямолинейной улицы с равновысокими на каждой стороне домами, расположенными без разрывов (сплошная застройка).

Высота зданий на противоположных сторонах улицы может быть разной. Озеленение отсутствует. При двухсторонней застройке практически всегда стены зданий одной стороны освещены Солнцем (при Солнце, не закрытом облаками), стены противоположной стороны и часть дороги (часть горизонтальной поверхности, прилегающей к домам этой стороны) находятся в тени. Исключение может составить случай, когда Солнце светит точно вдоль улицы; при этом непродолжительное время вся дорога освещена Солнцем, а на стены радиация практически не поступает.

Аналогичная задача – человек находится на аллее в виде двух параллельных сплошных рядов деревьев с плотными неспросвечивающими кронами.

Нахождение человека в условиях двухсторонней застройки представлено на рис. 6.6.

Здесь может быть два случая: 1) человек находится на освещенной части улицы и 2) человек находится в тени от зданий. Штриховыми линиями на рисунках выделены зоны затенения.

Для случая нахождения человека на освещенной части двухсторонней застройки составляющие радиационного баланса записываются в следующем виде:

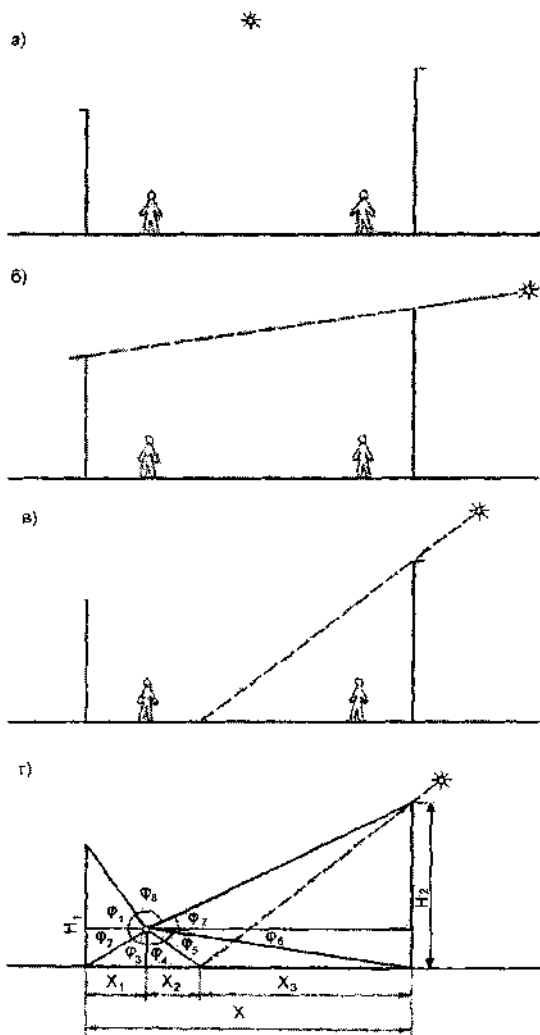


Рис. 6.6. Человек в условиях двухсторонней застройки с различными условиями освещения Солнцем

$$FR_k = F(1 - A_k) [S/4 + D\varphi_8 + r_{c1}(\varphi_1 + \varphi_2) + r_{c2}(\varphi_6 + \varphi_7) + r_{zc}(\varphi_3 + \varphi_4) + r_{zm}\varphi_5], \quad (6.13)$$

$$FR_0 = F\beta [t_0\varphi_8 + t_{c1}(\varphi_1 + \varphi_2) + t_{c2}(\varphi_6 + \varphi_7) + t_{zc}(\varphi_3 + \varphi_4) + t_{zm}\varphi_5 - t_k], \quad (6.14)$$

где r_{c1} и r_{c2} – радиация, отраженная от стен домов, t_{c1} и t_{c2} – температура стен домов, r_{zc} и r_{zm} – отраженная радиация от земной поверхности, соответственно, от участков, освещенных Солнцем и находящихся в тени, t_{zc} и t_{zm} – температура поверхности почвы освещенной Солнцем и находящейся в тени.

Коэффициенты облученности представляются в следующем виде:

$$\varphi_1 = 1/2\pi \cdot \arctg [(H_1 - h) / X_1], \quad (6.15)$$

$$\varphi_2 = 1/2\pi \cdot \arctg (h / X_1), \quad (6.16)$$

$$\varphi_3 = 1/2\pi \cdot \arctg (X_1 / h), \quad (6.17)$$

$$\varphi_4 = 1/2\pi \cdot \arctg (X_2 / h), \quad (6.18)$$

$$\varphi_5 = 1/4 - \varphi_4 - \varphi_6, \quad (6.19)$$

$$\varphi_6 = 1/2\pi \cdot \arctg [h / (X_2 + X_3)], \quad (6.20)$$

$$\varphi_7 = 1/2\pi \cdot \arctg [(H_2 - h) / (X_2 + X_3)], \quad (6.21)$$

$$\varphi_8 = 1/2 - \varphi_1 - \varphi_7, \quad (6.22)$$

где X_1 – расстояние между человеком и освещенной стороной застройки, X_2 – расстояние от человека до края тени, X_3 – ширина тени.

Для второго случая, учитывая, что $S = 0$, формулы представляются в следующем виде:

$$FR_k = F(1 - A_k) [D\varphi_8 + r_{c1}(\varphi_1 + \varphi_2) + r_{c2}(\varphi_6 + \varphi_7) + r_{zc}\varphi_3 + r_{zm}(\varphi_4 + \varphi_5)], \quad (6.23)$$

$$FR_0 = F\beta [t_0\varphi_8 + t_{c1}(\varphi_1 + \varphi_2) + t_{c2}(\varphi_6 + \varphi_7) + t_{zc}\varphi_3 + t_{zm}(\varphi_4 + \varphi_5) - t_k]. \quad (6.24)$$

Значения $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_6, \varphi_7$ и φ_8 совпадают с соответствующими значениями φ для первого случая. Для остальных коэффициентов они записываются в следующем виде:

$$\varphi_3 = 1/4 - \varphi_2 - \varphi_4, \quad (6.25)$$

$$\varphi_4 = 1/2\pi \cdot \arctg(X_2/h), \quad (6.26)$$

$$\varphi_5 = 1/2\pi \cdot \arctg(X_3/h), \quad (6.27)$$

где X_2 и X_3 имеют несколько иной смысл, чем в первом случае, а именно X_2 в данном случае характеризует расстояние от человека, находящегося в тени, до края тени, а X_3 – расстояние от человека до стены застройки, находящейся в тени.

Основной вклад в радиационный баланс человека (FR) вносится коротковолновой составляющей радиационного баланса. По мере удаления от освещенных Солнцем стен потоки радиации уменьшаются, наиболее быстро при переходе в зону затенения.

Рис. 6.7 дает наглядное представление о больших различиях в поступлении радиационного тепла к человеку от отдельных элементов окружающей среды при высотах застройки 15 и 30 м.

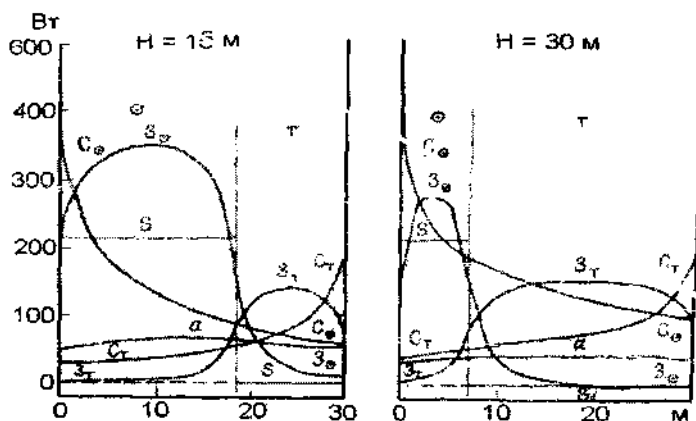


Рис. 6.7. Поступление радиационного тепла к телу человека в различных точках поперечного сечения улицы от отдельных элементов окружающей среды. Ширина улицы 30 м. Ориентация стен ЮЗ – СВ. Ташкент, июль.

Здесь приведены кривые распределения по поперечному профилю улицы радиационных потоков, поступающих к человеку от стен (С), с поверхности Земли (З), атмосферы (а) и от Солнца (S). Из рисунка видно, что на освещенном Солнцем участке улицы большие потоки радиационного тепла отмечаются вблизи освещенных стен и над асфальтированной поверхностью улицы. В затененных частях улицы все потоки ослаблены.

Изоплеты рис. 6.8 характеризуют пространственное распределение величины ΔFR в различные часы суток.

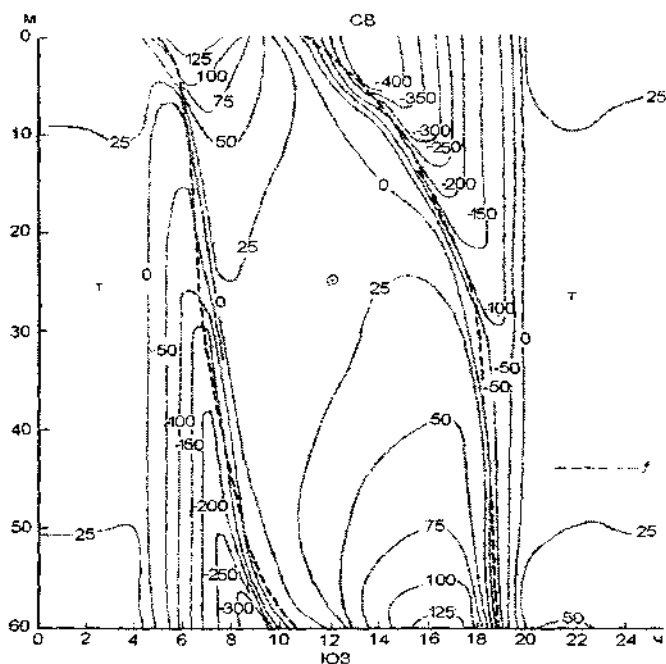


Рис. 6.8. Изоплеты, характеризующие суточные изменения тепловой нагрузки на организм (ΔFR) в условиях двухсторонней застройки по поперечному профилю улицы шириной 60 м при высоте застройки 15 м. Ориентация стен СВ – ЮЗ. Ташкент, июль. (1 – граница тени).

Наибольшее значение ΔFR для участков улицы с различными условиями освещенности Солнцем отмечаются в утренние и вечерние часы. Утром на затененной части улицы тепловая нагрузка на 200-300 Вт

ниже, чем на открытой местности, а на освещенной Солнцем – на 50-150 Вт выше.

В послеполуденные часы на затененном участке ΔFR менее 400 Вт, а на освещенном она более 125 Вт. Полуденный период характеризуется относительно малыми различиями в значениях радиационного баланса на открытой местности и в районе застройки. Эти данные используются при проведении мероприятий по ослаблению перегрева с использованием различных средств солнцезащиты.

Контрольные вопросы.

1. В чем состоят особенности определения теплового состояния человека в условиях городской среды?
2. Какие составляющие теплового баланса наиболее сильно изменяются под влиянием городской среды?
3. Каким параметром принято характеризовать изменение тепловой нагрузки на организм, связанное с влиянием элементов городской среды?
4. Что понимается под пороговым расстоянием, используемым для оценки радиационно-теплового влияния элементов городской среды на человека?
5. Как изменяется тепловая нагрузка на организм человека в зависимости от высоты односторонней застройки на различных расстояниях от нее?
6. Велико ли влияние полосы деревьев на тепловое состояние человека, если он находится с солнечной стороны полосы деревьев?
7. Какое влияние оказывает ряд деревьев, находящихся со стороны односторонней застройки, на радиационно-тепловое состояние человека, находящегося со стороны освещенных зданий?
8. Какие потоки радиации направлены к телу человека, находящегося в условиях двухсторонней застройки?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биометеорология в широком понимании этого слова это наука, исследующая влияние внешних, главным образом метеорологических, факторов на живые организмы: человека, животных, растения.

Обычно влияние метеорологических факторов на растения рассматриваются в агрометеорологии, на животных – в зоометеорологии, а под биометеорологией в более узком понимании этого слова подразумевается влияние метеорологических факторов на человека и его здоровье.

Роль внешних, в том числе и метеорологических, условий на проявление заболеваний и обострение болезненных процессов определяется как их влиянием на возбудителей болезней (кleshевой тиф, грипп, кишечные заболевания и пр.), на сезонную перестройку организма (сезонность проявления язвенной болезни, спазмофилии и др.), так и на реакцию самого организма на изменение внешних условий (увеличение числа случаев инфарктов миокарда, инсультов, гипертонических кризов при повышении солнечной активности, крохождении холодных фронтов).

Влияние метеорологических факторов на организм человека обусловлено не одним отдельно взятым фактором, а целым комплексом метеорологических условий. При решении многих вопросов в области медицины, гигиены, градостроительства необходимы сведения о влиянии факторов внешней среды на тепловое состояние человека.

На практике применяется целый ряд показателей, позволяющих оценить тепловое состояние организма человека. К ним относятся показатели суровости зим Бодмана и Осокина, учитывающие температуру воздуха, скорость ветра, влажность воздуха и другие параметры, и определяющие «жесткость» погоды в холодный период года. В теплый период применяются эффективные, эквивалентно-эффективные, радиационно-эквивалентно-эффективные температуры, которые позволяют оценить тепловое ощущение.

Для оценки теплового состояния человека, находящегося вне помещения и подвергающемуся комплексному воздействию физических и метеорологических факторов, принят метод теплового баланса как один из наиболее научно обоснованных.

Выбранная для оценки теплового состояния человека интегральная характеристика – величина затраты тепла на испарения пота, адекватно отражает избыточное поступление тепла в организм или его по-

терю организмом, является вполне определенной количественной мерой. Эта оценка наиболее полно учитывает влияние на тепловой режим человека радиационного фактора, что особенно важно для биометеорологических оценок в условиях аридного климата.

Однако наиболее общим для оценки теплового состояния человека является, учитывающий приход и расход энергии. Применение метода теплового баланса дает возможность оценить степень напряженности теплового состояния организма.

Расчеты, выполненные для Ташкента [2], показывают суточный ход тепловых нагрузок в различные сезоны года. На основе этого выделены периоды с большими, очень большими и чрезмерными тепловыми нагрузками, что позволило оценить условия труда на открытом воздухе в различные смены работы.

Биоклиматические оценки необходимы и для различных лечебных и оздоровительных учреждений, где проводятся процедуры гелиотерапии и аэротерапии. Объективная оценка теплового состояния человека необходима для правильного выбора времени и дозирования этих процедур.

Особое место занимает оценка теплового состояния человека в условиях городской застройки, когда человек оказывается под влиянием дополнительного теплового излучения и отражения солнечного света окружающими строениями.

Таким образом, данное научное направление, устанавливающее связь между организмом человека и внешней физической средой, имеет большое значение для медицины, гигиенической практики, курортологии, градостроительства и ряда других отраслей человеческой деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Айзенштат Б.А. Биоклиматический атлас Средней Азии. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 156 с.
2. Айзенштат Б.А., Лукина Л.П. Биоклимат и микроклимат Ташкента. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 128 с.
3. Айзенштат Б.А., Лукина Л.П. Тепловой режим человека. – С.-П.: Гидрометеиздат, 1993. – 168 с.
4. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 247 с.
5. Опшл Д., Йокл М. Методика измерения микроклиматических условий в гигиенической практике. – М.:Медгиз, 1962. – 123 с.
6. Чубинский С.М. Биоклиматология. – М.: Медицина, 1965. – 199 с.

Дополнительная

7. Астапенко П.Д. Вопросы о погоде. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 240 с.
8. Головина Е.Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии. – СПб.: изд. РГГМИ, 1993.
9. Ландсберг Х.Е. Антропогенные изменения климата. – В кн. Тр. Симпозиума по физической и динамической климатологии. Л., 1974. С. 267-313.
10. Лиоло Т.Н., Циценко Г.В. Климатические условия и тепловое состояние человека. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 151 с.
11. Никулина С.П. Оценка воздействия изменения климата на уровень тепловых нагрузок и климатического комфорта человека на территории Узбекистана /Оценка изменения климата по территории республики Узбекистан. Развитие методических положений оценки уязвимости природной среды. – Бюллетень № 5. Ташкент: САНИГМИ, 2002. С. 89-104.
12. Погода и биосистемы. Материалы Международной конференции. С.-Петербург. 11-14 октября 1006 г.
13. Труды САРНИГМИ. Вопросы биометеорологии. Вып. 20(101). 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 Влияние сезонов на заболеваемость	5
ГЛАВА 2 Влияние метеорологических факторов на организм человека	10
2.1. Действие атмосферного давления	10
2.2. Действие температуры воздуха	12
2.3. Совместное действие температуры и влажности воздуха	16
2.4. Действие ветра	18
2.5. Действие состава воздуха	19
2.6. Комплексное влияние метеорологических величин	21
2.7. Действие солнечного света	22
2.8. Действие синоптических ситуаций	25
2.9. Причины возникновения метеотропных реакций	27
ГЛАВА 3 Метеорологические факторы и тепловое состояние человека	31
3.1. Влияние метеорологических факторов на тепловое состояние человека	31
3.2. Теплопродукция человека	35
3.3. Терморегуляция	35
3.4. Влияние одежды на тепловое состояние человека	37
ГЛАВА 4 Оценка теплового состояния человека	39
4.1. Уравнение теплового баланса человека	39
4.2. Показатель напряженности терморегуляторной системы организма	43
4.3. Шкала теплового состояния человека	44
4.4. Биометеорологическая оценка суровости зим	45
4.5. Эквивалентно-эффективная температура	48
ГЛАВА 5 Общая биоклиматическая характеристика Ташкента	52
5.1. Суточный ход показателей теплового состояния человека	52

	5.2. Распределение тепловых нагрузок в различные периоды дня	58
	5.3. Суммы влагопотерь испарением пота за 1-ю и 2-ю рабочие смены.	62
	5.4. Годовой ход показателей теплового состояния человека.	63
ГЛАВА 6	Тепловое состояние человека в условиях городской застройки.	67
	6.1. Особенности определения тепловых нагрузок на организм человека в условиях городской застройки	67
	6.2. Человек в районе односторонней застройки без озеленения.	71
	6.3. Человек в районе линейной посадки деревьев	74
	6.4. Человек в районе односторонней застройки с озеленением вдоль тротуара	75
	6.5. Человек в условиях двухсторонней застройки	78
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	84
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	86