

Государственный комитет Российской Федерации по высшему образованию

---

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

*Е. Г. ГОЛОВИНА, В. И. РУСАНОВ*

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ  
БИОМЕТЕОРОЛОГИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
1993

УДК 551.10.42

Головина Е. Г., Русанов В. И. Некоторые вопросы биометеорологии. Учебное пособие. — СПб., изд. РГГМИ, 1993. — 90 с.

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. В. Г. Марачевский (кафедра геоэкологии СПбГУ), д-р физ.-мат. наук, с. н. с. Л. С. Ивлев (кафедра физики атмосферы СПбГУ).

Рассматриваются основные проблемы влияния атмосферы на состояние человека. Анализируются результаты биометеорологических исследований, проведенных метеорологами вместе с медицинскими работниками ряда клиник. Излагаются основы прогноза погоды для медицинских целей.

Предназначено для гидрометеорологических институтов и географических факультетов, а также может быть рекомендовано студентам медицинских вузов. Ил. 15. Табл. 19. Библ. 7.

Treated here are the main problems of the atmosphere's influence on human health. Analysis is given of the results of joint biometeorological research carried out by meteorologists and medical workers at a number of clinics. Set forth are the fundamentals of weather forecasting for medical purposes.

The present manual is designed to be used by students of hydrometeorology and geography. It can also be recommended to students at medical colleges.



42 к 1039

© Российский государственный гидрометеорологический институт (РГГМИ), 1993.  
ISBN 5-86813-078-2

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Часть биосферы составляет человечество, которое не только приспособляется к окружающей среде, но и преобразует ее. Закономерности общей экологии полностью не раскрывают специфику человеческого бытия, поэтому появилась необходимость развития нового междисциплинарного направления — экология человека. Цель этого направления — достижение гармоничного взаимодействия человека с окружающей средой, в том числе и с атмосферой.

Изучение влияния состояния атмосферы на человека издавна интересовало специалистов самых различных областей знаний. Со времени А. И. Воейкова, положившего начало серьезным научным исследованиям в области медицинской метеорологии и климатологии, достигнуты значительные успехи в развитии данного направления метеорологической науки. Но на практике полученные знания должным образом не используются. Тем не менее, общий эффект от осуществления мероприятий по комплексной метеопрофилактике патологических реакций имел бы серьезное социальное и экономическое значение.

В настоящее время есть много публикаций, ряд учебных пособий, в том числе учебные пособия В. И. Русанова, посвященные различным метеорологическим, гелиофизическим и другим аспектам экологии человека. Данное учебное пособие является обобщающим многие результаты биометеорологических исследований и может помочь студентам, занимающимся изучением физики атмосферы, экологии, а также будущим специалистам здравоохранения познакомиться с проблемами воздействия состояния атмосферы на здоровье человека.

Авторы выражают глубокую благодарность профессору Г. Ф. Головину за консультации во время работы над рукописью, а также инженерам О. Б. Кадик и Р. В. Петровой за помощь при подготовке учебного пособия.

## ВВЕДЕНИЕ

Биометеорология занимается экологическими аспектами существования человека, т. е. изучает влияние на его жизнь окружающей среды, в частности атмосферы. Одним из важнейших вопросов биометеорологии является исследование воздействия на человека климата, изменчивости погоды, отклонения ее от обычных, привычных для человека, значений. Биометеорологов интересуют как периодические (сезонные, суточные), так и непериодические (эпизодически наблюдающиеся) изменения погоды.

Начало климатических и метеорологических исследований с точки зрения медицины связано с именем Парацельса (Фон Гогенгейма, 1493—1541 гг.), который писал: «Тому, кто изучал ветры, молнии и погоду, известно происхождение болезней». Гуфелянд, врач Гете, впервые нашел связь между смертностью населения и климатическими явлениями. Во второй половине XIX в. устанавливается влияние климата и погоды на самые различные заболевания, в том числе и на психическое состояние людей. В XX в. расширяется круг интересов биометеорологов, исследующих влияние на человека как основных погодно-климатических условий, так и характеристик электрического и магнитного поля. В 1956 г. организуется Международное общество биометеорологов.

Проблемы влияния изменения окружающей среды на здоровье человека рассматривает Всемирная метеорологическая организация, которая разработала Всемирную климатическую программу (ВКП). В эту программу включены исследования изменения естественного климата в крупных городах и промышленных районах, где наблюдается нарушение экологического равновесия, оказывающего существенное влияние на человека.

Окружающая среда действует на человека совокупностями двух групп климато-географических факторов, которые можно условно назвать (по С. В. Казначееву) флуктуирующие и нефлуктуирующие. Первая представляет собой те факторы, которые испытывают разнообразные изменения в течение суток, недель, месяца и сезонов. Это температура и влажность воздуха, общий уровень солнечной радиации, атмосферное давление и т. д. Вторая группа жестко детерминирована в каждой конкретной местности, стабильна в течение солнечного цикла. Это спектр видимого света, общий уровень биомассы, напряженность гравитационного поля Земли в данной местности и т. д.

Биоклиматология и биометеорология, исследуя связь между организмами и физическими факторами среды, рассматривают двухкомпонентную систему, состоящую из биологического объекта и определенного фактора или совокупности факторов среды.

Связи между данным фактором и биологической системой должны осуществляться через изменение биологической активности вместе с изменяющейся интенсивностью воздействия фактора. Функция зависимости между параметрами, характеризующими активность организма и действующими на него факторами внешней среды, часто имеет сложный вид. Так, при одном и том же среднем значении заданного фактора его влияние на активность организма может быть различным в зависимости от амплитуды колебаний фактора окружающей среды. Не всегда суммирование действий фактора и его средние значения позволяют однозначно определять вид искомой зависимости. Исследования условий окружающей среды, проводимые для метеорологических целей, охватывают параметры, характеризующие главным образом состояние атмосферы и условия в почве и водных средах. Биометеорологические исследования человека (медицинская метеорология) проводят с целью определения реакций организма человека на различные условия среды и выявления требований организма к окружающей среде для поддержания нормальной физиологической активности организма. Медицинская метеорология изучает влияние погоды на здорового (метеофизиология) и больного (метеопатология) человека, возможности использования метеорологических условий в лечебных целях (климатотерапия), что учитывается при организации курортного дела. Климатотерапию и организацию курортного дела часто выделяют в самостоятельную отрасль — курортную метеорологию.

Погода и климат оказывают многостороннее влияние на здоровье человека. Такие воздействия, как тепло или холод, распознаются легко. О других можно судить лишь по статистическому соотношению между параметрами, характеризующими здоровье человека, и погодными условиями или некоторыми метеорологическими явлениями. Биометеорология человека помогает определить тепловое восприятие и тепловой комфорт или дискомфорт как реакцию на климатические условия. Результаты исследований в этой области служат основой для разработки критериев климата помещений. Исследования воздействий атмосферного загрязнения на человека используются при разработке законодательства и городском планировании с учетом состояния атмосферы.

При городском планировании учитываются и другие аспекты климата городов, такие, как температурный режим атмосферы, понижение глобальной радиации и ультрафиолетового излучения. Биометеорология человека должна особо учитываться при проектировании зданий и городском планировании, так как городское строительство оказывает заметное влияние на среду, окружающую человека.

## 1. ВОЗДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ НА ЧЕЛОВЕКА

### 1.1. Атмосферные факторы, влияющие на человека

Человек постоянно находится под влиянием метеорологических (атмосферных), радиационных (космических) и земных (теллурических) факторов.

Физическое состояние атмосферы в определенный момент времени характеризуется набором метеорологических величин и атмосферных явлений. Непрерывное изменение состояния атмосферы приводит к образованию таких атмосферных процессов, которые охватывают значительное пространство и действуют длительное время. Область их действия определяется характерными размерами или длиной волн, а время действия — продолжительностью их существования. Средние долговременные погодные условия в какой-то области или районе определяют тип климата.

Генетическая адаптация человеческого организма к состоянию атмосферы вызывает периодические изменения многих физиологических функций. Регулярные изменения физиологических функций называются *биологическими ритмами*. Суточные и годовые ритмы связаны с метеорологическими и астрономическими факторами. Результаты исследований отечественных и зарубежных ученых показывают, что многие заболевания объединяет общее — рассогласованность функций организма между собой и внешними датчиками времени.

От человеческого организма требуются усилия для адаптации к какому-то определенному периоду, короткому или длительному. При адаптации происходит координация всех физиологических функций. Этот процесс называется *гомеостаз*. Заболевания, связанные с метеорологическими и космическими процессами, называются *метеотропными*. Метеотропные болезни можно разделить на несколько классов: 1) региональные; 2) метеотропные реакции как обострение и фактор риска любых физиологических процессов; 3) болезни, вызванные климато-географическими контрастами.

Биоклиматологические аспекты здоровья человека отражают сложность взаимоотношений в системе «Солнце — климат — человек». Гелиоклиматопогодные факторы действуют на организм человека всегда комплексно и опосредованно — через условия его жизни.

Важной методологической основой изучения метеотропных болезней человека является учение о солнечно-земных связях и биосфере, а также гелиобиология. Эти концепции явились научной

основой создания межрегиональной программы «Солнце—климат—человек».

Комплексные исследования по биометеорологии и биоклиматологии показывают, что для полноты описания атмосферной среды, непосредственно влияющей на человеческий организм, необходимо учитывать следующие факторы: температуру воздуха, влажность, давление, скорость ветра, потоки солнечной радиации (включая спектральное распределение энергии), длинноволновую солнечную радиацию, осадки (тип и интенсивность), состав воздуха, атмосферное электричество, атмосферную радиоактивность, звуковой шум.

Прямое воздействие этих элементов может быть мгновенным, т. е. вызываться преобладающей погодой, а может зависеть и от последовательности событий, т. е. от синоптической обстановки. Эффекты могут быть суммарными и возникать в результате длительного воздействия различных условий. В зависимости от продолжительности их можно рассматривать как погодные или климатические, хотя такое подразделение до некоторой степени условно.

Рассмотрим некоторые из перечисленных факторов, влияние которых установлено исследователями, занимающимися проблемой воздействия атмосферы на человека.

#### *Температура воздуха, влажность, давление, ветер*

Одним из самых явных метеопатических факторов является температура воздуха. Изменение теплового режима атмосферы вызывает соответствующие изменения теплообмена человека с окружающей средой. Теоретическая предпосылка этого эффекта дана еще в 1748 г. М. В. Ломоносовым, который считал, что открытый им закон сохранения и движения материи применим и к животному организму. Постоянство температуры человека — основа его жизни.

Теплопотери с поверхности кожи происходят за счет длинноволнового излучения, конвекции, кондукции — затрат тепла на испарение жидкости с поверхности кожи.

Теплоотдача в основном осуществляется через кожный покров — около 82 %, органами дыхания — 13 % и всеми остальными — 5 %. Однако это соотношение зависит от теплоизоляции одежды.

Большое воздействие на человека оказывает не только температура воздуха, но и ее межсуточная изменчивость. Так, повышение температуры воздуха от  $-43,6^{\circ}\text{C}$  до  $+6^{\circ}\text{C}$  в течение одной январской ночи 1780 г. в Санкт-Петербурге привело к заболеваемости гриппом 40 тыс. человек. Изменение среднесуточной температуры воздуха на  $1-2^{\circ}\text{C}$  считается слабым, на  $3-4^{\circ}\text{C}$  — умеренным, более чем на  $4^{\circ}\text{C}$  — резким. Субъективное ощущение климатического комфорта связано с уровнями активности человека, температурой излучения и др. Кроме того, влияние температуры

воздуха на организм человека зависит и от влажности воздуха. При одной и той же температуре изменение содержания водяного пара в приземном слое атмосферы может оказать значительное воздействие на состояние организма.

По сравнению с естественными колебаниями температуры воздуха диапазон температур, в котором человеческий организм чувствует себя комфортно, значительно уже. При температуре тела, выходящей за пределы 26—40 °С, возможны необратимые процессы в организме.

Наиболее комфортные условия наблюдаются при температуре воздуха 16—18 °С и относительной влажности 50 %. При повышении влажности воздуха, препятствующей испарению с поверхности тела человека, тяжело переносится жара и усиливается действие холода.

Биологические реакции зависят от облачности, влияющей на световой режим, являющейся причиной выпадения осадков, а следовательно, изменения суточного хода температуры и влажности воздуха.

Биометеорологические исследования показали, что сами осадки оказывают в основном благоприятное воздействие на человека: уменьшаются инфекционные заболевания, понижается смертность, уменьшаются многочисленные жалобы, вызванные метеорологическими явлениями. Последнее, правда, может быть связано не столько непосредственно с осадками, сколько с изменением электрического поля атмосферы при прохождении дождевой облачности.

Разнообразно влияние ветра. При низких температурах ветер усиливает теплоотдачу, что может привести к переохлаждению организма. Зимой ветер понижает сопротивляемость организма, летом — повышает. Сильный ветер, оказывая давление на поверхностные ткани организма и затрудняя дыхание, вызывает отрицательную реакцию. Большой метеопатический эффект имеет фен, бора, черные ветры, муссоны.

Наиболее неопределенное влияние на самочувствие человека оказывает атмосферное давление ( $P$ ), которое характеризуется значительными непериодическими колебаниями. По классификации В. Г. Бокши, сильными считаются межсуточные перепады давления 10—20 гПа и более, резкими 8—10 гПа, умеренными 8 гПа, слабыми 1—4 гПа.

Е. П. Зверева, анализируя карту средней многолетней абсолютной межсуточной изменчивости  $P$ , отмечает, что его межсуточные колебания (наибольшие и наименьшие) зависят от времени года. В январе очаги с максимальной изменчивостью  $P$  располагаются над Прибалтикой, над бассейном р. Колымы и над Камчаткой. В апреле очаг наибольшей изменчивости находится над центральными районами Арктики и п-овом Таймыр, осенью, в октябре — над Кольским п-овом и Камчаткой. Сезонное изменение очагов большой изменчивости давления тесно связано с

крупномасштабными циркуляционными процессами в атмосфере, в частности с циклонической деятельностью. Так, основная причина повышенной межсуточной изменчивости давления воздуха в холодный период в Прибалтике и на северо-западе европейской части России в большой повторяемости циклонов и вторжений арктического воздуха в их тылу.

Факторами, противоречащими непосредственному влиянию давления на самочувствие, является возникновение реакции до изменения давления, а также отсутствие явных реакций при поездках по горным дорогам и полетах на самолетах. Очевидно, что в биометеорологических исследованиях и медико-биологических прогнозах следует учитывать влияние атмосферного давления в комплексе с другими метеорологическими величинами и явлениями, а также с крупномасштабными атмосферными процессами.

Сильное биотропное воздействие оказывает меридиональные синоптические процессы, умеренное и слабое воздействие характерно для зональных синоптических процессов. Работы немецких ученых (Шульце, Шредер, Купке и др.) показали, что антициклонические процессы не оказывают биотропного воздействия, если они не сопровождаются образованием инверсий нисходящего скольжения. Беккер сделал вывод о взаимосвязи динамических атмосферных процессов и болезненных явлений. Так, прохождение теплого фронта влияет на возникновение спастических состояний и вызывает нарушения различных процессов в организме; коэффициент смертности возрастает при прохождении холодного фронта, процессов восходящего скольжения и турбулентности.

Реакции организма могут проявляться за несколько часов до перемены погоды. С помощью радиозондирования установлено взаимосвязанное изменение метеорологических величин на высоте, в то время как у поверхности Земли еще не регистрируются никаких изменений.

Синоптическая ситуация влияет и на химический состав воздуха. Из всех химических факторов абсолютное значение для жизненных процессов имеет кислород, изменение содержания которого влияет на течение многих биологических процессов. Д. Ассман утверждает, что появление болевых ощущений, связанных с погодой, вызвано подавлением окислительно-ассимиляторных процессов в результате уменьшения содержания кислорода в воздухе (ассимиляция — образование в организме сложных веществ из более простых). Это предположение он подтверждает выводами других авторов о несомненном влиянии содержания кислорода на функционирование различных систем организма.

При изменении метеорологических условий объемное содержание кислорода, его парциальное давление изменяются незначительно; тогда как плотность (весовое содержание кислорода в единице объема) колеблется в довольно широких пределах и, по мнению В. Ф. Овчаровой, может характеризовать комплексное влияние этих метеорологических факторов на человека.

**Радиация.** На человека, безусловно, влияют и различные виды радиации, поступающие к земной поверхности. К ним относятся: атомная космическая радиация, солнечный ветер, рентгеновские лучи, ультрафиолетовая, видимая, инфракрасная и высокочастотная радиация. Кроме того, на биологические организмы воздействует радиация, излучаемая радиоактивными элементами, содержащимися в атмосфере, и излучаемая поверхностью Земли и растениями.

Солнце является основным источником электромагнитной радиации. При среднем расстоянии от Солнца до орбиты Земли общая радиация составляет  $1373 \pm 20$  Вт/м<sup>2</sup>. Энергия солнечной радиации взаимодействует с твердыми и газовыми примесями в атмосфере, в результате чего происходит изменение химического состава и термического режима атмосферы.

Биологическое действие всех видов радиации различно. Так, ультрафиолетовую область спектра по биологическому воздействию делят на три участка: *C* ( $\lambda < 280$  нм) — бактерицидный, *B* (280—315 нм) — витаминизирующий (способствует образованию витаминов группы *D*), *A* (316—400 нм) — эритемный (воздействует на пигментацию кожи). Ультрафиолетовая радиация и видимый свет при длительном воздействии или очень большой интенсивности могут вызвать патологическую реакцию живых организмов. Инфракрасная радиация (в том числе излучение Земли и атмосферы) также оказывает биологическое действие.

Изменение химического состава атмосферы приводит и к изменению спектра излучения, дошедшего до Земли. Около 80 % излучения в диапазоне 0,29—2,4 мкм атмосфера пропускает к земной поверхности (спектральное окно атмосферы). Атмосфера прозрачна также для радиоволнового излучения в интервале длин волн 1—20 см. Высокочастотная радиация тоже может оказывать вредное воздействие на человека. Существуют различные стандарты норм радиоволнового облучения. Известно, что отклонение интенсивности радиоволн на коэффициент  $10^6$  является частым во время вспышек на Солнце, что может вызывать патологические реакции организма.

**Атмосферное электричество.** Биологическое воздействие таких эффектов электрического поля атмосферы, как атмосферные ионы и электромагнитные импульсы («атмосферики»), обнаружены уже давно. Особенно интересны работы в этой области А. Л. Чижевского.

Электрические поля, течения и проводимость, как и отрицательные ионы различных размеров, формируют основные электрические свойства атмосферы в ясную погоду. Движение воздушных масс, барические системы, ветры, турбулентность, распределение температуры и водяного пара оказывают большое влияние на электрические свойства тропосферы, на распределение заряженных и незаряженных аэрозолей и радиоактивных частиц земного

происхождения. Это влияние значительно в слое атмосферного обмена.

В связи с возможными биологическими последствиями изменения величин атмосферного электричества исследователями уделяется большое внимание проникновению естественных колебаний величин в помещения. Исследования показали, что стационарное электрическое поле в помещение не проникает. В помещение проникает около 0,5 % энергии поля частотой 50 Гц, 10 % — частотой 10 кГц. Поэтому М. Израэль, Р. Рейтер в качестве факторов биологического воздействия предлагают рассматривать только следующие:

1) все процессы, которые связаны с ионизацией, а также с содержанием ионов, объемными зарядами воздуха и радиоактивностью;

2) очень быстро происходящие изменения электрического поля и токи смещения;

3) электромагнитные волны.

*Магнитное поле.* Земной шар окружен сильным магнитным полем, напряженность которого уменьшается с высотой и изменяется во времени. Магнитное поле Земли, захватывая заряженные частицы атмосферы, создает на расстоянии 4800 и 16 000 км от Земли радиационные пояса, в результате чего заряженные частицы ее доходят до земной поверхности. Как показали исследования, изменение магнитного поля Земли связано с изменением наземного атмосферного давления, появления засух, образованием фронтов и другими процессами в атмосфере.

Геомагнитное поле влияет и на биосферу. В течение многих лет сравнивались разные биологические, физико-химические и географические процессы, которые происходят в различных местах на Земле. Было показано, что несмотря на то, что в этих местах различные погодные и климатические условия, различные сезоны, географические условия и т. д., эти процессы протекают синфазно и синхронно. Синхронность проявляется в том, что одновременно и резко изменяются биологические явления, например клеточный состав крови человека. Синфазность проявлялась в повторяемости наибольших или наименьших величин различных физико-химических процессов, в изменении количества лейкоцитов в крови. Существует много факторов, свидетельствующих о связи между солнечной и магнитной активностью и состоянием человеческого организма.

С помощью экспериментальных и клинических данных оценивался характер воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на организм.

Физико-химические эффекты воздействия магнитных полей (МП) определяются (В. И. Каршилов) изменением траектории движения заряженных частиц, вязкости жидкостей, влиянием на фазовые превращения веществ и на скорость химических реакций.

ЭМП способны вызывать колебательные процессы в биоструктурах.

Процессы жизнедеятельности имеют в своей основе химические реакции значительной степени сложности. Биохимические реакции протекают с образованием свободных радикалов, представляющих собой части молекул, имеющие на внешних электронных орбитах неспаренные электроны и обладающие в связи с этим парамагнетизмом. Все это определяет влияние ЭМП на организм человека.

Для жизнедеятельности человека характерны ритмичные колебания функциональной активности различных биохимических и физиологических параметров систем организма. Одной из причин естественных биоритмов некоторые исследователи считают МП Земли и его вариации.

По мнению С. Е. Бреслера, одним из возможных механизмов биологического действия МП является его ориентирующее действие на жидкие кристаллы клеточных мембран, что ведет к изменению проницаемости последних.

Электрофизиологическими методами выявлены нарушения в собственных электрических процессах организма при его взаимодействии с внешним ЭМ излучением (ЭМИ). Практически все диапазоны ЭМП оказывают дезактивирующее влияние на электрические процессы в коре и подкорковых образованиях головного мозга.

Система кровообращения отвечает на воздействие ЭМИ фазовыми реакциями тонуса сосудов (понижение и повышение артериального давления), сердечного ритма. В результате воздействия ЭМИ на систему крови изменяется клеточный состав крови, структура и функции форменных элементов крови.

Для биологического действия инфракрасного излучения в связи с незначительной глубиной проникновения (до 2—3 мм) характерен в основном первичный нагрев поверхностей тканей.

Н. Ф. Галанин считает причиной биологической активности УФ излучения способность переводить в реактогенное состояние биомакромолекулы; в дальнейшем могут развиваться последующие стадии фотохимических процессов, которые приводят к нарушению кальциевого обмена в условиях УФ дефицита. Ю. А. Холодов приводит данные об изменениях состояния здоровья людей, изолированных от естественных ЭМИ.

Степень воздействия факторов среды определяют с помощью показателей, полученных в результате физиологических и экспериментальных исследований с учетом отдаленных последствий (генетических, бластомогенных), вызывающих образование опухолей различных тканей.

По абсолютной величине колебания геомагнитного поля невелики, и их энергия не может, по мнению М. Н. Гневышева, вызвать энергетические изменения в организме. Влияния этих факторов могут быть информативны, т. е. изменения в организме про-

исходят за счет его собственной энергии после получения информации. В последнее время установлена зависимость крупномасштабных явлений погоды от солнечной активности.

Таким образом, следует определить, что является первичным в воздействии на организм.

**Загрязнение атмосферы.** Еще один фактор, который влияет на человека и значение которого возросло в последние годы, — это загрязнение атмосферы. В настоящее время человечество может изменить климат в местном, региональном и глобальном масштабах. Непредвиденные изменения, которые произошли на Земле и в атмосфере в результате человеческой деятельности, приобрели такие размеры, что их необходимо учитывать в любых уравнениях, описывающих глобальный «баланс природы».

В больших городах и индустриальных районах загрязнение атмосферы приводит к изменению термического режима воздуха. Существуют значительные территории, где нагревание в результате человеческой деятельности на 10% больше, чем от вклада солнечной радиации, поглощаемой Землей, городские «острова тепла» могут иметь температуру ночью и зимой на несколько градусов выше, чем прилегающие районы.

Загрязняющие вещества вступают во взаимодействие с составляющими элементами тропосферы. Эти взаимодействия могут быть химическими, протохимическими (адсорбция, изменение термического режима) или комбинациями этих процессов.

Всемирная организация здравоохранения в нескольких своих программах уделяет большое внимание вредному влиянию химических веществ на здоровье человека. В городах вводится стандарт концентрации основных загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу, таких, как  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ , углеводород и различные частицы.

Таким образом, решение проблемы биометеорологии требует рассмотрения взаимосвязи двух очень сложных систем: окружающей среды (в частности, атмосферы) и человека. Многообразие факторов, влияющих друг на друга внутри каждой системы, и взаимодействие между системами создает трудности в определении критериев, оценивающих степень влияния атмосферы на человека.

## 1.2. Методы оценки состояния атмосферы в биометеорологии

Для оценки погодных условий с медико-метеорологической точки зрения используют один или несколько биометеорологических индексов. Основными из них, отражающими влияние погоды на человека, являются комплексные показатели, включающие значения двух или более метеорологических величин и явлений.

Для оценки теплового состояния человека и степени дискомфорта Хаутон и Яглоу (1923 г.) ввели понятие эффективной температуры (ЭТ). ЭТ — это температура неподвижного воздуха, на-

сыщенного водяным паром. Она определяется по формуле А. Миссенарда

$$\text{ЭТ} = T - 0,4(T - 10) \left( 1 - \frac{RH}{1000} \right),$$

где  $T$  — температура сухого воздуха, °С;  $RH$  — относительная влажность, %.

Влияние влажности воздуха на ЭТ меняется в зависимости от температуры воздуха. При температуре воздуха ниже 10 °С сухой воздух кажется значительно теплее, чем влажный, а при температуре выше 10 °С — наоборот.

Для оценки тепловой чувствительности человека используют и различные индексы дискомфорта  $DI$ , полученные эмпирически. Например, по Е. Тому:

$$DI = 0,4(T + T_{\text{см}}) + 4,8,$$

где  $T_{\text{см}}$  — температура смоченного термометра.

Учет скорости ветра при оценке тепловой чувствительности возможен с помощью показателя  $ET$  (по А. Миссенарду):

$$ET = 37 - \frac{37 - T}{0,68 - 0,0014RH + \frac{1}{1,76 + 1,4v^{0,75}}} - 0,29T \left( 1 - \frac{RH}{100} \right),$$

где  $v$  — скорость ветра, м/с.

Величина  $ET$  соответствует введенной в СНГ величине эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ), которая определяется с помощью специальных номограмм по известной температуре сухого и смоченного термометра.

В. Г. Бокша и Б. В. Богуцкий проанализировали применение ЭЭТ на практике. Зона комфорта, определенная по ЭЭТ, имеет следующие границы: 17,3—21,7 °С (для раздетого человека), 16,7—20,7 °С (для одетого). По длительности периода, в течение которого имеется зона комфорта, можно судить о климатолечебных ресурсах местности. Выделены четыре зоны комфорта с различной повторяемостью (дней в месяц) ЭЭТ в пределах 17—22 °С: минимальный комфорт — менее 30 %; достаточный — 30—50 %; оптимальный — 50—70 %; максимальный — более 70 %.

Для оценки теплоощущений одетого человека И. В. Бутьева предложила формулу нормальной ЭЭТ (НЭЭТ):

$$\text{НЭЭТ} = 0,8\text{ЭЭТ} + 7^\circ\text{С}.$$

В США НЭЭТ определяется по номограммам, построенным для различных районов с учетом теплоощущения. Ее пределы составляют 17,2—21,5 °С. Температурные индексы не учитывают адапта-

ции человека к климатическим условиям, влияние радиации, характер работы человека, состояние здоровья и физиологических особенностей различных групп людей.

Для оценки метеорологических условий используется также и радиационная ЭЭТ (РЭЭТ), учитывающая влияние на организм солнечной радиации. Для расчета РЭЭТ применяют различные формулы и номограммы. Наиболее простые из них:  $RЭЭТ = 6,2 + HЭЭТ$ ;  $RЭЭТ = 0,83ЭЭТ + 12^{\circ}C$ .

Более подробную характеристику рассматривает В. И. Русанов:

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

где  $f$  и  $t$  — температура и относительная влажность воздуха,  $^{\circ}C$ , %;  $v$  — скорость ветра, м/с;  $\beta$  — поглощенная поверхностью тела солнечная радиация,  $кВт/м^2$ ;  $\beta = \epsilon(1 - \alpha)$ ,  $\alpha$  — альbedo кожи,  $\alpha = 0,28$  — для непигментированной кожи и  $0,11$  — для пигментированной;  $\epsilon$  — интенсивность солнечной радиации.

Влияние радиации, отраженной поверхностью Земли, учитывает биологически активная температура:

$$БАТ = 9^{\circ}C + 0,8HЭЭТ.$$

Для этого показателя зона комфорта заключена в пределах  $10-20^{\circ}C$ .

В США для оценки степени дискомфорта рассчитывается температурно-влажностный индекс:

$$ТВИ = 0,4(T + T_{см}) + 15^{\circ}C,$$

где  $T$  и  $T_{см}$  — соответственно температура сухого и смоченного термометра,  $^{\circ}F$ .

Если  $ТВИ \geq 70$ , то, по результатам исследований, человек начинает чувствовать себя вне зоны комфорта.

В Японии используется показатель ДУ, также учитывающий температуру и влажность воздуха:

$$ДУ = 0,99t + 0,36t_d + 41,5,$$

где  $t$  и  $t_d$  — соответственно температура сухого термометра и точки росы,  $^{\circ}C$ .

Нормальные теплоощущения отмечаются при величине индекса  $60-70$ .

В Канаде для биометеорологических оценок введен ветровой индекс охлаждения (ВИО):

$$ВИО = (100v + 10,45 - v)(33 - t).$$

Индексы теплоощущения характеризуют тепловой режим тела человека только под влиянием ветра, окружающего воздуха, радиации и учитывают испарение с поверхности кожи и теплопроводности одежды. Потери тепла при испарении составляют около 20 % общих потерь тепла организмом.

Для учета физиологических факторов и теплоощущения можно составить уравнение теплового баланса для человека, в котором учитываются свойства одежды и различные виды теплообмена человека и окружающей среды:

$$T + R + P - LE - d = \pm Q,$$

где  $T$  — теплопродукция тела человека;  $R$  — радиационный баланс;  $P$  — турбулентный теплообмен;  $L$  — теплота парообразования;  $E$  — испарение с поверхности тела;  $d$  — потеря тепла органами дыхания;  $Q$  — интенсивность дефицита ( $Q < 0$ ) или избытка ( $Q > 0$ ) тепла.

М. И. Будыко и Г. В. Циценко провели исследования и уточнили уравнение теплового баланса, включив в него полный комплекс метеорологических факторов, оказывающих влияние на тепловое состояние человека:

$$T \pm R - \rho L D \gamma (e_w - e) a - \rho c_p D (\theta_w - \theta) = \pm Q,$$

где  $\rho$  — плотность воздуха;  $\gamma$  — коэффициент перехода от парциального давления к массовой доле водяного пара;  $e_w$  — парциальное давление водяного пара при температуре тела  $\theta_w$ ;  $e$  — парциальное давление водяного пара при температуре воздуха  $\theta$ ;  $a$  — коэффициент, зависящий от  $\theta_w$ ;  $D$  — коэффициент диффузии;

$$R = \left[ \frac{S \operatorname{ctg} h}{\pi} + \frac{q}{2} + \frac{1}{2} (S + q) \alpha_0 \right] (1 - \alpha) \frac{I_0}{2} + \\ + 2S' \sigma \theta^3 (\theta_0 - \theta) - 4S' \sigma \theta^3 (\theta_w - \theta),$$

$S$  — прямая солнечная радиация на единичную горизонтальную поверхность;  $q$  — рассеянная радиация;  $h$  — высота солнца;  $\alpha_0$  — альbedo поверхности Земли;  $\alpha$  — альbedo непигментированной кожи;  $I_0$  — эффективное излучение земной поверхности, вычисленное по температуре воздуха;  $S'$  — коэффициент, характеризующий отличие свойств излучающей поверхности от черного тела;  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана;  $\theta_0$  — температура поверхности Земли.

Многие исследователи используют в качестве определяющих показателей различные факторы, входящие в уравнение теплового баланса или получаемые в результате его решения: средневзвешенная температура кожи, значение парциального давления водяного пара у поверхности тела, влагопотери человека испарением.

Для оценки суровости климата Бодман предложил шкалу баллов «жесткости». Для расчета он взял в основу время, необходимое для охлаждения сосуда с водой начальной температуры  $30^\circ\text{C}$  до конечной температуры  $20^\circ\text{C}$ .

Баллы рассчитывались по формуле

$$S = (1 + 0,272v) (1 - 0,04t),$$

$v$  — скорость ветра, м/с;  $t$  — температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

В СНГ шкала Бодмана используется для характеристики зимнего периода:  $S < 1$  — зима несуровая, мягкая;  $S = 1-2$  — малосуровая;  $S = 2-3$  — умеренно суровая;  $S = 3-4$  — суровая;  $S = 4-5$  — очень суровая;  $S = 5-6$  — жестко суровая;  $S > 6$  — крайне суровая.

В. И. Осокин уточнил формулу для расчета  $S$ :

$$S = (1 - 0,06t)(1 + 0,2v)(1 + 0,0006 H_m) K_v A_c,$$

$H_m$  — абсолютная высота местности;  $K_v$  — коэффициент влияния влажности;  $A_c$  — коэффициент роли суточных амплитуд  $t$  и  $v$ .  $K_v$  и  $A_c$  находятся по таблицам.

Для медицинских целей используются хорошо согласующиеся между собой биометеорологические показатели, например, такие, как:

1. Ветро-холодовый индекс (по Сайплу)

$$K = (\sqrt{100v} + 10,45v)(33 - t),$$

$K$  характеризует охлаждение под влиянием скорости ветра  $v$  (м/с) и температуры воздуха  $t$  (°C). Применяется индекс по шкале в пределах от  $K < 50$  (жарко) до  $K > 1000$  (очень холодно).

2. Эквивалентно-штилевая температура

$$\text{ЭШТ} = t - n\Delta t,$$

$\Delta t$  — поправка к температуре воздуха при различной скорости ветра;  $n$  — отношение теплопродукции в покое к теплопродукции при выполнении работ. Таким образом, ЭШТ учитывает степень подвижности человека.

Величина  $n$  принимается равной 1 в покое, при легкой работе — 2, средней тяжести — 3, при тяжелой — 6.

Поправка к температуре воздуха при различных скоростях ветра и общей теплоотдаче, соответствующей покою, определяется по табл. 1.1, составленной по данным Бартона и Эдхолма.

Таблица 1.1

Поправка к температуре воздуха при различной скорости ветра

Скорость ветра, м/с	0,01	0,18	0,25	0,38	0,60	1,07	2,16	5,34	22,9
$\Delta t$ , °C	0	1,8	2,7	3,5	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2

Например, при общей теплоотдаче, соответствующей покою человека, ЭШТ равняется  $-15,5$  °C, если температура воздуха  $-10,0$  °C и скорость ветра  $1$  м/с, а также при температуре  $-15,5$  °C и ветре  $0$  м/с. В этих случаях будет одинаковый эффект охлаждения.

Показатель тепловой нагрузки, предложенный К. Я. Кондратьевым:

$$N = \frac{0,16(T_k - T)}{0,175 + \frac{K}{5,7} + \frac{\alpha}{a}}$$

$T_k$  — температура поверхности кожи;  $T$  — температура воздуха;  $K$  — тепловое сопротивление одежды;  $\alpha$  — ветровой коэффициент.

Для определения степени раздражающего действия погодных факторов на человека В. Г. Бокша рекомендует использовать индекс патогенности метеорологической ситуации  $I$ .

$$I = i_t + i_h + i_v + i_n + i_{\Delta p} + i_{\Delta t}, \quad (1.1)$$

$$i_h = 10 \frac{h - 70}{20},$$

$$i_v = 0,2v^2,$$

$$i_n = 0,06n^2, \quad n = 10 - \frac{10S_\phi}{S_m},$$

$$i_{\Delta p} = 0,06(\Delta p)^2,$$

$$i_{\Delta t} = 0,3(\Delta t)^2,$$

$$i_t = 0,02(18 - t)^2 \quad \text{при } t \leq 18^\circ\text{C},$$

$$i_t = 0,2(t - 18)^2 \quad \text{при } t > 18^\circ\text{C}.$$

Здесь  $i_t$  — индекс патогенности температуры;  $t$  — среднесуточная температура,  $^\circ\text{C}$ ;  $i_{\Delta t}$  — индекс патогенности межсуточного изменения температуры  $\Delta t$ ,  $^\circ\text{C}/\text{сут}$ ;  $i_h$  — индекс патогенности влажности,  $h$  — среднесуточная относительная влажность,  $\%$ ;  $i_v$  — индекс патогенности ветра,  $v$  — среднесуточная скорость ветра,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $i_n$  — индекс патогенности облачности,  $n$  — облачность по гелиографу;  $S_m$  — максимально возможная продолжительность солнечного сияния;  $S_\phi$  — фактическая продолжительность солнечного сияния;  $i_{\Delta p}$  — индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления  $\Delta p$ ,  $\text{гПа}/\text{сут}$ .

В зависимости от величины  $I$  оцениваются погодные условия:  $I = 0-9$  — оптимальные,  $I = 10-24$  — раздражающие,  $I > 24$  — острые.

Оптимальные значения метеорологических величин, при которых возникает минимум метеопатических реакций следующие: температура воздуха  $18^\circ\text{C}$ , относительная влажность  $50\%$ , скорость ветра  $0 \text{ м}/\text{с}$ , облачность  $0$  баллов, межсуточное изменение температуры и давления равны нулю.

Суммарный индекс патогенности  $I$  указывает не на характер изменения погоды, а лишь на степень ее раздражающего воздействия. Сравнивая значения индексов  $I$  в день появления реакции

и в предшествующие и последующие дни, В. Г. Бокша установил, что:  $i_h$  растет в день появления реакции и последующие,  $i_n$ ,  $i_{\Delta p}$  — в день появления реакции; рост  $i_v$  отмечается в дни, следующие за реакцией; рост  $i_{\Delta t}$  — накануне и в день появления реакции.

Эти данные уточняют методику использования  $I$  для характеристики погодных условий.

Исследования, проведенные в СНГ и за рубежом, установили, что на организм больного человека существенно влияет не обычный ход метеорологических элементов, а частые, непериодические, контрастные изменения погоды в целом, хотя отдельные метеорологические величины в ряде случаев могут иметь наибольшую изменчивость. Организм человека находится в состоянии равновесия с окружающей средой. Громадный диапазон физиологических механизмов уравнивания позволяет большинству людей приспособляться без заметных расстройств к любой погоде, связанной с ее динамикой в одном пункте или с переездом из одного в другой с иными климатическими условиями. При этом реакция организма проявляется в физиологических сдвигах, в обмене веществ, в гемодинамике и главным образом в вегетативной сфере. Эти реакции у здоровых людей протекают в пределах индивидуального диапазона адаптации. Степень выраженности патологических реакций зависит от индивидуальных особенностей состояния организма человека и от изменения погоды. При этом, чем более резкие и частые изменения погоды, тем чаще появляются патологические реакции в организме человека.

Отсюда возникает задача — найти комплексный метеорологический показатель, наилучшим образом отражающий возможность появления патологических реакций в организме человека. Сложность решения задачи связана с тем, что патологические реакции у метеочувствительных больных людей часто не только возникают в связи с изменениями погоды, но и зависят от многих других факторов. Поэтому при разработке показателя, характеризующего изменчивость погоды, необходимо искать другие объяснения и учитывать кроме воздействия погоды на больного и другие факторы внешней среды и самого организма.

Для оценки изменчивости погоды В. И. Русановым предложен индекс изменчивости погоды. Принято, что в сам индекс не должен входить показатель, характеризующий состояние больного, но должен четко коррелировать с частотой патологических реакций, наблюдаемых у больных в определенный период.

Сделав эти предположения, индекс изменчивости погоды можно описать формулой

$$K = \frac{M_k}{N} \cdot 100, \quad (1.2)$$

где  $K$  — индекс изменчивости погоды, %;  $M_k$  — число контрастных смен периодов с однотипной погодой;  $N$  — число дней в рассмат-

риваемом периоде. Ежедневная смена контрастной погоды принята за 100-процентную изменчивость. Что же принять за критерии, характеризующие контрастную смену периодов? Для ответа на этот вопрос были составлены биоклиматограммы, на которых по оси абсцисс откладывались дни месяца, а по оси ординат синхронно для каждых суток наносились метеорологические величины, характеризующие погоду данных суток, и сведения о частоте колебаний артериального кровяного давления у людей, больных гипертонией.

Биоклиматограммы были составлены по данным метеорологических наблюдений на метеорологической станции Томск и наблюдений за людьми, больными гипертонией, которые были проведены в клинике Томского НИИ курортологии и физиотерапии врачами Н. П. Азровой и И. Г. Глушковой.

Анализ биоклиматограмм показал, что при устойчивой погоде в 257 случаях колебания артериального кровяного давления у больных были до 10 мм рт. ст., а при изменчивой погоде — в 226 случаях они были от 10 до 25, в 34 — от 30 до 40 и в 13 случаях — от 45 до 60 мм рт. ст. При этом резкие колебания артериального давления (10 мм ртутного столба и более) наблюдались как в день смены, так и за 1—2 дня до и после смены погоды. Было отмечено, что в зависимости от стадии и фазы гипертонической болезни больные реагировали на изменение погоды по-разному. Анализ биоклиматограмм показал также, что контрастные смены периодов с однотипной погодой характеризуются следующими критериями:

1) сменой периодов с ясной (нижняя облачность в полдень до 5 баллов) или облачной (нижняя облачность в полдень больше 5 баллов) погодой на погоду с осадками  $\geq 1$  мм, выпавшими за сутки. При этом, если внутри периода с осадками, продолжающиеся 1, 2 и более дней подряд, во второй или в последующие дни суточное количество осадков оказывалось меньше 1 мм, то такие дни также относились к периоду с осадками;

2) сменой периодов с ясной на облачную или облачной на ясную погоду при межсуточном изменении средней суточной температуры воздуха больше  $2^{\circ}\text{C}$ ;

3) сменой периодов с любой погодой, в том числе и внутри периодов с осадками, при межсуточной изменчивости средней суточной температуры воздуха больше  $6^{\circ}\text{C}$ .

Эти критерии и были приняты для оценки контрастной смены периодов с однотипной погодой в любой сезон года.

Теперь следует доказать, что эта гипотеза верна, то есть, индекс изменчивости погоды действительно отражает частоту появления патологических реакций у больных.

Для этого были составлены статистические ряды, включающие индексы изменчивости погоды, рассчитанные по формуле за декаду, и синхронные с ними частоты за декаду резких (более 7 мм рт. ст.) колебаний артериального давления у больных, выра-

женные в процентах от числа наблюдений в данном периоде. При этом статистические ряды составлялись для каждой группы больных в зависимости от стадии и фазы гипертонической болезни. Затем рассчитывались коэффициенты корреляции между ними (табл. 1.2). Анализ табл. 1.2 показал, что между индексами изменчивости погоды и частотой резких колебаний артериального давления у людей, больных гипертонией, существует тесная статистически достоверная прямая связь.

Таблица 1.2

Коэффициент корреляции между индексом изменчивости погоды и частотой резких (10 мм рт. ст. и более) колебаний артериального кровяного давления у людей, больных гипертонией

Гипертоническая болезнь		Количество больных	n*	Коэффициент корреляции и средняя вероятная ошибка
стадия	фаза			
I		10	10	0,815 ± 0,061
II	A	15	15	0,692 ± 0,082
	B	24	24	0,700 ± 0,061

\* n — количество статистических дат.

Для проверки гипотезы также были вычислены коэффициенты корреляции между индексами изменчивости погоды и частотой появления сердечно-сосудистых катастроф в Свердловске (табл. 1.3), подтверждающие наличие тесной связи между этими показателями. Кроме того, такие же результаты показали исследования, выполненные другими авторами. Следовательно, индекс изменчивости погоды отражает частоту появления патологических реакций у больных. При этом частота появления последних прямо пропорциональна величине индекса изменчивости погоды.

Таблица 1.3

Коэффициент корреляции между индексом изменчивости погоды и частотой сердечно-сосудистых катастроф в Свердловске

Сердечно-сосудистые катастрофы	Количество больных	n	Коэффициент корреляции и средняя вероятная ошибка
Инфаркты миокарда	220	12	0,689 ± 0,153
Инсульты и тромбозы мозга	305	12	0,760 ± 0,127
Гипертонические кризы	43	12	0,721 ± 0,145

Таким образом, на основе гипотезы о влиянии изменчивости погоды на больных людей и эмпирических данных получен комплексный метеорологический показатель — индекс изменчивости погоды.

Индекс позволяет оценить изменчивость погоды в любом районе Земли и ее влияние на больных с тем или иным заболеванием, но для этого необходимо установить связь между индексом изменчивости погоды и частотой появления патологических реакций у людей с данным заболеванием.

Получение эмпирических формул аналитическим путем покажем на примере расчета уравнения регрессии, отражающего связь между частотой случаев инфарктов миокарда в Свердловске и индексом изменчивости погоды. Данные для расчета приведены в табл. 1.4.

Запишем в общем виде уравнение прямолинейной регрессии, характеризующее зависимость частоты случаев инфарктов миокарда от величины индекса изменчивости погоды

$$I - \bar{I} = r \frac{\sigma_I}{\sigma_K} (K - \bar{K}), \quad (1.3)$$

где  $I$  — частота случаев инфарктов миокарда, в % от числа случаев за год;  $\bar{I}$  — средняя частота случаев инфарктов миокарда, в % за год, равная в нашем примере 8 %;  $K$  — индекс изменчивости погоды, %;  $\bar{K}$  — средний годовой индекс изменчивости погоды, равный в нашем случае 43 %;  $\sigma_K$  и  $\sigma_I$  — средние квадратические отклонения индекса изменчивости погоды и частоты случаев инфарктов миокарда, рассчитанные по данным табл. 1.4 и соответственно равные 9,38 и 2,95;  $r$  — коэффициент корреляции между индексом изменчивости погоды и частотой случаев инфарктов миокарда, равный 0,689.

Таблица 1.4

Индексы изменчивости погоды ( $K$ ) и частота случаев инфарктов миокарда в процентах ( $I$ ) от общего числа (220) случаев в Свердловске

Показатель	М Е С Я Ц												Средний за год
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
$K$	52	39	58	40	52	40	29	25	50	40	43	45	43
$I$	12	8	10	6	13	9	6	3	5	8	10	10	8

Тогда, подставив эти величины в уравнение (1.3) и произведя вычисления, получим уравнение регрессии

$$I = 0,22K - 1,29. \quad (1.4)$$

Средняя ошибка уравнения регрессии  $I$  по  $K$  определяется по формуле

$$S_n = \pm \sigma_K \sqrt{1 - r^2},$$

и в нашем примере она равна  $\pm 2,1$  %.

Уравнение (1.4) позволяет определить частоту случаев инфарктов миокарда (в %) для любого месяца года или любого сред-

него многолетнего месяца, если известен соответствующий индекс изменчивости погоды. Однако следует заметить, что уравнение (1.4) применимо лишь для того пункта, по данным наблюдений которого оно составлено.

Таким образом, существует достаточное разнообразие показателей, характеризующих влияние метеорологических условий на состояние человека. Однако их использование требует дополнительных исследований в каждом регионе.

### 1.3. Тепловой баланс человека

Одним из важных факторов окружающей среды, как уже отмечалось выше, является тепловое воздействие на биологический организм. Поэтому в биометеорологии особенно большое внимание уделяется исследованию влияния теплового режима атмосферы на систему терморегуляции человека.

Условие теплового равновесия организма с окружающей средой наиболее полно описывает уравнение теплового баланса. Тепловое равновесие на оптимальном термическом уровне соответствует условиям теплового комфорта. Решение уравнения теплового баланса позволяет определить критерии, количественно характеризующие степень отклонения организма от теплового оптимума. Рассмотрим более подробно составляющие этого уравнения.

Уравнение теплового баланса человека для условия теплового равновесия можно представить в виде:

$$FLE = FR_k + FR_d + FP + P_d - LE_d + M, \quad (1.5)$$

где  $F$  — эффективная поверхность тела,  $m^2$ ;  $R_k$  и  $R_d$  — коротковолновый и длинноволновый радиационный баланс тела,  $Вт/m^2$ ;  $P$  — теплообмен между телом и окружающим воздухом путем конвекции,  $Вт/m^2$ ;  $P_d$  — теплообмен, совершающийся в легких при дыхании,  $Вт$ ;  $LE_d$  — затраты тепла на испарение с поверхности дыхательных путей при дыхании,  $Вт$ ;  $M$  — теплопродукция организма,  $Вт$ ;  $LE$  — затраты тепла на испарение пота с поверхности тела,  $Вт/m^2$ ;  $L$  — теплота испарения,  $Дж/г$ ;  $E$  — количество испаряемого пота,  $г/ч$ .

Из (1.5) можно найти величину  $FLE$ , характеризующую в условиях перегревания тот избыток тепла (тепловая нагрузка), который выводится из организма путем испарения пота. При теплоотдаче величина  $FLE$  характеризует то количество тепла, которое должно быть дополнительно выделено в организме или которое надо сохранить, используя для теплоизоляции соответствующую одежду.

Единица теплоизоляции одежды (кло) есть безразмерное выражение теплового сопротивления одетого тела. Теплоизоляция, равная 1 кло, — это величина теплового сопротивления, достаточного для комфортного состояния отдыхающего человека при образовании тепла  $M = 58 \text{ Вт}/m^2$ , температуре воздуха  $21^\circ\text{C}$  и скорости воздуха  $v = 0,1 \text{ м}/с$ .

Содержание формулы, используемой при расчете величины  $FR_{к}$ , зависит от того, какую геометрическую форму имеет модель тела человека. Б. А. Айзенштат предлагает следующие формулы:

— для модели в форме вертикального цилиндра, высота которого равна шести диаметрам:

$$FR_{кц} = 0,5F(1 - A_{к}) [S(0,6 \cos h + 0,08 \sin h) + D + r];$$

— для модели в форме шара:

$$FR_{кш} = 0,5F(1 - A_{к})(S/2 + D + r);$$

— для обеих моделей:

$$FR_{д} = 0,58\delta \cdot 10^8 F \left[ \left( \frac{T_{з}}{100} \right)^4 + \left( \frac{T_{а}}{100} \right)^4 - 2 \left( \frac{T_{к}}{100} \right)^4 \right]$$

— или в упрощенном виде:

$$FR_{д} = 0,5F\beta(t_{п} + t_{а} + 2t_{к}),$$

где  $S$  — поток прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;  $h$  — высота солнца над горизонтом;  $V$  — поток рассеянной солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>;  $r$  — поток отраженной солнечной радиации от поверхности Земли, Вт/м<sup>2</sup>;  $t_{п}$  — температура поверхности почвы, °С;  $t_{а}$  — радиационная температура, °С;  $t_{к}$  — средняя температура кожи ( $t_{к} \approx 33$  °С);  $T_{п}$ ,  $T_{а}$ ,  $T_{к}$  — названные выше температуры в Кельвинах;  $A_{к}$  — альbedo кожи;  $\beta = 4\delta\sigma T^3$  — коэффициент, характеризующий теплообмен излучением между телом и окружающей средой, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\delta$  — излучательная способность элементов внешней среды и кожи ( $\delta \approx 0,95$ );  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Величина  $FP$  (Вт) вычисляется по формуле

$$FP = Fa(t - t_{к})\sqrt{p/p_0},$$

где  $t$  — температура воздуха, °С;  $t_{к}$  — средняя температура кожи, °С;  $\alpha$  — коэффициент теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $p$  — давление атмосферы, гПа;  $p_0$  — давление атмосферы на уровне моря, гПа.

Величины  $P_{д}$  и  $LE_{д}$  выражаются формулами

$$P_{д} = 0,00002\omega(bt - t_{д}),$$

$$LE_{д} = 0,0287\omega(e_{д} - e),$$

где  $\omega$  — минутный объем дыхания, л/мин (при покое  $\omega$  составляет 6—8 л/мин);  $t_{д}$  — температура выдыхаемого воздуха ( $t_{д} \approx 35$  °С);  $e$  — парциальное давление водяного пара окружающего воздуха, гПа;  $e_{д}$  — парциальное давление водяного пара выдыхаемого воздуха;  $e_{д} = 56,3$  гПа.

Б. А. Айзенштат разработал метод определения тепловой нагрузки на человека, находящегося в горизонтальном положении, и метод оценки радиационно-теплого влияния отдельных элементов городской среды на человека в зависимости от его удаления от объекта. Решены задачи для различных видов застройки, типов

озеленения, водных объектов и некоторых их комплексов, характеризующих отдельные городские ландшафты. Во всех задачах применен метод теплового баланса с учетом угловых коэффициентов, характеризующих радиационное взаимодействие между городскими объектами и человеком.

С помощью уравнения теплового баланса человека можно построить карты пространственного распределения показателя тепловой нагрузки  $FE$  и показателя напряженности механизмов терморегуляции  $G$ . Величина  $G$  рассчитывается по формуле

$$G = \frac{FE}{FE_{\max}} = \frac{FE}{F\alpha_e(e_{\max} - e)},$$

где  $\alpha_e$  — коэффициент теплоотдачи путем испарения, Вт/(м·гПа);  $e_{\max}$  — максимальное парциальное давление водяного пара при температуре кожи 33 °С, гПа ( $e_{\max} = 50,4$  гПа);  $e$  — парциальное давление водяного пара, гПа.

Оценка теплового состояния человека показала, что при значении показателя  $G$ , равном 50—60 %, отмечается максимальная напряженность механизмов терморегуляции, а при близком к 100 % возникает угроза перегревания, так как при этом резервные возможности системы терморегуляции за счет испарения пота ( $FE_{\max} - FE$ ) весьма ограничены.

Уравнением теплового баланса, написанным в общем виде (1.5), удобно пользоваться для расчета показателей теплового состояния человека или для фоновых оценок биоклимата населенных пунктов, а также для получения характеристик их географического распределения. Однако уравнение (1.5) применимо лишь к условию, когда человек находится на совершенно открытой местности. В действительности же человек всегда окружен различными объектами, которые сами являются источниками диффузных потоков радиации. Так, например, в условиях города человек находится в пространственно неоднородном поле, зависящем от физических свойств городских объектов, их геометрических параметров, взаимного расположения и от условий инсоляции горизонтальных и различно ориентированных вертикальных поверхностей. Поэтому для правильной биотермической оценки городской среды необходимо учитывать все локальные изменения составляющих теплового баланса человека.

Б.А. Айзенштат разработал аналитический метод оценки радиационно-теплового влияния отдельных элементов городской среды на человека при различном его удалении от объекта. Уравнение теплового баланса автор решал с учетом вида застройки, типа озеленения, водных объектов.

Приведем результаты расчетов влагопотерь в зависимости от влияния на человека отдельных элементов городской среды:

1) в тени отдельного дерева влагопотери уменьшаются на 500—550 г/ч;

2) в тени сплошного ряда деревьев — снижаются на 600—650 г/ч;

3) у стены высотой 12 м, освещенной солнцем, — увеличиваются на 200 г/ч;

4) около водоема, у самой воды, — уменьшаются на 200—250 г/ч; с удалением от береговой линии радиационное влияние водоема быстро уменьшается и на расстоянии 5—8 м становится неощутимым.

Экстремальные климатические условия особенно ярко характеризуют функции терморегуляции. К таким условиям относится жизнь человека в северных широтах, в пустынях, во влажных тропиках. В пустынях тело человека получает большое количество экзогенного тепла, которое при температуре воздуха выше 33—35°C переходит из организма в окружающую среду лишь путем испарения пота. В поступление тепла к телу наибольший вклад вносят потоки радиации, которые в дневные часы в 5—7 раз больше потоков тепла за счет конвекции. В жаркие, особенно в облачные дни большую роль в тепловом балансе играет излучение атмосферы, которое может составлять примерно половину суммарной радиации (около 420 Вт/м<sup>2</sup>).

В экстремальных условиях окружающей среды наиболее резко проявляется гомеостаз — совокупность сложных приспособительных реакций организма, направленных на устранение или максимальное ограничение воздействий различных факторов внешней среды. Сложную функцию гомеостаза выполняет гомойотермия (постоянство температуры тела). Ее первостепенная роль обусловлена тем, что она помимо автономной регуляции поддерживается еще и сознанием.

Ряд авторов (А. Аткинз, К. Уиндхем, Дж. Столвийк, Дж. Харви, В. Вайс и др.) решают уравнение теплового баланса человека, разделяя его тело на сегменты и слои, что позволяет рассчитать среднюю температуру внутренних органов (по терминологии автора — ядра), кожи и тела. Средняя температура кожи ( $T_k$ ) рассчитывается по значениям, полученным с помощью термодатчиков, расположенных на разных участках кожи. Средняя температура тела ( $T_t$ ) определяется по средневзвешенному соотношению между температурой внутренних органов и средней температурой кожи. Расчеты температур тела человека используются в решении уравнения теплового баланса и определения тепловой нагрузки.

В основе теплового баланса человека лежит сохранение постоянной температуры внутри и переменной температуры в теле в результате теплообмена между поверхностью кожи и окружающей средой.

Контроль теплового баланса человека определяется ощущением теплового комфорта. Любое отклонение от теплового баланса приводит к дискомфорту, вызванному похолоданием или потеплением. Термин «комфорт» появился в Англии в конце XVIII в. Его использовали для описания социально-экологических условий бур-

жуазии. Теперь он применяется при общей характеристике здоровья и как синоним благополучия. Дискомфорт ощущается при отклонении средней температуры тела от  $36,3^{\circ}\text{C}$ . Диапазон средних температур комфорта для кожи изменяется от  $31,1$  до  $33,8^{\circ}\text{C}$ . Любое изменение температуры в направлении восстановления средней температуры тела быстро приводит к восстановлению ощущения комфорта, хотя уровень температуры тела может быть все еще за пределом диапазона комфорта.

Следует отметить, что климатологические данные не отражают непрерывной последовательности тепловых переходов, действующих на человека. При климатологической оценке колебания метеорологических факторов в пределах одного климата тем больше занижены, чем больше размер выборки. Динамика изменения погоды лучше может быть учтена путем расчета отклонений от средних или оценкой средних значений выборки.

Во всех климатах требуется приспособление к неустойчивому тепловому режиму. Кратковременные изменения неустойчивого режима в тропическом климате—это изменение от тени к солнцу и от дня к ночи. Кратко-, средне- и долговременные неустойчивые изменения в умеренном климате—это погодные и сезонные изменения.

Однако даже климатологические оценки позволяют оценить тепловые нагрузки в различных регионах. Так, Б. А. Айзенштат и его сотрудники рассчитали и построили карты пространственного распределения биоклиматических параметров по территории Африки и некоторых районов Средней Азии.

Анализ компонентов уравнения теплового баланса человека показывает, что в солнечный летний день тепло, получаемое от солнечной радиации обнаженным находящимся в покое человеком, равно или превышает в несколько раз его собственную теплопродукцию. Температура воздуха, влажность и ветер в средних и высоких широтах незначительно изменяют теплоотдачу организма человека путем радиационного излучения, конвекции (турбулентного теплообмена) и затрат тепла на испарение влаги с поверхности тела и легких. При выполнении физической работы важную роль источника тепла играет теплопродукция человека. В зависимости от интенсивности физической нагрузки она может изменяться от  $0,07$  (в покое) до  $0,42$  кал/см<sup>2</sup> (при работе, требующей большого напряжения).

В табл. 1.5 приведены значения теплопродукции человека при работе различной интенсивности по данным Н. В. Витте.

Изменение теплопродукции приводит и к изменению теплоощущения (табл. 1.6).

Изменение величины любого компонента меняет тепловой баланс человека, а следовательно, и его тепловое состояние, указывая на отклонение теплового баланса человека от оптимального: чем больше будут эти отклонения, тем напряженнее протекают физиологические процессы, участвующие в терморегуляции, тем большие требования к организму человека предъявляет погода.

Таблица 1.5

## Теплопродукция человека при работе различной интенсивности

Физическое напряжение	Средняя теплопродукция, кВт/м <sup>2</sup>
Покой	0,05
Легкое	0,10
Среднее	0,15
Тяжелое	0,20
Очень тяжелое	0,29

Таблица 1.6

## Теплоощущения человека при различной тепловой нагрузке (по Н. В. Витте)

Теплоощущения	Тепловая нагрузка, кВт/м <sup>2</sup>
Жарко	0,07
Тепло	0,07...—0,03
Комфортно	—0,04...—0,20
Прохладно	—0,21...—0,45
Холодно	—0,46...—0,69
Резко холодно	—0,69

Для упрощения оценки теплового баланса можно ввести промежуточный комплексный метеорологический показатель — эквивалентно-эффективную температуру (ЭЭТ), — отражающий тепловое состояние человека в зависимости от температуры, влажности и движения воздуха. Для этого была найдена корреляционная связь между величиной теплового баланса человека, находящегося в покое, при условии, что солнечная радиация равна нулю, и ЭЭТ, рассчитанной по основной шкале.

Коэффициент корреляции оказался равным  $0,953 + 0,017$ . Это позволило связать между интенсивностью теплового баланса человека и ЭЭТ описать формулой

$$Q = 0,04 \text{ ЭЭТ} - 0,98. \quad (1.6)$$

Затем в формулу (1.6) были введены показатели, учитывающие влияние на тепловой баланс человека солнечной радиации и тепловой энергии, образующейся в организме человека во время его работы. После этих дополнений формулу можно записать в виде

$$Q = \left( S \frac{\text{ctg } h}{\pi} + \frac{1}{2} q \right) (1 - \alpha) + M + 0,04 \text{ ЭЭТ} - 0,98. \quad (1.7)$$

где  $M$  — теплопродукция, образующаяся в организме человека в результате выполняемой им физической работы. Остальные обозначения те же, что и в приведенных выше формулах.

Для облегчения расчета интенсивности теплового баланса человека по формуле (1.7) В. И. Русановым составлены таблицы.

Для оценки применимости формулы (1.7) на практике были проведены наблюдения за температурой, влажностью воздуха (по аспирационному психрометру) и движением воздуха (по карто-термометру) в спортивном зале. Интенсивность солнечной радиации не измерялась, так как в помещении эта величина близка к нулю. Для изучения теплообмена человека с окружающей средой кроме метеорологических измерений проводилась регистрация температуры кожной поверхности в пяти точках (лоб, грудь, тыл кисти, бедро, голень) по схеме Н. К. Витте и затем рассчитывалась средняя взвешенная температура поверхности тела. Последняя объективно отражает тепловое состояние человека в зависимости от метеорологических условий. Кроме того, у испытуемых измерялось артериальное давление, подсчитывался пульс и число дыханий в минуту, производился опрос теплоощущения. Исследования велись в состоянии покоя и при выполнении работ легкой и средней тяжести. Всего проведено 148 серий измерений на 74 испытуемых.

По данным метеорологических наблюдений рассчитывалась интенсивность теплового баланса человека для моментов времени, синхронных с наблюдениями за испытуемыми.

Сопоставление рассчитанных величин теплового баланса человека с измеренными и рассчитанными средними взвешенными температурами поверхности тела человека указывают на тесную связь между сравниваемыми величинами. Наличие тесной корреляционной связи между интенсивностью теплового баланса и средней взвешенной температурой поверхности тела подтвердило применимость формулы (1.6) для оценки теплового состояния человека.

Аналогичная проверка формулы была произведена А. Д. Олисовой с учетом влияния на тепловое состояние человека не только температуры, влажности и движения воздуха, но и интенсивности солнечной радиации на открытом воздухе. Эта проверка еще раз подтвердила применимость формулы для оценки теплового состояния человека.

Формула позволяет также оценить теплоизоляцию одежды, необходимую для поддержания теплового комфорта. С этой целью при данных метеорологических условиях была найдена корреляционная связь теплоизоляции одежды, рассчитанной по уравнению теплового баланса (1.5), с интенсивностью теплового баланса человека, определенной по формуле (1.7). Коэффициент корреляции

оказался равным  $-0,953 \pm 0,019$ , что позволило составить уравнение регрессии

$$C = -3,7Q - 0,15, \quad (1.8)$$

где  $C$  — теплоизоляция одежды, обеспечивающая тепловой комфорт в единицах *к.ло.*

Зная величину теплоизоляции одежды, обеспечивающую тепловой комфорт человеку при данной погоде, можно рекомендовать ту или иную одежду, так как теплоизоляция различных ее видов известна. При этом следует учитывать, что по формуле (1.8) определяется теплоизоляция комплекта одежды, обеспечивающего тепловой комфорт. Последняя определяется как сумма тепловых сопротивлений отдельных видов одежды. Например, если комплект состоит из нательного белья ( $0,5$  *к.ло.*), рубахи и брюк ( $0,5$  *к.ло.*), то суммарное тепловое сопротивление комплекта будет равно  $1,0$  *к.ло.*

Таким образом, используя формулу (1.7), можно оценить тепловое состояние не защищенного одеждой человека, а при помощи уравнения (1.8) рассчитать теплоизоляцию одежды, обеспечивающей тепловой комфорт при различной погоде. Оценка теплоизоляции одежды, обеспечивающей тепловой комфорт, имеет большое значение, так как обеспечение одеждой, соответствующей погоде, является важным фактором нормализации терморегуляции человека, способствующей сохранению здоровья.

Рассмотренная методика получения комплексного метеорологического показателя, характеризующего тепловое состояние человека, иллюстрирует использование сочетания теоретического и эмпирического подходов получения метеорологических показателей однозначного эффекта. Этот пример является иллюстрацией экспериментальной проверки, построенной модели теплового состояния человека.

#### 1.4. Современные экологические проблемы атмосферы

Современную экологическую проблему атмосферы определяют три аспекта: 1) качество воздуха с точки зрения дыхания; 2) состояние атмосферы с точки зрения климатических и погодных условий; 3) влияние изменений состояния и состава атмосферы на другие компоненты окружающей среды, производственную деятельность и здоровье человека. В этой связи в настоящее время решается несколько фундаментальных вопросов: во-первых, изменится ли в современную эпоху состояние атмосферы, т. е. климат Земли или ее отдельных регионов; во-вторых, оказывает ли деятельность человека влияние на изменение состава атмосферы если да, то в каких масштабах и в каком направлении. Поскольку физическое состояние атмосферы и процессы атмосферной циркуляции тесно связаны с ее составом, то практически вопрос стои-

о степени влияния химического и теплового загрязнения атмосферы в результате человеческой деятельности на глобальные и локальные атмосферные процессы.

Атмосфера обладает важными свойствами, с которыми тесно связано ее качество как компонента окружающей среды — экосферы:

1) различная проницаемость для разных участков спектра солнечной радиации и противоизлучения Земли;

2) большая скорость диффузии составляющих ее газовых компонентов;

3) постоянная циркуляция в глобальном, региональном и локальном масштабах, ведущая к атмосферному переносу веществ и другим атмосферным процессам;

4) исключительная динамичность состава и состояния.

Атмосфера, безусловно, изменяется во времени. В частности, ее современный газовый состав является следствием общепланетарной геологической истории: дегазации Земли в процессе первичной и вторичной дифференциации вещества, с одной стороны, и развития биосферы и гидросферы — с другой. Современный газовый баланс атмосферы поддерживается двумя крупными глобальными системами: океаном и живыми организмами. Согласно А. М. Алпатьеву, весь кислород атмосферы обменивается через биосферу за 5 тыс. лет, а углекислый газ — за 11 лет.

Исследования климатологов мира состояния современного климата Земли показывают, что в далекой перспективе необходимо ожидать существенное изменение климатического режима, хотя невероятно, что какой бы то ни было переход к этому изменению произойдет в короткий промежуток времени, поскольку он будет завуалирован крупными краткосрочными климатическими колебаниями.

Краткосрочные природные или, возможно, вызванные человеком климатические изменения должны привлекать наибольшее внимание, поскольку именно они оказывают сильное влияние на биосферу.

Необходимо научиться более точно предсказывать природные изменения климата, а также влияние человеческой деятельности на глобальный климат, чтобы принимать соответствующие меры для предотвращения возможных последствий.

Участники всемирных конференций по климату приходят к единому мнению, что планета вступила в период менее благоприятного для человека и менее устойчивого климата. Всюду отмечаются усилившиеся климатические контрасты и резкие колебания погодных условий. Отмечено учащение засух, обильных ливней и снегопадов, резкие смены потеплений и похолоданий. И хотя средние климатические параметры как на планете в целом, так и в отдельных точках лишь колеблются в ту или иную сторону вокруг средних многолетних значений, не показывая каких-либо направлен-

ных изменений климата, изменчивость климата в пространстве и времени существенно возросла.

Всемирная метеорологическая организация считает, что возможные изменения климата в результате человеческой деятельности заслуживают серьезного беспокойства. Сжигание топлива увеличивает количество диоксида углерода в атмосфере, а это может привести к длительному потеплению и к крупномасштабным изменениям в распределении осадков. Эмиссия химических веществ и увеличение содержания пыли в атмосфере в результате человеческой деятельности, прямая тепловая эмиссия в городских и промышленных районах уже повлияли на климат отдельных регионов и могут привести к более серьезным последствиям. Необходимо дать точную оценку этих возможных изменений. К такому же выводу с точки зрения воздействия атмосферы на человека приходит и Всемирная организация здравоохранения. В настоящее время организовано через ВМО, ВОЗ, ЮНЕП международное сотрудничество по вопросам исследования атмосферного озона, влияющего на человека как газ и как фактор, изменяющий спектральный состав солнечной радиации, дошедшей до Земли.

Международное сотрудничество организовано и по решению проблем, связанных с антропогенным загрязнением атмосферы. Среди антропогенных источников загрязнения атмосферы на первом месте стоит транспорт. Каждый автомобиль при среднем годовом пробеге 15 тыс. км выбрасывает в атмосферу 3250 кг углекислого газа, около 39 кг углеводородов, 28 кг оксидов азота и много других соединений.

В связи с загрязнением атмосферы возникла проблема кислотных дождей. В воздухе образуются оксиды серы, дающие серную кислоту, соляная и азотная кислоты от выбрасываемых в атмосферу хлора и оксида азота.

Проблема кислотных дождей многоплановая: влияние на поверхность воды и почвенный покров, на наземные и водные организмы; усиление коррозии металлических конструкций. В почвах увеличивается подвижность алюминия, меди, кадмия, свинца. Избыток алюминия нарушает круговорот кальция и способствует появлению новой «алюминиевой болезни» окружающей среды, в том числе и человека.

Наряду с глобальными проблемами атмосферы, быстро растут и локальные, особенно в крупных городах и вокруг промышленных и топливно-энергетических предприятий, где воздух становится опасным для здоровья человека.

Общее количество загрязнителей, поступающих в атмосферу в результате человеческой деятельности и от естественных источников, мало по сравнению со всей массой атмосферы:  $2 \cdot 10^9$  т пыли,  $6 \cdot 10^9$  т вредных газов,  $14 \cdot 10^9$  т углекислого газа при общей массе атмосферы около  $5 \cdot 10^5$  т. Кроме того, атмосфера обладает способностью самоочищения вследствие газообмена с наземной биотой, почвенным покровом и Мировым океаном, часть

вещества постоянно удаляется с атмосферными осадками. Необходимо человеку не сломать эти природные механизмы саморегуляции, не превзойти природные пороговые концентрации. Очень важны проблемы, связанные с локальным загрязнением приземного слоя воздуха, прежде всего в городах.

Все изменения в состоянии атмосферы вызывают соответствующие реакции в организме человека, что приводит к необходимости решения новых проблем биометеорологии.

## 2. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЧЕЛОВЕКА

### 2.1. Некоторые вопросы ионизации воздуха

Наблюдениями установлена тесная зависимость между электрическим состоянием внешнего воздуха, числом и полярностью естественных аэроионов и состоянием здоровья человека и животных.

Первые такие исследования были проведены А. Л. Чижевским, выдающимся ученым, о котором в меморандуме, принятом на I Международном конгрессе по биологической физике и биологической космологии, говорилось: «Гениальные по новизне идей, по ширине охвата, по смелости синтеза и глубине анализа труды поставили профессора Чижевского во главе биофизиков мира и сделали его истинным Гражданином мира, ибо труды его — достояние Человечества». Этот конгресс отмечал, что многогранная деятельность ученого олицетворяет «для нас, живущих в XX в., монументальную личность да Винчи».

А. Л. Чижевский является одним из основателей гелио- и космобиологии, космической эпидемиологии, объясняющих вопросы зависимости биосферы Земли от воздействия Солнца и Космоса. Установление им влияния космических факторов на земные процессы поставило его в один ряд с пионерами космического естествознания: А. Гумбольдтом, К. Э. Циолковским, В. И. Вернадским.

Выдающимся открытием А. Л. Чижевского явилось установление системной организации движущейся крови, наличие в ней радиально-кольцевых структур, обусловленных электрическим взаимодействием ее элементов. Практическое значение имеют исследования влияния атмосферного электричества на живые организмы. Он впервые в мировой науке установил роль отрицательно заряженных ионов кислорода воздуха в обеспечении жизненных процессов и вслед за этим обосновал и предложил лечебные и профилактические мероприятия с использованием ионизации воздуха. А. Л. Чижевский показал, что в профильтрованном воздухе при отсутствии аэроионов организмы вскоре заболевают и гибнут.

Одно из направлений его исследовательских работ — зависимость жизни общества от периодичности астрофизических и космических факторов.

Исследования А. Л. Чижевского продолжают ученые многих стран мира, хотя, к сожалению, до сих пор не получили достаточно широкого практического применения.

Рассмотрим более подробно проблемы влияния атмосферного электричества на организм человека. Исследования показали, что влияние электрического состояния атмосферы значительно не только на больных, но и на здоровых людей. Общее самочувствие, внимание, трудоспособность, функциональное состояние нервной системы, болезненные ощущения, кровяное давление, обострение многих заболеваний находятся в прямой зависимости от концентрации и полярности аэроионов.

Экспериментально установлено, что наружный воздух, проникая через форточку, окна или вентиляционные воздуховоды, теряет почти половину своих аэроионов. Оставшаяся половина аэроионов прилипает к стенкам, предметам обстановки и таким образом уничтожается. В воздухе помещений остается некоторый минимум аэроионов, который образуется под влиянием радиоактивного распада веществ стен (камни, кирпич, штукатурка и др.). Особенно быстро идет уничтожение аэроионов в воздухе помещений, если в них присутствуют люди.

Экспериментально доказано, что положительные аэроионы тормозят легочный газообмен. Эти аэроионы легко присоединяют к себе и нейтрализуют тот небольшой минимум легких отрицательных аэроионов, который образуется под влиянием радиоактивного распада строительных материалов. Аэроионы положительной полярности оказывают неблагоприятное действие на организм, особенно ослабленный болезнью.

Отрицательные аэроионы, которые являются ионами кислорода воздуха, благоприятствуют усилению жизнедеятельности организма. Воздух, искусственно насыщенный отрицательными аэрионами кислорода, в зависимости от концентрации ионов и времени воздействия, может стать благотворным фактором предупредительного и лечебного значения.

А. Л. Чижевский, предложив методы искусственной ионизации воздуха (куда относится и гидроионизация — ионизация при распылении воды), провел исследования по изучению влияния ионизации воздуха на человека. Результаты экспериментов показали, что аэроионы отрицательной полярности, примененные в терапевтических дозировках ( $10^5$ — $10^6$  аэроионов в  $1\text{ см}^3$ , ежедневно в течение 15—20 мин), способствуют излечению многих болезней (инфекционных, кожных, аллергических и т. д.). Аэроионы отрицательной полярности очищают воздух от пыли во взвешенных в нем микроорганизмах.

Атмосферный воздух, лишенный всяких аэроионов, вызывает в живых организмах через ограниченный срок времени серьезные

заболевания, происходят деструктивные изменения в жизненно важных органах и тканях.

Ионы газов воздуха, или, по терминологии А. Л. Чижевского, аэроионы, являются основным элементом атмосферного электричества. По скорости движения в электрическом поле ионы разделяют на группы: легкие (скорость движения 1—2 см/с при градиенте электрического поля 1 В/см), средние (0,01 см/с), тяжелые (0,001 см/с) и аэрозоли — сверхтяжелые аэроионы. Последние состоят из копоти, дыма, пыли, тумана, мелких дождевых капель и т. д. Эти частицы могут быть незаряженными и заряженными электричеством того или иного знака. Частица аэрозоля отрицательной полярности — это частица, поверхность которой адсорбировала электрон или электроны, и совершенно обязательно — отрицательные аэроионы. Поэтому и воздействие их на человека может отличаться от воздействия отрицательных легких аэроионов. В 1 см<sup>3</sup> воздуха при нормальных условиях содержится  $2,7 \cdot 10^{19}$  молекул, среднее число легких аэроионов в естественных условиях в том же объеме равно приблизительно 500—700 парам.

Проводимость атмосферы состоит из полярных проводимостей — положительной  $\lambda^+$  и отрицательной  $\lambda^-$ , т. е.

$$\lambda^{\pm} = n^{\pm} k^{\pm} e,$$

где  $k^+$  и  $k^-$  — подвижность положительных и отрицательных аэроионов;  $n^+$  и  $n^-$  — концентрация положительных и отрицательных аэроионов;  $e = 4,8 \cdot 10^{-8}$  абс. эл. ед.

Полная проводимость атмосферы

$$\lambda = \lambda^+ + \lambda^- = n^+ k^+ e + n^- k^- e.$$

Плотность вертикального тока атмосферы можно выразить так:

$$i = \lambda \frac{dV}{dh},$$

где  $dV/dh$  — вертикальный градиент потенциала.

Отношение концентрации положительных ионов к концентрации отрицательных у поверхности Земли равно приблизительно 1,2, т. е.  $K = n^+/n^- = 1,2$ . Величина  $K$  называется коэффициентом униполярности.

Присутствие в воздухе некоторого избытка положительных ионов объясняется тем, что почвенный воздух ионизируется под воздействием радиоактивных эманаций, выходя наружу через капилляры почвы, оставляет на них преимущественно отрицательные аэроионы. Проводимость почвенного воздуха в 30 раз больше проводимости атмосферного воздуха.

Электрическая проводимость атмосферы  $\lambda$  в среднем составляет  $1 \cdot 10^4$  электростатических единиц. Плотность вертикального тока проводимости атмосферы  $i = 29 \cdot 10^{-16}$  А/см<sup>2</sup>.

Градиент потенциала электрического поля (ЭП) Земли претерпевает резкие искажения благодаря разным неровностям на земной поверхности. Внутри зданий градиент потенциала ЭП равен нулю, ЭП внутри зданий отсутствует даже при сильных атмосферно-электрических явлениях.

Атмосферный воздух ионизирован во всей своей толще в большей или меньшей степени в зависимости от ряда метеорологических, геодезических и космических условий. Эти условия вызывают как процессы возникновения ионов, так и процессы их уничтожения. К естественным ионизаторам атмосферного воздуха относятся: эманация радиоактивных веществ в почве и в атмосфере, радиоактивные излучения почвы, воды, снега и др., фотоэлектрический эффект, ультрафиолетовый свет Солнца, корпускулярное излучение Солнца, космические лучи, электрические разряды в атмосфере (молнии, огни св. Эльма и др.), биологический эффект (дробление и распыление воды), трибоэлектрический эффект (взаимное трение песчинок, частиц пыли, снега, града), гниение органических веществ, многообразные химические реакции, протекающие на поверхности почвы, испарение воды.

Происходит постоянное взаимодействие между высокими слоями атмосферы и поверхностью Земли. Электрическое поле атмосферы подвержено многолетним периодическим, годовым, суточным и аperiodическим колебаниям, связанным с космическими, геофизическими и метеорологическими явлениями. Ввиду того, что Земля в обычных условиях по отношению к атмосфере заряжена отрицательно, то положительные ионы устремляются сверху вниз, к поверхности Земли, а отрицательные — снизу вверх, образуя так называемый вертикальный ток проводимости.

Подвижность частиц того или другого знака находится в зависимости от ряда метеорологических факторов, главным образом от величины относительной влажности воздуха, атмосферного давления, запыленности воздуха. Подвижность легких отрицательных ионов при высокой относительной влажности падает, подвижность положительных ионов остается постоянной. Максимальные показатели проводимости обычно имеют место в ясную погоду. Во время туманов при высокой влажности воздуха, понижении, прозрачности атмосферы значения проводимости падают до минимума.

Геологическое строение местности, а главное степень радиоактивности ее почв и пород, обуславливает соответственные степени ионизации воздуха. В местах, где заложены в земле такие горные породы, как граниты, сланцы, металлические руды, обычно отрицательных ионов больше, чем положительных.

Исследования Л. И. Богоявленского показали, что существует прямая корреляция между концентрацией ионов в воздухе и глубиной залегания ионизирующих пород. Так, в воздухе Сестрорецкого курорта, где глубина залегания пород доходит до нескольких метров, было обнаружено преобладание числа легких отрицательных ионов над числом положительных. Однако в горах, где плот-

ность отрицательного заряда Земли особенно велика, наблюдается резкое увеличение числа положительных ионов, т. е. увеличение коэффициента униполярности.

Многочисленные измерения степени ионизации воздуха, проведенные в разнообразных местностях, показали ее изменчивость от различных внешних причин. Благодаря дыханию почвы над свежевскопанной землей ионизация в 2 раза больше, чем на лугу. Число ионов над морями и океанами, за тысячи километров от суши, значительно меньше такового над сушей. Мощным ионизатором атмосферного воздуха является растительность.

Время года, продолжительность солнечного сияния, температура и влажность воздуха, среднесуточные изменения температуры и влажности, дожди, грозы, направление и сила ветра, высота местности над уровнем моря и многие другие факторы оказывают влияние на степень ионизации воздуха и иногда определяют ее знак. Различные местности, в зависимости от геологических, метеорологических и других факторов, вызывают различные интенсивности процесса ионообразования. Если принять интенсивность ионообразования в районе Москвы (Кучино) за 1, то в районе Пятигорска она будет равна 1,47, а Железноводска — 2,36 (В. И. Баранов).

Е. Э. Лесгафт и М. М. Потапова (ЛГУ) на основании многочисленных измерений концентрации ионов в атмосфере Санкт-Петербурга пришли к следующим выводам:

1) ионизационный режим в данном пункте можно связать со степенью загрязненности воздуха;

2) в  $1 \text{ см}^3$  чистого воздуха содержится 700—800 легких ионов и 1000—1500 тяжелых ионов;

3) по мере увеличения загрязнения воздуха число легких ионов уменьшается, а тяжелых — возрастает (до 65.000 в  $1 \text{ см}^3$ );

4) лучшим показателем загрязнения воздуха является коэффициент униполярности, увеличивающийся при увеличении загрязнения атмосферы.

Наибольший коэффициент униполярности (до 70) регистрируется в промышленных районах.

Материалы исследований величины концентрации ионов и коэффициента униполярности атмосферного воздуха должны лечь в основу разработки ионизации воздуха при планировании общественных и жилых зданий, при проведении курортотерапии.

## 2.2. Электромагнитные поля и их влияние на человека

Хорошо известно, что наличие заряда на земной поверхности и объемных зарядов, содержащихся в воздухе, приводит к образованию электрического поля (ЭП) в атмосфере. Вертикальная составляющая потенциала этого поля значительно больше горизонтальной и направлена чаще к земной поверхности, как если бы

последняя была заряжена отрицательно. Такую напряженность принято называть положительной.

Напряженность магнитного поля Земли зависит от естественных процессов, происходящих в ее недрах, на поверхности и в околоземном пространстве, электромагнитные поля составляют естественную электромагнитную биосферу Земли. Определяется она главным образом электрическим и магнитным квазистатическими полями Земли, атмосферным электричеством, радиоизлучением Солнца и галактик. Эти факторы изменчивы, и их колебания зависят от многочисленных причин.

Электрические, а также магнитные поля являются физическими факторами внешней среды, активно действующими на организм человека.

Рассмотрим возможные пути влияния магнитного поля на организм человека. Этот вопрос может быть интересен не только медикам, но и физикам-метеорологам. Давно известно, что в человеческом, как и в любом живом, организме имеются электрические токи, названные биотоками. Роль биотоков в функционировании человеческого организма очень велика.

Электрические заряды (электроны и ионы) являются регуляторами в проходах клеточных мембран, ведущих из клетки наружу и извне в клетку, определяя таким образом все основные процессы жизнедеятельности клетки.

Кроме электрических токов и зарядов в живом организме имеются маленькие магнитики. Это молекулы тканей организма, прежде всего молекулы воды, которые способны поворачиваться под действием внешнего магнита. Внешнее магнитное поле будет ориентировать молекулы определенным образом, и это скажется на функционировании организма. В живом организме имеются огромные молекулы, состоящие из тысяч и миллионов обычных молекул. Если такие макромолекулы имеют магнитный момент, как, например, молекулы ДНК, то под действием изменения магнитного поля Земли молекулы могут отклоняться от нужного направления, нарушая функции организма.

Кровеносная система является системой, проводящей электрический ток, т. е. проводником. Поэтому под влиянием магнитного поля дополнительно к полезным биотокам в организме человека возникают дополнительные электрические токи, влияющие на нормальную работу самого организма.

Человеческий организм, который по сложности не идет ни в какое сравнение с любой самой сложной радиосхемой, никто не защищает от наводок, которые возникают в нем во время солнечных и магнитных бурь. Во время магнитных бурь происходит изменение магнитного поля во времени, а это будет вызывать биотоки в организме (Л. Л. Чигиевский предлагал помещать больных на периоды солнечных бурь в экранированные металлическими листами палаты). В период солнечных и магнитных бурь увеличивается

число инфарктов, число случаев скоропостижной смерти, заболеваний глаукомой и т. д.

Рассмотрим некоторые факторы, влияющие на характеристики естественного электромагнитного поля.

Напряженность естественного электрического поля у поверхности Земли составляет около 130 В/м и убывает по высоте, а магнитного — 20—30 А/м у экватора с постепенным снижением к полюсам. Напряженность ЭП принято характеризовать величиной, выражаемой в вольтах на 1 м (В/м), а магнитного — в амперах на 1 м (А/м) поля.

Спектр радиоизлучения Солнца, оказывающего влияние на напряженность естественного ЭМП Земли, зависит от частоты и интенсивности вспышек на Солнце. Радиоизлучения галактик по характеру приближаются к таковым от спокойного Солнца.

Искусственные радиоизлучения, создающие мощные ЭМП, отличаются от естественных высокой частотой и фазовой концентрацией энергии в очень узких областях спектра. Они — новый экологический фактор, необычный для живых организмов.

Давно отмечено, что естественная напряженность электромагнитного поля (ЭМП) Земли, зависящая от солнечной активности, оказывает влияние на многочисленные функции организмов. С изменением солнечной активности связывают скорость размножения ряда млекопитающих, влияние на численность популяций животных. Из-за непостоянства солнечной активности в организме животных изменяется состав крови, протоплазмы клеток, отмечены колебания в распространении некоторых инфекционных заболеваний. ЭП атмосферы влияют на течение окислительно-восстановительных процессов в организме.

В настоящее время установлено влияние магнитной составляющей ЭМП на организм человека, например на центральную нервную систему, проявляющееся в неспецифической тормозной реакции. Наиболее явно проявляется влияние ЭМП на человека, находящегося близ радиостанций, телевизионных центров, антенных устройств и других технических средств, излучающих радиоволны и создающих ЭМП. Опасность для здоровья человека увеличивается в тех случаях, когда генераторные установки обладают высококогерентными излучателями. Влияние ЭМП от искусственных источников не является темой данного учебного пособия. Все характеристики ЭМП зависят, как уже говорили, от солнечной активности, геомагнитного поля Земли и межпланетного магнитного поля. С этими вопросами рекомендуем познакомиться в специальной литературе. Характеристики естественного ЭП атмосферы зависят и от состояния атмосферы.

Мы уже говорили о влиянии на здоровье человека изменчивости атмосферного давления. Однако изменение давления может быть не прямым, а косвенным показателем влияния атмосферных условий на самочувствие человека. Действительно, атмосферное давление меняется на 10—30 гПа за несколько часов при прохож-

дении циклонов, атмосферных фронтов. Полагают, что при подъеме на гору или спуске с горы высотой несколько сотен метров атмосферное давление меняется значительно, но человек эти изменения может не ощущать. В то же время при прохождении ложбин, связанных с атмосферными фронтами, циклонов, больной человек ощущает влияние изменений погоды на свое самочувствие.

Исследования показывают, что в период прохождения атмосферных фронтов изменение давления и изменение электрического поля тесно связаны между собой. Так, повышение атмосферного давления в течение 5 ч на 5 гПа сопровождается иногда появлением отрицательного поля с максимальным значением градиента потенциала до 600 В/м.

При прохождении фронтов резко увеличивается изменчивость градиента потенциала электрического поля атмосферы и увеличивается число импульсов радиоизлучения в областях 10—50 и 4—12 кГц. Возмущения ЭП в виде изменчивости его значений и полярности проявляются также при местной неустойчивости атмосферы, разрешающейся в виде ливней и гроз нефронтального характера.

Исследования Р. Рейтер и М. Израэль показали, что при возмущениях ЭП в помещение проникает примерно 0,5 % энергии (или напряженности) поля частотой 50 Гц, 10 % энергии поля частотой 10 кГц. Поэтому авторы в качестве факторов биологического воздействия предлагают рассматривать только следующие:

1. Все процессы, которые связаны с ионизацией, а также с содержанием ионов, объемными зарядами воздуха и радиоактивностью;
2. Очень быстро происходящие изменения ЭП и токи смещения;
3. Электромагнитные поля.

Я. М. Шварц с сотрудниками Главной геофизической обсерватории анализировали связь поля атмосферного давления с полем атмосферного электричества при прохождении фронтов. Результаты анализа показали, что в периоды резкого изменения давления (рис. 2.1) поведение градиента потенциала ЭП атмосферы  $V'$  также характеризуется высокой изменчивостью, проявляющейся, в том числе, и в перепадах в течение часа от положительных к отрицательным значениям (на рисунках это отмечено крестиками). В большинстве случаев минимум поля  $V'$  предшествует минимуму давления. Возможно, поэтому больные люди с упреждением ощущают приближение зон пониженного давления.

В период прохождения зон сильных осадков наблюдались особенно сильные изменения  $V'$ . Известно, что дождь, снег и т. п. несут объемные заряды и также обуславливают изменение  $V'$ . Появление относительно продолжительно существующих отрицательных полей связано с развитием облаков Сб, электризующихся по типу грозных облаков с отрицательным зарядом внизу, а поло-

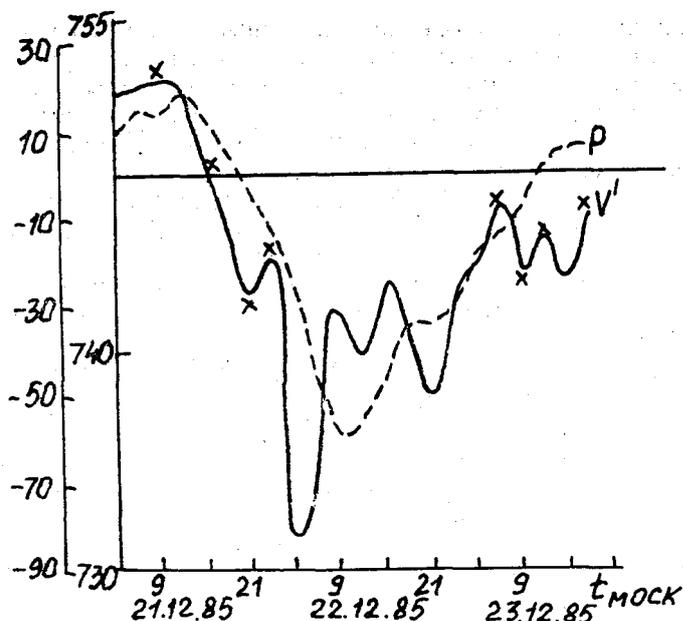


Рис. 2.1. Изменение приземного атмосферного давления  $P$  и градиента потенциала электрического поля  $V'$  в периоды прохождения фронта

жительным вверх. Это обуславливает смену знака поля: с положительного на отрицательный.

Развитие гроз на холодных фронтах вызывает повышение интенсивности радиоизлучения на частоте 30 кГц.

Студентами РГГМИ была исследована связь между среднесуточным изменением атмосферного давления и среднесуточным изменением градиента потенциала  $V'$  ЭП атмосферы за четыре месяца (январь — апрель) пятилетнего периода. Результаты показали, что в январе и феврале, когда условия погоды мало изменялись, положительная корреляционная связь между вышеуказанными величинами выражена достаточно четко. В марте и апреле из-за возникновения волн тепла и холода создается большая изменчивость погоды, разрушающая связь между среднесуточными изменениями давления и градиента потенциала электрического поля.

Таким образом, факторами, сопутствующими резким изменениям давления, являются следующие аномалии ЭП: значительная изменчивость стационарного ЭП атмосферы и появление отрицательных ЭП в течение нескольких часов или десятков часов.

Исследования показали, что на океанах среднесуточные значения напряженности ЭП довольно жестко связаны со среднесуточными значениями ряда метеорологических параметров: разностью температур воды и воздуха, влажностью воздуха и скоростью вет-

ра. В различных районах океана и в разные периоды года характер связи отличается. Электрическое поле испытывает неправильные и нередко большие колебания, обусловленные влиянием объемных зарядов и изменением проводимости. Поэтому между напряженностью поля и другими электрическими характеристиками атмосферы существует тесная связь.

Значительно изменяют  $V'$  степень запыленности (при увеличении запыленности воздуха  $V'$  увеличивается) и дальность видимости, при увеличении которой  $V'$  уменьшается.

Все метеорологические условия, влияющие на величину объемных зарядов и их распределение в атмосфере, изменяют градиент ЭП атмосферы.

Облачность неоднозначно воздействует на напряженность ЭП у земной поверхности. Облака среднего и верхнего яруса почти не вызывают заметного изменения характеристик ЭП. Влияние низких облаков может быть значительным, особенно в случаях, когда в них образуются крупные частицы и выпадают осадки. Таким образом, чисто местные особенности состояния атмосферы приводят к тому, что даже в двух близко расположенных пунктах характеристики электрического поля могут резко отличаться.

П. Н. Тверской, цитируя Кенигсфельда, указывает, что средние значения  $V'$  в различных воздушных массах оказываются заметно отличными (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Величины вертикального градиента потенциала ЭП в различных воздушных массах

Воздух	$V'$ В/м
Арктический	282
Полярный континентальный	201
Континентальный	159
Полярный и морской	117
Морской	79

Можно предположить, что прогнозируемый тип воздушной массы над данным районом может дать представление о вероятной величине градиента потенциала  $V'$ .

Большое число факторов, влияющих на ЭП атмосферы, затрудняли определение связи между характеристиками ЭП и солнечной активностью. В период с 1957 по 1965 г., характеризующийся исключительно большой амплитудой солнечной активности, был проведен анализ результатов измерения градиента потенциала ЭП атмосферы по 9 станциям бывшего Советского Союза. Эти исследования показали достаточно выраженную связь между градиентом потенциала ЭП атмосферы и активностью Солнца (числами Вольфа), которая, однако, по некоторым станциям маскируется воздействием других факторов.

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГОДЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

Для классификации климатов с точки зрения влияния атмосферы на здоровье человека необходимо выбрать наиболее важные элементы климата и определить степень их значимости. Следует иметь в виду, что для биоклиматологии относительно редкое сочетание критических значений нескольких элементов климата может иметь большее значение, чем постоянно встречающиеся средние условия.

Рассмотрим несколько аспектов воздействия климата на организм человека: тепловое воздействие на кожу, обусловленное теплопроводностью, конвекцией и радиацией; воздействие потоками солнечной радиации, изменением влажности воздуха и газового и аэрозольного состава атмосферы; воздействие электростатическими и электромагнитными полями.

Перед биоклиматическими классификациями могут стоять различные задачи, для каждой из которых может быть разработана своя. Однако принципы построения классов погоды могут быть едины. К этим принципам относятся следующие:

1. Выбирается комплексный метеорологический показатель, характеризующий влияние погоды на объект, и определяются его градации (нормативы), отражающие то или иное состояние объекта в зависимости от условий погоды. Эти градации служат критериями для выделения типов, которые затем объединяются в классы погоды.

2. Типы и классы погоды должны определяться по данным стандартных метеорологических и геофизических наблюдений. Классификация погоды должна допускать возможность раскрыть метеорологическую структуру погоды, обуславливающую величину комплексного метеорологического показателя.

3. В определенной мере классификация погоды, разработанная на основе одного комплексного метеорологического показателя, отражающего влияние погоды на человека, должна допускать переход к другим подобным показателям.

#### 3.1. Классификация погоды момента

Существует несколько методов классификации климата с точки зрения биометеорологии. Например, с этой целью вводится понятие погоды момента наблюдения, то есть комплекс метеорологических величин, наблюдающихся в данный момент времени.

В классификации погоды момента все многообразие метеорологических условий объединено в типы и классы погоды. Каждый тип погоды определяется строго ограниченными интервалами температуры и влажности воздуха, скорости ветра (на высоте флюгера) и нижней облачности. Последняя рассматривается как косвенный показатель радиационного режима, так как данных об

Таблица 3.1

## Классификация погоды момента (теплый период)

Нижняя облач- ность, баллы	Влаж- ность, %	Ско- рость ветра, м/с	Температура воздуха, °С							
			35,0	30,0 34,9	25,0 29,9	20,0 24,9	15,0 19,9	10,0 14,9	5,0 9,9	0,0 4,9
0-5	0-29	0-1	I	I	II	III	III	IV	V	VI
		2-3	I	I	II	III	IV	V	VI	VI
		4-7	I	II	III	IV	IV	V	VI	VI
		8-15	I	II	III	IV	V	V	VI	VI
	30-59	0-1	I	I	II	III	III	IV	V	VI
		2-3	I	I	II	III	IV	V	VI	VI
		4-7	I	II	III	IV	IV	V	VI	VI
		8-15	I	II	III	IV	V	VI	VI	VI
	60-79	0-1	VII	I	II	II	III	IV	V	VI
		2-3	VII	I	II	III	IV	V	VI	VI
		4-7	VII	II	III	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	VII	II	III	IV	V	VI	VI	VI
	80	0-1	VII	VII	VII	VII	III	IV	V	VI
		2-3	VII	VII	VII	III	IV	V	VI	VI
		4-7	VII	VII	VII	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	VII	VII	III	IV	V	VI	VI	VI
6-10	0-29	0-1	II	II	III	IV	IV	V	V	VI
		2-3	II	III	III	IV	V	V	VI	VI
		4-7	II	III	IV	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	II	III	IV	V	V	VI	VI	VI
	30-59	0-1	I	II	III	III	IV	V	V	VI
		2-3	I	II	III	IV	V	VI	VI	VI
		4-7	II	III	IV	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	II	III	IV	V	V	VI	VI	VI
	60-79	0-1	VII	III	II	III	IV	V	V	VI
		2-3	VII	III	III	IV	V	VI	VI	VI
		4-7	VII	III	III	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	VII	III	IV	V	VI	VI	VI	VI
	80	0-1	VI	VII	VII	III	IV	V	V	VI
		2-3	VI	VII	III	IV	V	VI	VI	VI
		4-7	VI	II	III	IV	V	VI	VI	VI
		8-15	VI	II	III	IV	V	VI	VI	VI

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При скорости ветра больше 15 м/с при любой положительной температуре воздуха все типы погоды относятся к XIII классу.

интенсивности солнечной радиации недостаточно для климатических разработок.

При температуре воздуха от 35 до  $-50^{\circ}\text{C}$  все типы погоды ограничены 5-градусными интервалами температуры. Кроме того, выделены типы погоды с температурой воздуха выше 35 и ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ . Эти интервалы включают весь диапазон температуры воздуха, встречающийся на территории СНГ.

В зависимости от величины относительной влажности воздуха выделены следующие типы климата: 00—20 — очень сухой, 30—59 — сухой, 60—79 — умеренно влажный и 80—100 % — влажный. Эти градации влажности воздуха приняты с учетом ее физиологической оценки, данной А. А. Минхом, который считает, что при влажности 80 % и температуре воздуха около  $25^{\circ}\text{C}$  жара становится невыносимой, но при влажности около 20 % температура воздуха даже  $40^{\circ}\text{C}$  переносится легко. Однако наилучшей для человека является влажность 30—60 %, так как в пределах этих величин колебания влажности при разных температурах воздуха мало ощутимы.

В зависимости от скорости ветра и его динамического действия на человека, с учетом данных медиков, приняты градации: 0—1 м/с — действие ветра на человека слабодинамическое, 2—3 — среднединамическое, 4—7 — сильнодинамическое, 8—15 — крайнединамическое и больше 15 м/с — штормовое. Градации скорости ветра выбраны также с учетом параболического закона изменения теплопотерь человеком в зависимости от скорости ветра, вытекающего из анализа уравнения теплового баланса человека.

Все типы погоды разделены на группы с ясной (нижняя облачность 0—5 баллов) и с облачной (нижняя облачность 6—10 баллов) погодой.

Сочетания принятых градаций метеорологических величин дают типы погоды (табл. 3.1 и 3.2), которые затем оцениваются по их влиянию на тепловое состояние человека. При оценке теплового состояния человека при различных типах погоды указанная в классификации скорость ветра на высоте флюгера приводится к скорости ветра на уровне 2 м от земной поверхности, то есть к высоте, на которой измеряются температура и влажность воздуха.

При положительной температуре воздуха тепловое состояние здорового, находящегося в покое и не защищенного одеждой человека оценивается по величине теплового баланса.

В ясные дни учитывается также интенсивность прямой и рассеянной солнечной радиации. Ошибка в оценке теплового баланса человека за счет изменения интенсивности солнечной радиации в зависимости от изменения широты места с мая по сентябрь невелика. Поэтому возможна одинаковая оценка типов погоды для пунктов, расположенных на разных широтах. При облачной погоде интенсивность солнечной радиации не учитывается.

Таблица 3.2

## Классификация погоды момента (холодный период)

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С									
	-0,1 -4,9	-5,0 -9,9	-10,0 -14,9	-15,0 -19,9	-20,0 -24,9	-25,0 -29,9	-30,0 -34,9	-35,0 -39,9	-40,0 -44,9	-45,0 -49,9

Нижняя облачность 0—5 баллов, влажность воздуха 0—100 %

0—1	VIII	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII
2—3	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII
4—7	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII
8—15	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII	XII

0—1	VIII	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII
2—3	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII
4—7	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII
8—15	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII	XII

Нижняя облачность 6—10 баллов, влажность воздуха 0—100 %

0—1	VIII	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII
2—3	IX	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII
4—7	IX	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII
8—15	X	X	X	XI	XI	XI	XII	XII	XII	XII

**ПРИМЕЧАНИЕ.** При отрицательной температуре воздуха и скорости ветра больше 15 м/с, а также при температуре воздуха ниже  $-50^{\circ}\text{C}$  и любом ветре все типы погоды относятся к XII классу.

Величина теплового баланса человека хорошо согласуется с другими комплексными показателями, характеризующими тепловое состояние и теплоощущение человека.

При отрицательной температуре воздуха термические условия пребывания человека на открытом воздухе оценивались по степени суровости погоды. Последняя рассматривалась не как объективное свойство погоды, а как влияние ее на охлаждение организма, определяющее тепловое состояние и регламентирующее пребывание человека на открытом воздухе.

Для характеристики степени суровости погоды принят коэффициент жесткости погоды, предложенный И. А. Арнольди. При расчете этого коэффициента увеличение скорости ветра на 1 м/с приравнивается к понижению температуры воздуха на  $2^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент жесткости погоды четко коррелирует с физиологическими

данными, характеризующими тепловое состояние человека. Практическая ценность этого показателя определяется также и тем, что выносливость человека в условиях холода в основном определяется теми частями тела, которые обычно не защищены.

Заметим, что между скоростью движения воздуха и его охлаждающей способностью нет линейной зависимости. Поэтому при выделении типов погоды (табл. 3.2), как отмечалось выше, в классификации приняты интервалы скорости ветра с учетом параболического закона влияния последней на охлаждение человека. Таким путем введена поправка на нелинейность влияния ветра на охлаждение человека, учитываемая при оценке типов погоды. Поправка названа условной температурой воздуха, она тесно коррелирует с другими комплексными метеорологическими показателями суровости погоды.

Оценка каждого типа погоды производилась на основе расчета теплового баланса человека при положительной и условной отрицательной температуре воздуха, которые рассчитывались по средним величинам температуры и влажности воздуха, скорости ветра при ясной и облачной погоде, характеризующими тип погоды. Например, тип погоды ограничен интервалами температуры воздуха от 25,0 до 29,9 °С, относительной влажности — от 30 до 59 % и скорости ветра от 0 до 1 м/с при нижней облачности 6—10 баллов. Надо оценить тепловой баланс человека при данном типе погоды. Для этого определяем середины указанных выше интервалов метеорологических величин, равные соответственно 27,5 °С, 45 % и 0,5 м/с. Здесь скорость ветра соответствует скорости ветра на высоте флюгера, ее надо привести к скорости ветра на высоте 2 м от земной поверхности. После приведения она будет равна 0,3 м/с. Затем, используя эти данные, рассчитывается тепловой баланс человека, который оказывается равным 0,08 кВт/м<sup>2</sup>.

Аналогично оцениваются все типы погоды момента, входящие в классификацию.

Следующий этап — объединение типов в классы погоды момента. Для этого используются метеорологические нормативы, характеризующие комфортное, теплое, прохладное, холодное и резко холодное тепловое состояние человека (табл. 3.3) при положительной температуре воздуха, а при отрицательной — нормативы, отражающие мягкую, умеренно суровую, суровую, очень и крайне суровую погоду (табл. 3.4).

Например, определим класс погоды, к которому относится рассмотренный выше тип погоды. Этот тип погоды обуславливает тепловой баланс человека, равный — 0,08 кВт/м<sup>2</sup>. Следовательно, в соответствии с нормативами (табл. 3.3) он относится к III классу погоды момента, характеризующему комфортное тепловое состояние человека.

Также определяются все типы погоды и затем объединяются в классы погоды момента.

Таблица 3.3

## Характеристика классов погоды момента в теплое время года

КПМ	$Q$ кВт/м <sup>2</sup>	$C$ кло	СНСТ	Климатотерапия	Преобладающее теплоощущение
I	0,07	Дискомфорт в любой одежде	Сильная	Ограничена	Жарко и сухо, влажность 59 %
II	0,03 -0,03	0,0-0,1	Слабая	При строгом контроле	Тепло
III	-0,04 -0,21	0,1-0,9	Минимальная	Без ограничения	Комфортно
IV	-0,22 -0,45	1,0-2,0	Слабая	В сочетании с физическими упражнениями	Прохладно
V	-0,46 -0,68	2,0-3,0	Средняя	Длительное пребывание на воздухе в соответствующей одежде, подвижные виды климатотерапии	Холодно
VI	-0,69 -0,77	3,0-4,0	Сильная		Резко холодно
VII	0,07	Дискомфорт в любой одежде	Чрезмерная	Исключена	Жарко и влажно, влажность 80 %

**ПРИМЕЧАНИЕ.** КПМ — классы погоды момента;  $Q$  — градация теплового баланса человека;  $C$  — теплоизоляция одежды, обеспечивающая тепловой комфорт человеку в покое; СНСТ — степень напряжения систем терморегуляции.

При температуре воздуха выше 0°C выделены 8 классов: I класс — жаркая и сухая погода, II — теплая, III — комфортная, IV — прохладная, V — холодная, VI — резко холодная, VII — жаркая и влажная, VIII — погода с положительной температурой воздуха при ветре больше 15 м/с. Заметим, что в тех случаях, когда классы погоды определяются в 01, 07 и 19 ч при ясной и облачной погоде, они условно будут одни и те же, что и по классификации погоды с нижней облачностью 6—10 баллов, то есть без учета влияния солнечной радиации на тепловой баланс человека.

Аналогично устанавливаются классы погоды при ясном небе в 13 ч во все месяцы года, за исключением периода с мая по сентябрь.

Таблица 3.4

## Характеристика классов погоды момента в холодное время года

Показатель	Класс погоды момента				
	VIII	IX	X	XI	XII
Суровость погоды	Мягкая	Умеренно суровая	Суровая	Очень суровая	Крайне суровая
$T_y$ °С	0,0 —5,9	—6,0 —15,9	—16,0 —29,9	—30,0 —44,9	ниже —45,0
$C$ кло	4,0 4,5	4,6 5,9	6,0 7,5	7,6 9,0	Комфорт в помещении
СНСТ	Слабая	Слабая	Средняя	Сильная	Чрезмерная
Климатотерапия	Длительное пребывание на воздухе, дозированная ходьба, сон на веранде в специальной одежде, зимний спорт		Прогулки, дозированная ходьба, зимний спорт	Исключена	
Характеристика работы на открытом воздухе	Ведутся без ограничения			Перерыв для обогрева через 50 мин работы	Не ведутся за исключением аварийных работ

**ПРИМЕЧАНИЕ.**  $T_y$  — условная температура воздуха;  $C$  — теплоизоляция одежды в единицах кло (1 кло = 0,155 °С м<sup>2</sup> Вт<sup>-1</sup>), обеспечивающая тепловой комфорт человеку в покое; СНСТ — степень напряжения систем терморегуляции одетого человека в одежду, соответствующую классу погоды.

При температуре воздуха ниже 0 °С выделены 5 классов: VIII класс — мягкая, IX — умеренно суровая, X — суровая, XI — очень суровая и XII — крайне суровая погода. При любой отрицательной температуре воздуха и ветре больше 15 м/с все типы погоды относятся к XII классу.

Физиологические исследования позволили оценить степень функционального напряжения систем, участвующих в терморегуляции человека, режимы труда и климатотерапии на открытом воздухе, а корреляционные связи величин теплового баланса человека и условий температуры воздуха с теплоизоляцией одежды, обеспечивающей тепловой комфорт, теплоизоляцию одежды при различных классах погоды. Методика такой оценки изложена в [5].

Классы погоды момента отражают также терморегуляторные реакции человека. Для оценки последних использована связь теплоощущения человека, определенного для каждого класса погоды, с терморегуляторными реакциями.

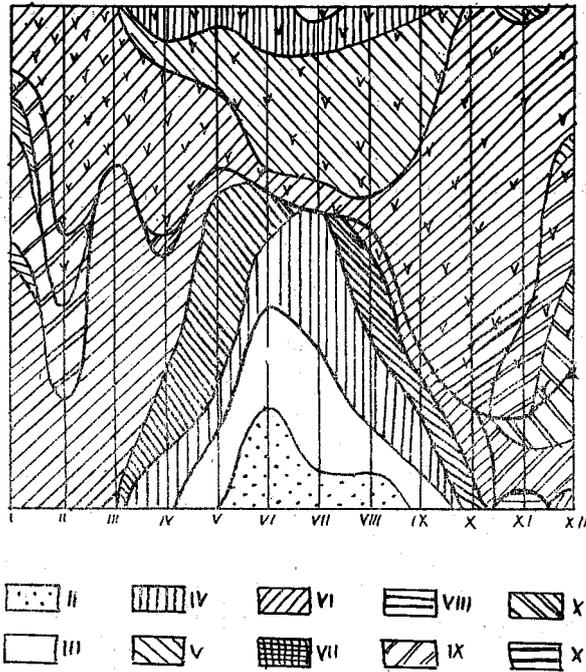


Рис. 3.1. Годовой ход повторяемости классов погоды момента на побережье Финского залива: I—XI — классы погоды

Классификация погоды момента позволяет раскрыть метеорологическую структуру, обуславливающую типы и классы погоды. Это дает возможность оценить тепловой баланс дыхания, зависящий от сочетания температуры и влажности воздуха, и влияние скорости ветра на органы дыхания человека, позволяет не только получить интегральную оценку теплового состояния человека, что само по себе важно, но и раскрыть механизм терморегуляции. Например, комфортная погода (III класс) может быть при температуре воздуха 25—30 °С, ветре 4—7 м/с и влажности воздуха до 20 %, а также при температуре 15—20 °С, ветре 0—1 м/с и влажности воздуха 30—59 %. В первом случае комфортное тепловое состояние в основном поддерживается за счет охлаждения тела человека в результате испарения пота с поверхности кожи, а во втором — за счет теплопотери конвекцией и длинноволновым излучением. А это, как считают физиологи, безразлично для человека: теплопотери путем испарения более тягостны, чем теплопотери конвекцией и излучением. Естественно, что эти различия в механизме терморегуляции человека необходимо учитывать при разработке проблем, связанных с адаптацией человека, при разработке мероприятий, направленных на сохранение здоровья.

Наличие тесной корреляции между комплексными метеорологическими показателями, использованными для оценки теплового состояния человека при различных классах погоды с другими показателями, характеризующими влияние погоды на человека, имеет большое значение при сравнении результатов исследований, выполненных разными методами.

Классификация погоды момента оказалась достаточно обоснованной и удобной для использования носителей метеорологической информации, вводимых в ЭВМ при расчетах повторяемости типов и классов погоды. На ее основе выполнены исследования климата Сибири, Дальнего Востока, побережья Финского залива и других регионов (рис. 3.1).

### 3.2. Некоторые методы классификации погоды

Из принятых общих классификаций наиболее часто применяется схема Е. Е. Федорова и Л. А. Чубукова, основанная на принципах комплексной климатологии, которая использует понятия «погода момента» и «погода суток».

Все классы погоды объединены в три группы:

1. Погода безморозная (8 классов), которую различают по средней суточной температуре и относительной влажности воздуха, режиму облачности, количеству осадков, иногда по характеру ветра.

2. Средняя суточная температура выше и ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , минимальная температура за сутки — отрицательная, максимальная — положительная (два класса).

3. Максимальная температура отрицательная; классы различаются в основном по среднесуточной температуре (шесть классов).

М. И. Будыко (1955 г.) разработал климатическую классификацию, построенную на учете радиационного баланса системы «Земля — атмосфера». Различная величина индекса, предложенная М. И. Будыко, соответствует различным ландшафтным климатическим зонам. Индекс меньше 0,35 соответствует условиям тундры, 0,35—1,1 — условиям леса, больше 3,4 — условиям пустыни.

Е. Н. Байбаков с соавторами (1966 г.) предложили четыре степени изменчивости погодного режима  $K$ :

1. Очень устойчивый ( $K=25\%$ ) с числом дней с контрастной сменой погоды в месяц  $N$  меньше семи;

2. Устойчивый ( $K=25-34\%$ ,  $N=7-10$ );

3. Изменчивый ( $K=35-50\%$ ,  $N=11-15$ );

4. Сильно изменчивый ( $K>50\%$ ,  $N>15$ ).

В. И. Русанов выделил тоже четыре класса погоды, придавая решающее значение изменчивости метеофакторов.

1. Клинически благоприятный, характеризующийся межсуточным повышением атмосферного давления и температуры воздуха;

2. Клинически менее благоприятный — при межсуточном понижении давления и температуры;

3. Клинически неблагоприятный — при межсуточном понижении давления и повышении температуры;

4. Клинически очень неблагоприятный при межсуточном повышении давления и понижении температуры.

Эта классификация позволяет раскрыть структуру погоды, давать ее медицинский прогноз.

В. И. Бутьева (1974 г.), взяв за основу повторяемость (в %) резкой межсуточной изменчивости температуры воздуха (более 6°C), провела районирование территории бывшего СССР и выявила районы с малоизменчивым режимом температуры во все сезоны (10%), с умеренно изменчивым (10—20%) зимой и мало изменчивым в остальные сезоны, со значительно изменчивым (20—30%) зимой, резко изменчивым (30—40%) зимой и умеренно изменчивым в переходные сезоны.

Для оценки терморегуляции организма и приспособления его к внешним условиям ряд авторов пытались количественно оценить тепловое состояние, структуру теплового баланса человека при различных классах погоды. Обнаружено, что разным классам погоды присущ свой ход ЭЭТ, а суточный ход и абсолютные значения температуры различны даже для одного и того же класса в разные периоды года и в разных географических районах.

Это объясняется тем, что при выделении классов погоды взяты большие диапазоны температуры и не учитывается скорость ветра.

И. И. Григорьевым и И. Г. Парамоновым была введена морфодинамическая медицинская классификация погоды: I тип — весьма благоприятная; II тип — благоприятная; III тип — неблагоприятная; IV тип — особо неблагоприятная.

Согласно этой классификации, все погодные условия делятся по сумме и динамике метеорологических, синоптических и гелиофизических показателей.

Первый тип характеризуется следующими атмосферными процессами: у поверхности Земли и в нижней тропосфере повышенное давление или малоградиентное барическое поле; атмосферные фронты отсутствуют; восходящие вертикальные воздушные токи слабы; стратификация обычно устойчивая. Наблюдается устойчивый нормальный суточный ход основных метеорологических величин, изменения атмосферного давления не более чем 1 гПа за 3 ч, скорость ветра 0—5 м/с. Опасные явления погоды не наблюдаются, в холодное время года возможна слоистая облачность, туман, слабые осадки, а в летнее время — кучевые облака без осадков. Весовое содержание кислорода меняется незначительно ( $\pm 5$  г/кг). Напряженность атмосферного электрического поля в приземном слое близка к норме. Ионный состав существенно не меняется. Коэффициент униполярности ионов (отношение положительно заряженных к отрицательно заряженным ионам) ко-

леблется в пределах 0,3—1,5, магнитное поле — от единиц до десятков мкЭ.

При втором типе погоды у земной поверхности и в тропосфере барические образования выражены слабо, возможно прохождение размытых атмосферных фронтов, вертикальные токи воздуха невелики. Свойства воздушной массы меняются незначительно. Температура и влажность воздуха в пределах сезонной и суточной нормы, атмосферное давление меняется менее чем на 1—2 гПа за 3 ч, скорость ветра 7—11 м/с. Летом возможны кратковременные осадки, зимой — снег. Опасных явлений нет.

Третий тип погоды характеризуется неглубокими циклонами с выраженными фронтальными разделами и восходящими токами воздуха. К этому типу относятся также такие явления, как резкое повышение температуры и понижение относительной влажности при усилении ветра, часто сопровождаемые уменьшением содержания кислорода и увеличением загрязнения воздуха твердыми частицами. Сюда же относится так называемая душная погода с температурой выше 28 °С и относительной влажностью более 70 %.

Погода четвертого типа характеризуется активной циклонической деятельностью или прохождением глубоких ложбин с резко выраженными атмосферными фронтами и восходящими токами воздуха. Отмечаются большие скачкообразные изменения основных метеорологических величин с резким нарушением суточного хода; изменения атмосферного давления более чем на 5 гПа, колебания температуры, вызванные сменой воздушных масс, достигают 10—20 °С и более, относительная влажность — 20—40 % и более, скорость ветра — 19 м/с и более. Наблюдаются опасные и особо опасные явления, такие, как гроза, шквалы, ливни, метели, пыльные бури. Изменения весового содержания кислорода в воздухе и напряженности электрического поля атмосферы значительны. Отмечаются большие колебания электромагнитной возмущенности, концентрации положительно и отрицательно заряженных аэроионов. Коэффициент униполярности ионов может возрастать до нескольких единиц и падать до десятых долей. Вариации магнитного поля — сотни тысяч мкЭ.

Многие работы, посвященные влиянию погоды на человека, базируются на схеме, разработанной Г. Унгехойером и расширенной Г. Бреховским.

Схема основана на идеализированном представлении о протекании явлений погоды при прохождении над местом наблюдения различных барических образований (антициклона или циклона) и атмосферных фронтов.

Идеализированный ход погоды подразделяется на 6 фаз (ФП):

ФП-1 — умеренно хорошая погода. Наблюдается на холодной периферии антициклона (от восточной до южной), имеется слоисто-кучевая облачность. Периодичность суточного хода метеорологических величин выражена умеренно.

ФП-2 — очень хорошая погода. Отличается от первой четко выраженной суточной периодичностью метеоэлементов. В результате инсоляции воздух прогревается и наблюдается типичное образование кучевых облаков.

ФП-3 — особо хорошая погода. Наблюдается в центре антициклона или его западной периферии и характеризуется сильным вертикальным перемешиванием, так что суточный ход оказывается часто нарушенным. С опусканием воздуха из свободной атмосферы происходит размывание облачности. Воздух теплый, сухой.

ФП-4 — начинающаяся смена погоды. Характеризуется наступающей резкой переменной погоды в теплой передней части приближающегося циклона при высоких температуре и влажности воздуха. Наблюдается уплотняющаяся облачность и усиливающиеся ветры с юго-востока. Метеорологическая периодичность суточного хода оказывается нарушенной.

ФП-5 — прохождение фронта. Наступает при прохождении над местом наблюдения холодного фронта. В результате адвекции возмущение суточного хода является сильным.

ФП-6 — улучшение погоды, уменьшение турбулентности воздушной массы. Наблюдается чаще всего при промежуточном антициклоне или на дальней восточной периферии циклона. При этом отмечается адвекция сухого воздуха при низких температурах. Суточный ход метеоэлементов постепенно восстанавливается.

Медицинская типизация погоды, разработанная И. В. Бутевой и В. Ф. Овчаровой, основывается на определенном сочетании характеристик метеорологических факторов.

Основные объективные симптомы состояний человеческого организма, формирующихся при различных метеопатических эффектах, следующие:

1. В зоне холодного фронта и в определенных областях повышенного атмосферного давления формируется спастический эффект атмосферы. Спастический эффект ведет к повышению тонуса (спазму) гладкой мускулатуры внутренних органов, повышению артериального давления, изменениям на ЭКГ ишемического характера. Основные жалобы: раздражительность, ухудшение сна, боли спастического характера различной локализации.

2. Спастическому эффекту предшествует тонизирующий эффект, способствующий стимуляции основных физиологических функций организма, хорошему самочувствию, повышению работоспособности.

3. При гипотензивном и гипоксическом эффектах атмосферы отмечается тахикардия, небольшая отечность тканей, снижение степени насыщения артериальной крови кислородом. При этом характерны слабость, повышенная утомляемость, сонливость, одышка, сердцебиение.

4. В периоды устойчивых антициклонических погод и мало-подвижных циклонов возможно формирование дискомфортных для человека гигротермических условий.

5. Определяющую роль играет солнечная радиация. Повышенное тепловое воздействие солнечной радиации в теплый период года может приводить к дискомфортным условиям перегрева. Существенна в течение года роль освещенности, различно сказывающаяся на состоянии высшей нервной деятельности в зависимости от типа нервной системы человека. Ультрафиолетовая радиация вызывает ряд физико-химических сдвигов в организме.

6. Замечено, что приближение гребня сопровождается у больных реакцией спастического типа, хотя характер погоды не изменяется. Можно предполагать, что сигнальным фактором служат особенности в ходе изменений параметров атмосферного электричества.

При биометеорологической классификации погоды учитываются возможные изменения парциального давления кислорода, а также межсуточное изменение парциального давления кислорода в той или иной синоптической обстановке.

Многолетние климатофизиологические исследования В. Ф. Овчаровой позволили ей опровергнуть существующие представления о стабильности содержания кислорода в воздухе на равнинах и она предложила включить в качестве параметра, учитывающегося при медицинской классификации погоды, парциальное давление кислорода ( $p_{O_2}$ ). При суточной (сезонной) динамике и колебаниях основных метеорологических величин (температура, абсолютная влажность воздуха, атмосферное давление) происходит перераспределение во времени и пространстве парциального давления кислорода в воздухе, проявляющееся в суточной (сезонной) периодичности и погодной аномалии (гипоксии — кислородное голодание и гипероксии — избыток кислорода).

Погодная гипоксия, по исследованиям В. Ф. Овчаровой, наблюдается при установлении области пониженного атмосферного давления (циклоны, ложбины) и при прохождении теплого атмосферного фронта; погодная гипероксия — при установлении области повышенного атмосферного давления (антициклона, гребня) и при прохождении холодного атмосферного фронта.

В. Ф. Овчарова сопоставила метеоструктуру погодной гипоксии на равнине и горной гипоксии. Как известно, в горах внешняя гипоксия обусловлена разреженностью воздуха — гипобарией разной степени выраженности; гипобарическая гипоксия сглаживается умеренной гипотермией на фоне низкой влажности воздуха. Солнечный, в том числе ультрафиолетовый режим, низкий (25—30 В/м) градиент потенциала атмосферного электричества и высокое содержание (до 2—4 тыс. ионов в 1 мл воздуха) легких аэроионов благоприятны для организма в условиях горной местности. Отмечается четко выраженный суточный ритм основных

метеорологических величин и парциального давления кислорода в воздухе при их незначительной межсуточной изменчивости.

В условиях равнин формирование погодной гипоксии сочетается с рядом негативных факторов, таких, как гипобария, гипертермия, высокая влажность воздуха, низкая освещенность, дискомфортные по теплоощущению гигротермические условия, высокий (до 2 тыс. В/м) градиент потенциала атмосферного электричества с изменением знака поля, значительно низкая концентрация природных аэроионов, нарушение суточной динамики основных метеорологических величин, увеличение их межсуточной изменчивости, что приводит к неблагоприятным изменениям в организме человека.

В отличие от данных, полученных в период формирования погодной гипоксии, в условиях горной гипоксии отмечается оптимизация функций организма человека. Все эти исследования дали основание для учета межсуточной изменчивости плотности кислорода ( $\Delta\rho_{O_2}$ ) при классификации погоды для медицинских целей.

Хотя до настоящего времени результаты биосиноптических исследований имеют стохастическую природу и остается еще много нерешенных вопросов, некоторые результаты все же можно применять на практике. Правда, в каждом регионе необходимо проводить дополнительные исследования, уточняющие метеотропную погодную ситуацию, характерную для данной местности.

Так, интересные исследования проведены Г. Дзендритским. Для того чтобы выделить погодные ситуации, которые невозможно описать детально, погодные условия были разбиты на классы (рис. 3.2), с помощью которых можно выделить биологически благоприятные и неблагоприятные погодные условия. Они характеризовались обычными синоптическими терминами: область высокого и низкого давления, адвекция теплого или холодного воздуха, фронты, восходящее или нисходящее движение воздуха, воздушные массы и т. д.

На рис. 3.3 показаны результаты исследований влияния погоды на степень смертности, вызванной разными причинами. На схеме выделена область максимального увеличения смертности — районы прохождения теплого и холодного фронтов. Однако не всегда антициклоническая обстановка соответствует понижению числа смертных случаев. Следует учитывать параметры электрического и магнитного поля.

Оценка более 1000 различных метеорологических исследований в разных странах, в которых учитывались стохастические связи с медицинскими данными (респираторные, сердечно-сосудистые и инфекционные заболевания, общие расстройства здоровья, несчастные случаи на транспорте и на работе), дала общую картину биотропности погоды:

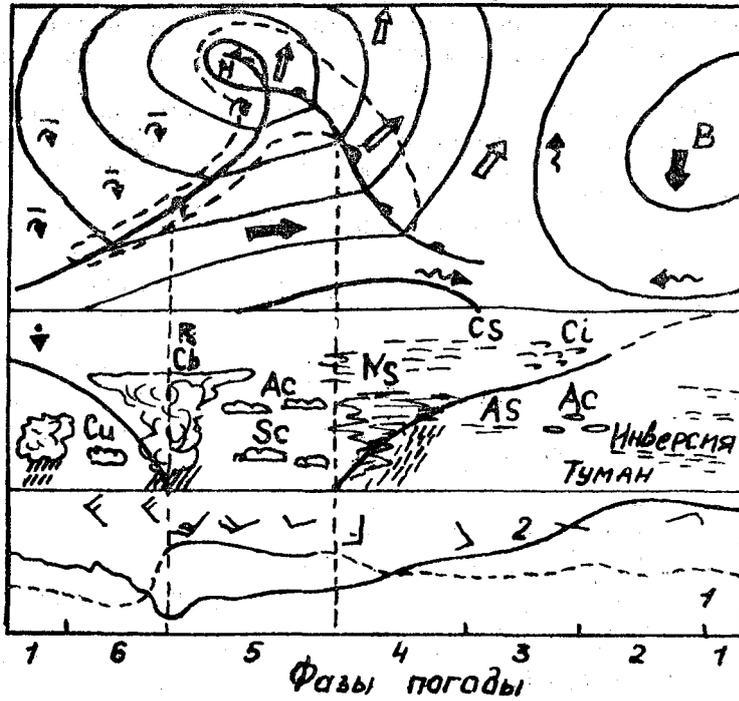


Рис. 3.2. Медико-метеорологическая классификация погоды (идеальный цикл как основа для классификации). 1 — температура; 2 — давление

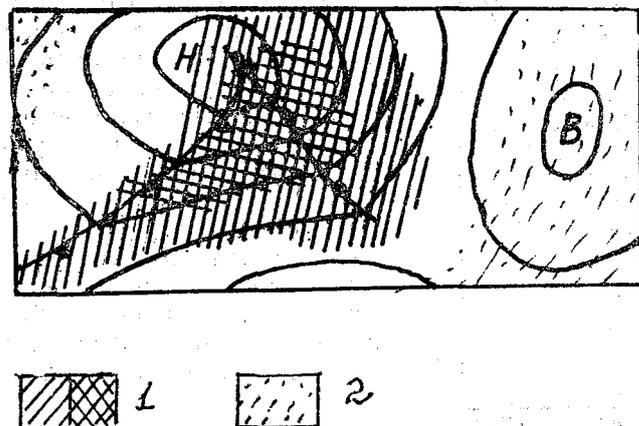


Рис. 3.3. Модель циклона и смертность: 1 — увеличение; 2 — уменьшение

1. Биотропность влияет на человека как добавочный стресс, например, как переменные возмущения, на которые организм должен реагировать так, чтобы поддерживать гомеостаз на нужном уровне.

2. Погода — не причина, а толчок для острых метеотропных реакций, поскольку метеотропность — одно из свойств организма.

3. Биотропный максимум наблюдается в областях значительных погодных изменений.

4. Циклоны являются неблагоприятными с точки зрения реакции организма, антициклоны — преимущественно благоприятными.

5. Формы реакции, выступающие в виде понижения или повышения давления крови, связаны с атмосферным давлением противоположного характера.

6. Биотропность зависит от индивидуальных патологических и климатических факторов, а также от времени года и дня.

Тихая ясная погода и погода с прояснениями после прохождения фронта считаются благоприятными с точки зрения метеотропности.

Эти типы погоды характеризуются преимущественно высоким давлением и незначительной адвекцией воздушных масс или отсутствием ее. При таких погодных условиях, однако, может иметь место тепловая нагрузка, а образующиеся в зимний период инверсии способствуют загрязнению воздуха.

Очень ясная погода с понижением давления перед ее изменением и с начинающейся адвекцией теплого воздуха на высоте (предфронтальная зона) и вообще перемена погоды с прохождением

теплого и холодного фронтов биологически неблагоприятны. Это означает, что на всех фазах передней части циклона при увеличении адвекции воздушных масс наблюдается высокая степень биотропии. Такая же высокая степень проявляется при прохождении в тыловой части циклона холодного фронта.

В последние годы в ряде стран для классификации погоды используются переменные, которые поддаются количественному определению и могут быть реально и быстро обработаны на электронно-вычислительных машинах. Так, были рассчитаны отклонения температуры и влажности от средневзвешен-

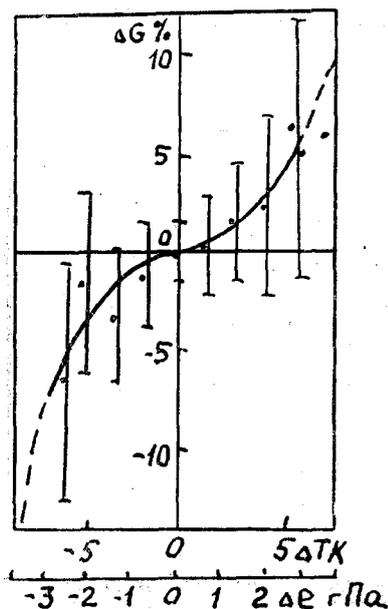
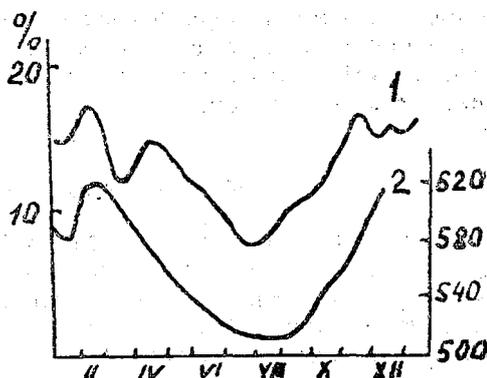


Рис. 3.4. Изменение содержания в крови глюкозы  $\Delta G$  как функции изменения температуры  $\Delta T$  и влажности  $\Delta e$

Рис. 3.5. Изменение среднего значения динамического параметра  $DV$  (1) и смертности на тысячу жителей (2) в течение года



ного значения за предшествующие дни и найдены четко выраженные соотношения, полезные для медицины, например изменение содержания глюкозы в крови детей, больных диабетом (рис. 3.4), в зависимости от метеовеличин.

Дополнительной переменной, которая отличается от полученных ранее метеорологических параметров, является динамический параметр  $DV$ , основанный на вихревом подходе. Этот параметр определяет адвективные условия в свободной атмосфере.

На рис. 3.5 показано среднемесячное изменение динамического параметра и степени смертности за год (ФРГ). Обе эти переменные учитываются при классификации погоды и составлении биомедицинских прогнозов.

Имеющихся сведений о стохастических связях различных форм метеотропных реакций с определенными атмосферными условиями достаточно для использования их в прогнозах. С помощью этих данных можно прогнозировать возникновение отрицательных реакций у людей, чувствительных к погоде или физиологически неустойчивых. Из-за стохастических связей биотропные и метеотропные реакции достоверны для большой группы людей, а не для индивидуума. Это следует учитывать при использовании прогноза погоды для медицинских целей.

#### 4. НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ БИОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние погоды и климата на человека проявляется в изменении его теплового состояния, в появлении напряженности физиологических и патологических реакций организма.

Одной из задач оценки влияния погоды и ее изменений на физиологические системы организма является объективная характеристика климата на основе анализа статистических параметров комплексных метеорологических показателей, отражающих влияние погоды на тепловое состояние некоторой стандартной модели человека, и определения биометеорологических показателей, ха-

рактизирующих непериодические изменения физических параметров атмосферы. Кроме того, необходимо установление связи этих показателей с показателями, характеризующими изменение физиологических систем.

#### 4.1. Выбор метеорологических показателей

Для оценки влияния погоды на объекты известны различные метеорологические показатели, которые отличаются полнотой факторов, учитываемых при оценке влияния погоды на объекты, адекватностью оценки и сложностью расчетов. Так, для оценки теплового состояния человека при положительной температуре воздуха предложены эквивалентно-эффективная и радиационно-эквивалентно-эффективная температура, и при отрицательной температуре воздуха — различные показатели суровости погоды.

Разнообразие метеорологических показателей свидетельствует о сложности их разработки. Правильный выбор того или иного метеорологического показателя, наилучшим образом отражающего влияние погоды на человека и, по возможности, отличающегося простотой расчетов, способствует решению разнообразных практических задач в области здравоохранения.

Для характеристики влияния изменчивости погоды на больных предложены индекс изменчивости погоды и индекс повторяемости контрастных смен погоды. Последний определяется как отношение числа контрастных смен классов погоды (по классификации погоды Е. Е. Федорова) к общему числу дней за рассматриваемый период и выражается в процентах.

Контрастность смены классов погоды определяется по схеме рис. 4.1. Вертикальными и горизонтальными линиями схема разделена на квадраты, каждому из которых соответствует определенное сочетание классов погоды, указанных на ординате и абсциссе. Штриховка квадратов на схеме указывает на степень контрастности перехода одного класса погоды в другой. Например, смена III класса на I или VI считается контрастной, а на IX класс — малоконтрастной. При переезде в различные пункты контрастная смена классов погоды может быть и при одноименных или близких по характеристикам классах погоды, вследствие резкого различия в температуре воздуха. При изменении средней суточной температуры воздуха на  $6^{\circ}\text{C}$  переход одноименных или близких по своим характеристикам классов погоды считается контрастным, а на  $10^{\circ}\text{C}$  и более — резкоконтрастным.

Таким образом, из предложенных двух индексов необходимо выбрать тот, который лучше отражает возможность появления патологических реакций у больных. Для решения этой задачи сравним связи индексов изменчивости погоды и повторяемости контрастных смен погоды с частотой инфарктов миокарда, инсуль-

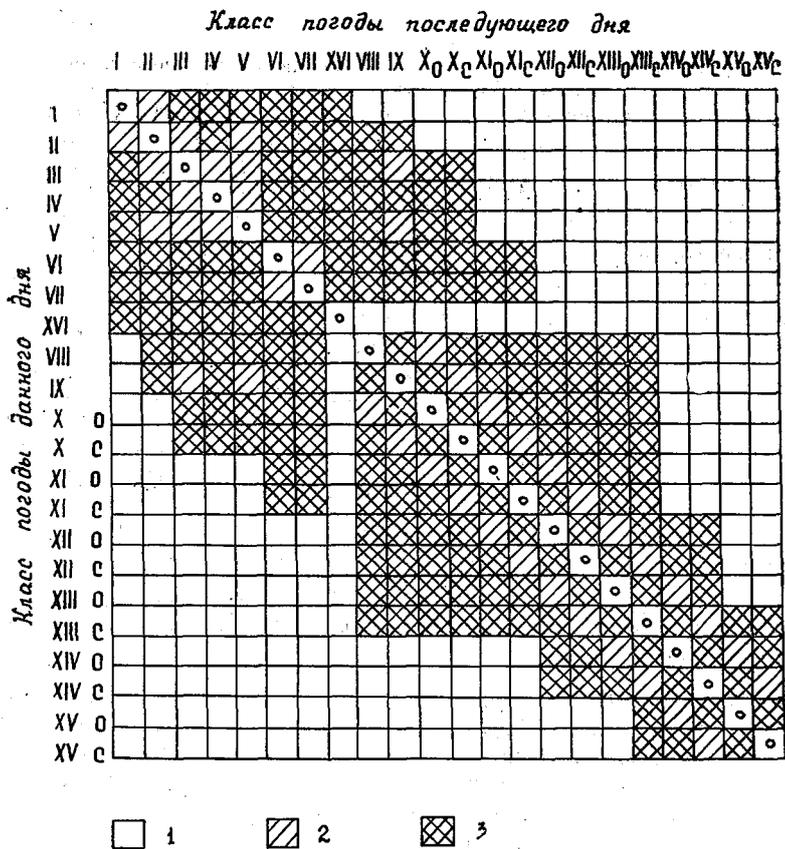


Рис. 4.1. Схема определения контрастности смены погоды: 1 — маловероятные смены погоды; 2 — малоконтрастные; 3 — контрастные; С — солнечный день; О — облачный

тов и тромбозов мозга в Свердловске (табл. 4.1). Для расчета показателей изменчивости погоды использованы ежедневные метеорологические наблюдения на метеорологической станции в Свердловске.

Анализ табл. 4.1 показывает, что наиболее тесная достоверная корреляционная связь оказалась между индексом изменчивости погоды и патологическими реакциями при различных заболеваниях, чем последних с индексом повторяемости контрастных смен погоды. Следовательно, при оценке влияния изменений погоды на больных людей следует отдать предпочтение индексу изменчивости погоды.

Применение косвенного метода определения метеорологического показателя, который лучше отражает влияние погоды на объект, рассмотрим на следующем примере.

Таблица 4.1

Теснота связи между патологическими реакциями больного человека с индексом изменчивости погоды ( $K$ ) и с индексом повторяемости контрастных смен погоды ( $K_n$ )

Показатель		Инфаркты миокарда	Инсульты и тромбозы мозга
Число случаев		220	305
$n$		12	12
$K$	$r \pm m$	$0,605 \pm 0,193$	$0,760 \pm 0,130$
	$P <$	0,05	0,01
$K_n$	$r \pm m$	$0,450 \pm 0,241$	$0,510 \pm 0,220$
	$P <$	0,10	0,05

Здесь  $r$  — коэффициент корреляции;  $m$  — средняя ошибка коэффициента корреляции;  $P$  — степень надежности коэффициента корреляции;  $n$  — число статистических дат.

Для характеристики суровости погоды предложены условная температура воздуха ( $T_y$ ), теплоизоляция одежды в единицах кло ( $C$ ) по М. И. Будыко, ветро-холодовый индекс Сайпла ( $K$ ), эквивалентно-штилевая температура (ЭШТ), тепловое сопротивление одежды ( $R$ ) по Г. М. Кондратьеву, баллы жесткости погоды ( $B$ ) по Бодману и некоторые другие. При расчете показателей суровости погоды всеми показателями учитываются температура воздуха и скорость ветра, а некоторыми из них — ряд физиологических параметров и теплоизоляция одежды. Все они отражают влияние суровости погоды на человека. Чтобы оценить, какой из этих показателей лучше отражает влияние суровости погоды на человека, сначала рассчитывались все показатели за каждый день января по наблюдениям на метеорологической станции Томск, а затем — коэффициенты корреляции между ними (табл. 4.2).

Анализ табл. 4.2 показывает, что условная температура воздуха наиболее тесно коррелирует со всеми показателями, за исключением баллов жесткости погоды. Затем, в зависимости от величины коэффициента корреляции, следует показатель теплоизоляции одежды в единицах кло, ветро-холодовый индекс, эквивалентно-штилевая температура и тепловое сопротивление одежды по Г. М. Кондратьеву. Наименьшая корреляция со всеми показателями оказалась у баллов жесткости погоды по Бодману. Все коэффициенты корреляции вычислены с высокой степенью надежности.

Таблица 4.2

Коэффициенты корреляции между различными показателями суровости погоды

Показатель	$T_y$	$C$	$K$	ЭШТ	$R$
Б	-0,654	0,665	0,755	0,560	-0,586
$R$	-0,967	0,844	0,835	0,936	1
ЭШТ	-0,901	0,754	0,791	1	
$K$	-0,956	0,786	1		
$C$	-0,835	1			

Тесная связь условной температуры воздуха с другими показателями позволила составить уравнения регрессии между ними, что позволило перейти от одних показателей к другим и оценить теплоизоляцию одежды, обеспечивающую тепловой комфорт человеку при различной интенсивности работы. Кроме того, она тесно коррелирует с физиологическими показателями, характеризующими тепловое состояние человека, и отличается простотой расчетов. Таким образом, наилучшим показателем для оценки суровости погоды следует признать условную температуру воздуха.

Покажем на ряде примеров принципы определения нормативов комфортности.

Сопоставление зон комфорта в различных климатах Земли служит объективным показателем оценки условий адаптации и акклиматизации человека. Однако зоны комфорта разных авторов часто оказываются несопоставимыми. Например, зона комфорта, определенная Н. В. Михайловой, для больных туберкулезом легких в Западной Сибири (курорт Лебяжье) равна 18,0—24,0 °С ЭЭТ, зона комфорта В. А. Зарубина в Ялте для больных гипертонической болезнью находится в пределах от 13,5 до 20,3 °С ЭЭТ, а А. Г. Волковой в Иркутске для таких же больных — от 15,0 до 21,7 °С ЭЭТ. Эти различия обусловлены не только индивидуальными особенностями исследуемых, их акклиматизацией, состоянием здоровья и другими факторами, но в значительной степени различным подходом к их определению. В. А. Зарубин за зону комфорта принимал диапазон ЭЭТ, в котором хорошее самочувствие было у 68 % обследованных, А. Г. Волкова — 86 % и Н. В. Михайлова — у 90 % обследованных больных.

Влияние различного подхода к определению зоны комфорта хорошо иллюстрируется примером, заимствованным у Н. С. Темниковой, в котором она приводит границы зоны комфорта, определенные в одном случае, когда хорошее самочувствие отмечалось у 100 % и, во-втором, когда оно было у 75 % обследованных лиц (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Нижняя граница зоны комфорта  
для нормально одетого человека по шкале НЭТ, °С**

Районы	Обеспеченность, %	
	100	75
Внутренние районы:		
Эстония	10—11	6—7
Латвия	12—13	7—8
Литва	12—13	7—8
Побережье Прибалтики	10—12	5—6

Данные табл. 4.3 показывают, что чем выше обеспеченность границ зоны комфорта, тем величина нижней границы будет выше (при всех остальных равных условиях). Верхние пределы зон комфорта будут различными в зависимости от обеспеченности их определения. Отсюда следует, что границы зоны комфорта, определенные по разным методикам как в одном пункте, так и в различных климатических условиях, не сравнимы и поэтому не могут являться показателем возможных сдвигов в организме человека, обусловленных сменой климатических условий.

Чтобы зоны комфорта были сравнимыми, необходима единая методика определения границ зоны комфорта, основой которой является следующее:

1. Показатели, объективно отражающие тепловое состояние человека, нагрузку на терморегуляторную систему и остальные функции организма здорового или больного человека при различной погоде. В условиях погоды, близкой к комфортной, важнейшим критерием оптимального теплового состояния человека является средняя взвешенная температура поверхности тела, близкая к 32—33 °С, и нормальная топография кожной температуры.

2. Однородные группы людей с учетом индивидуальных особенностей человека, его акклиматизации, пола, возраста, условий жизни и других факторов.

3. Интервал, равный среднему значению комплексного метеорологического показателя, отражающего тепловое состояние человека, например ЭЭТ, при котором данные объективного обследования испытуемого свидетельствуют об оптимальном тепловом состоянии, плюс-минус среднее квадратическое отклонение метеорологического показателя. В этом случае тепловой комфорт, в соответствии с законом нормального распределения Гаусса, должен наблюдаться у 68,37 % обследуемых лиц.

Обоснованность такого подхода определения зоны комфорта покажем на примере больных гипертонической болезнью I—II «А» стадии. Для этого используем результаты измерений температуры

поверхности тела в пяти точках по схеме Н. К. Витте, рассчитанные по ним средние взвешенные температуры поверхности тела и данные артериального кровяного давления у 74 больных, обследованных Е. М. Журавлевой, Ю. Г. Станишевской и Э. С. Яковенко при различных сочетаниях температуры, влажности и движения воздуха.

Всего ими проведено 148 наблюдений. По данным метеорологических наблюдений были рассчитаны ЭЭТ по основной шкале, синхронно с наблюдениями за больными (В. И. Русанов и сотрудники).

В качестве объективного критерия оптимального теплового состояния обследованных лиц, принята средняя взвешенная температура поверхности тела, равная 32—33 °С. Такая температура оказалась у 7 обследованных больных при различных величинах ЭЭТ (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Средняя взвешенная температура поверхности тела ( $\theta_w$ ) и ЭЭТ (в °С) в период обследования больных

Больной	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
$\theta_w$	32,7	32,1	32,9	32,0	31,6	32,3	32,7
ЭЭТ	17,0	16,5	20,3	21,0	21,0	19,8	17,0

Артериальное кровяное давление у этих больных во время эксперимента было в следующих пределах: максимальное 136—176, минимальное 93—100 мм рт. столба, что обычно для больных гипертонической болезнью I—II «А» стадии. Последнее свидетельствует об отсутствии в период обследования напряжения сердечно-сосудистой системы. Об оптимальном тепловом состоянии больных в период обследования свидетельствует также частота пульса и теплоощущение.

По данным табл. 4.4 рассчитывается средняя величина ЭЭТ и ее среднее квадратическое отклонение, оказавшиеся равными  $18,8 \pm 2,0$  °С. Отсюда зона комфорта будет в пределах от 16,8 до 20,8 °С.

Для проверки правильности такого подхода сопоставим повторяемость комфортного теплоощущения, полученного в результате опроса 148 обследованных больных, с теоретически полученной повторяемостью (табл. 4.5).

Сопоставление данных показывает, что теоретическое и экспериментальное распределение повторяемости теплоощущения больных существенно не отличаются. Критерий согласия Пирсона ( $\chi^2$ ) оказался равным 3,81, что ниже 5%-ного уровня значимости, то есть сопоставляемые распределения существенно не отличаются.

Таблица 4.5

Повторяемость (%) случаев комфортного теплоощущения, рассчитанного теоретически и по экспериментальным данным

Метод	Число наблюдений	ЭЭТ °С		
		выше 20,8	20,8—16,8	ниже 16,8
Теоретический	7	15,81	68,37	15,81
Экспериментальный	148	11	68	20

Таким образом, на основе эмпирических данных получены нормативы изменчивости погоды  $K$ , характеризующие возможную частоту патологических реакций у метеочувствительных больных.

Следует отметить, что применение этого способа определения зоны комфорта позволяет на сравнительно небольшом количестве экспериментальных наблюдений установить зону комфорта для различных контингентов людей и обеспечивает единый подход к определению зон комфорта, что делает эти зоны сопоставимыми.

#### 4.2. Изменчивость биометеорологических показателей

Оперативная оценка и своевременное прогнозирование изменений состояния здоровья человека под влиянием сложного комплекса метеорологических факторов, в том числе и антропогенных изменений состояния атмосферы, представляет значительные трудности и большой практический интерес. Совместно с сотрудниками и студентами кафедры метеорологии РГГМИ и санитарно-гигиенического института О. П. Сибилевым и В. Н. Колмаковым была проанализирована изменчивость таких биометеорологических показателей, как индекс погоды, тип погоды (по И. В. Бутьевой и В. Ф. Овчаровой), индекс изменчивости погоды, характеристики атмосферного электричества и влияние их на некоторые показатели состояния здоровья человека: состояние гемодинамики, частоту случаев скоропостижной смерти, динамику изменений проницаемости эритроцитарных мембран (ПЭМ).

Одной из характеристик здоровья человека является величина артериального давления и частоты сердечных сокращений (АД и ЧСС), которые, как показали исследования, имеют сезонные изменения и зависят от ряда факторов, в том числе и от барометрической тенденции. Регулярные измерения артериального давления у животных и у людей обнаружили, что АД и ЧСС имеют тенденцию изменяться в зависимости от времени года, имея минимальные значения в зимний сезон года. Максимальные значения АД отмечены в летний, а частоты сердечных сокращений — в осенний период года. На значение АД и ЧСС оказывает влияние и атмосферное давление, понижение которого сопровождается

чаще всего повышением частоты сердечных сокращений и артериального давления. Поэтому можно было предположить, что изменения среднесезонных значений АД и ЧСС связаны с сезонными колебаниями атмосферного давления. Однако более детальный анализ гемодинамики указывает на неоднородность характера воздействий факторов внешней среды (рис. 4.2).

В качестве интегрального показателя здоровья населения мы выбрали величину проницаемости эритроцитарных мембран (ПЭМ) и рассмотрели связь этой величины с комплексом параметров, характеризующих состояние атмосферы. Одним из таких параметров является климатический индекс погоды (индекс патогенности)  $I$ , который определяется параметрами погоды суток: среднесуточной температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, облачностью, межсуточным изменением атмосферного дав-

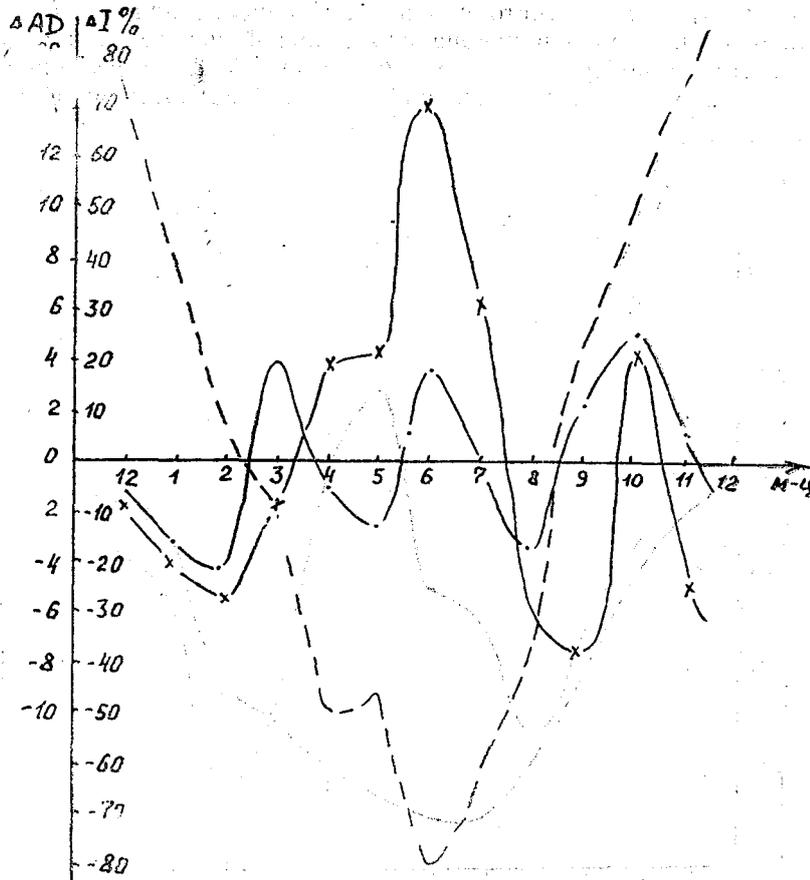


Рис. 4.2. Отклонение от среднегодового значения индекса погоды  $I$  и гемодинамических параметров АД и ГСС. Штрих-пунктирная —  $\Delta$ ЧСС; штрих с крестиком —  $\Delta$ АД; штриховая —  $\Delta I$

ления и температуры. Одновременно рассчитывался индекс изменчивости погоды  $K$  и остальные выше названные биометеорологические характеристики для атмосферы г. Санкт-Петербурга и его окрестностей за период с 1982—1987 гг.

Годовой ход  $I$  (рис. 4.3) показывает, что наиболее благоприятным, с точки зрения величины индекса погоды, является летний сезон, наиболее неблагоприятным — зимний (январь и декабрь). Однако именно летний период отличается максимальными значениями индекса изменчивости погоды. Самая устойчивая погода в городе и его окрестностях отмечается в марте и октябре (рис. 4.3).

В результате антропогенного воздействия в больших городах наблюдается изменение состояния атмосферы: эффект «острова тепла», изменение характеристик ветра, стратификации атмосферы, ее электрического состояния и др. Сравнение индекса  $I$ , рассчитанного для города и района побережья Финского залива, показало, что на побережье в летний и осенний сезон величина  $I$  меньше, чем в городе, а в весенний и зимний периоды — наоборот.

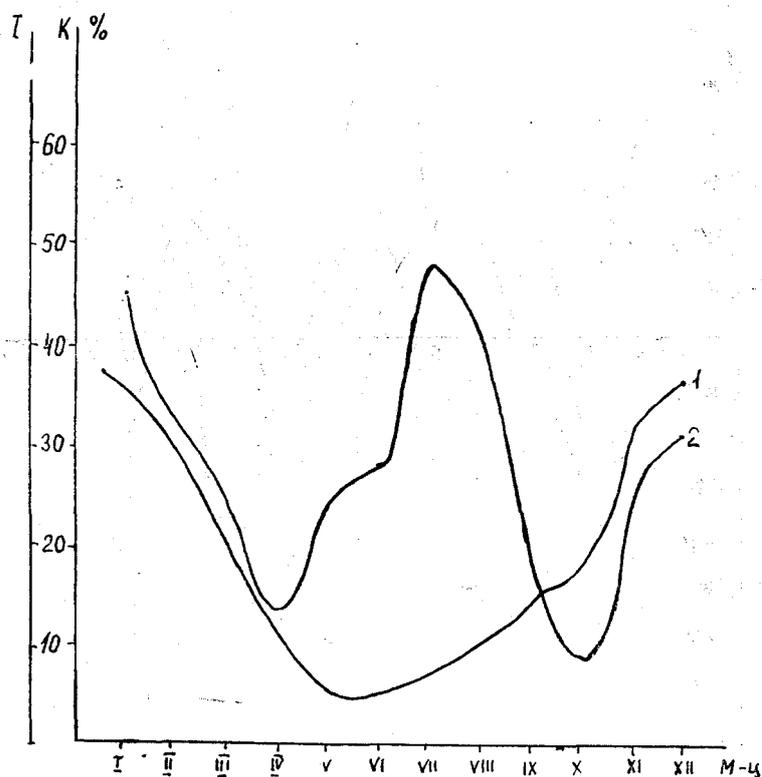


Рис. 4.3. Годовой ход индекса погоды  $I$  (1) и коэффициента изменчивости погоды  $K$  (2)

В разные сезоны года величина  $I$  определяется различными метеорологическими факторами. Зимой такими факторами являются низкие температуры воздуха и высокая влажность. Весной и летом влияние теплового режима ( $i_{\Delta t}$ ) уменьшается (за исключением дней с очень высокими температурами) и величина  $I$  зависит главным образом от межсуточной изменчивости температуры воздуха и атмосферного давления (рис. 4.4).

Исследование связи индекса патогенности с циркуляцией атмосферы показало следующее:

1) весной и летом антициклоны понижают индекс патогенности. Зимой достаточно велика роль антициклонов в появлении острых для человека погодных условий;

2) циклоны без ярко выраженных фронтов наиболее часто понижают  $I$  зимой и летом;

3) влияние атмосферных фронтов зимой незначительно, весной и летом холодный фронт может оказывать раздражающее влияние.

Сезонная зависимость гемодинамических параметров (частота сердечных сокращений — ЧСС и артериальное давление — АД, определяемые регулярно в утренние часы у группы здоровых людей) сопоставлена с годовым ходом индекса погоды и проницаемостью эритроцитарных мембран (ПЭМ). Величина последнего параметра, как показали исследования медиков (В. Н. Колмаков), отражает состояние реактивности и напряженности гомеостаза организма.

Зимний период характеризуется относительно низкими значениями величины ЧСС и АД, отражающими некоторое снижение жизненного тонуса организма, относительно высокими (напряже-

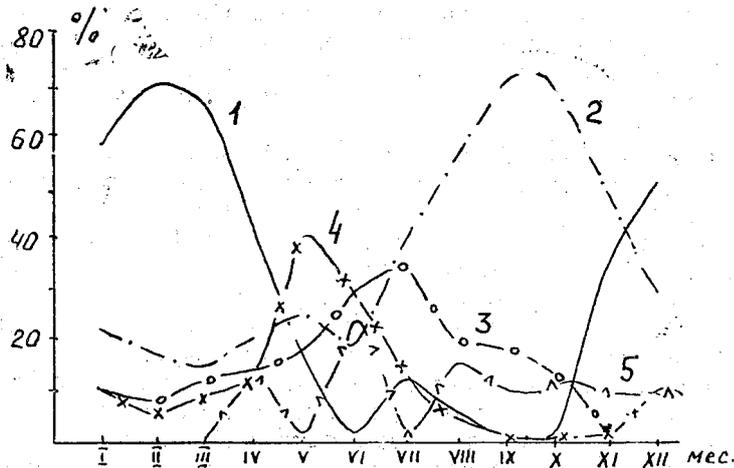


Рис. 4.4. Влияние метеовеличин (%) на значение индекса погоды  $I$ : 1 — температуры  $i_t$ ; 2 — влажности —  $i_e$ ; 3 — облачности —  $i_n$ ; 4 — межсуточной изменчивости температуры —  $i_{\Delta t}$ ; 5 — межсуточной изменчивости давления —  $i_{\Delta p}$ .

ние гомеостаза) значениями ПЭМ и, как мы говорили, высокими значениями  $I$ . В весенний период происходит оптимизация показателей гемодинамики за счет увеличения АД и снижения частоты ЧСС. Величина ПЭМ немного ниже среднегодовых значений; индекс погоды резко понижается. В летний период динамика положительных сдвигов достигает максимума. Осенью наблюдается преимущественное обеспечение процесса кровообращения за счет увеличения ЧСС, рост величины  $I$  и повышение значений ПЭМ (рис. 4.2).

В целом более низкие значения  $I$  сочетаются с благоприятными сдвигами параметров гемодинамики, более низкими средними значениями ПЭМ и более низкой частотой случаев скоропостижной смерти. Коэффициент ранговой корреляции между величиной индекса погоды и частотой случаев скоропостижной смерти  $+0,888$  (по Спирмену). Корреляция между значениями ПЭМ и частотой случаев скоропостижной смерти достигает  $+0,875$  по Спирмену в зимний период.

В другие периоды четкая корреляция между величинами ПЭМ,  $I$  и частотой случаев скоропостижной смерти не обнаруживается. Возможно, это связано со сложным характером отношений между этими величинами: выше уже отмечен различный характер механизмов регуляции гемодинамики в разные сезоны года. Нелинейный характер отношений между индексом погоды и значениями ПЭМ проявляется в том, что небольшие (в пределах 10—15 единиц) изменения величины индекса погоды при ежедневном их сопоставлении вызывают примерно аналогичные однонаправленные сдвиги ПЭМ. Резкие изменения индекса погоды (больше 30 ед. за сут) могут приводить к снижению ПЭМ в результате развития феномена блокирования мембранного аппарата в ответ на резкие изменения внешних условий существования организма (В. И. Колмаков). Такой блок сопровождается угнетением биологической активности и проявляется специфическими изменениями ПЭМ.

Учитывая различный метеопатический эффект при разных типах погоды, нами исследована зависимость между типами погоды, величиной индекса погоды и частотой случаев скоропостижной смерти сердечно-сосудистого гемега в г. Санкт-Петербурге в течение трех лет. Эти данные сопоставлялись также с величиной проницаемости эритроцитарных мембран (ПЭМ) и некоторыми гелиогеофизическими параметрами (величиной планетарного индекса геомагнитной возмущенности  $A_p$  числом Вольфа).

Клинический индекс погоды увеличивается при гипоксическом и гипотензивном типах погоды, минимальные значения  $I$  при тонизирующей погоде, но при этом отмечается большая величина среднеквадратического отклонения  $I$ , т. е. значительные вариации в течение года.

Как показали результаты, максимальная вероятность формирования гипотензивного (ГТ) и гипоксического (Г) типов погоды

наблюдается в зимний период года. Некоторое увеличение повторяемости этих типов погоды наблюдается в сентябре. Спастический (С) тип погоды наиболее часто отмечается в летние месяцы, тонизирующий (Т) — в мае, июле, августе.

Установлен сезонный характер частоты случаев скоропостижной смерти: наибольшая зимой и минимальная летом. Гипотонический тип погоды сопровождался достоверно более высоким уровнем смертности по сравнению с тонизирующей погодой. Отмечены различные величины смертности в зависимости от типов погоды в разные сезоны года (рис. 4.5). Тонизирующая погода сопровождается наименьшим уровнем смертности в летний период года и тенденцией к повышению зимой и весной.

Гипотензивный тип погоды приводит к наибольшему уровню смертности зимой; гипоксическая погода сопровождается максимальной смертностью в весенний и минимальной в летний период. Не обнаружено различий повторяемости смертности по сезонам при спастическом типе погоды.

Анализ зависимости внутрибольничной летальности сердечно-сосудистого генеза в одной из крупных больниц г. Санкт-Петербурга от типа погоды был проведен и в периоды различной сол-

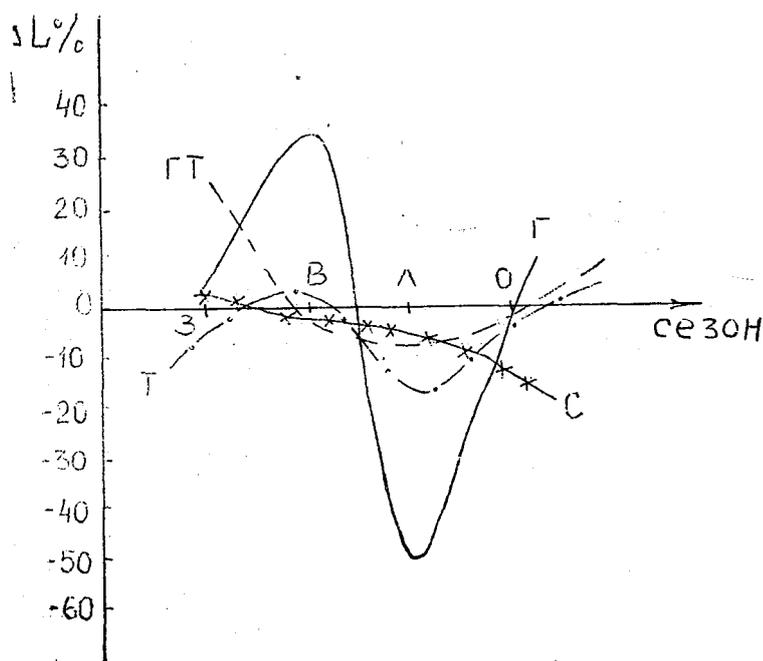


Рис. 4.5. Изменение уровня летальности в зависимости от времени года (З — зима, В — весна, Л — лето, О — осень) и типов погоды

нечной активности (СА). Исследование проведено за период 1975—1977 гг. (ветвь спада СА) и период 1979—1981 гг. (ветвь роста и максимума СА) (рис. 4.6).

Результаты показали, что уровень летальности при всех типах погоды выше в период повышенной солнечной активности; наиболее заметно влияние СА при тонизирующей погоде. В разные периоды года СА в зависимости от типа погоды оказывает различное влияние на уровень летальности. Весной спастический и гипоксический типы погоды вызывают противоположные изменения уровня летальности в зависимости от периода солнечной активности. В фазе понижения СА при спастическом типе погоды наблюдается не понижение, а резкое увеличение смертности, в фазе роста СА ее достоверное снижение по отношению к среднему годовому уровню. Тонизирующая погода наиболее неблагоприятна для больных с поражением сердечно-сосудистой системы зимой и весной в период роста солнечной активности. При других типах погоды не отмечено достоверных различий между сезонами года и периодами солнечной активности.

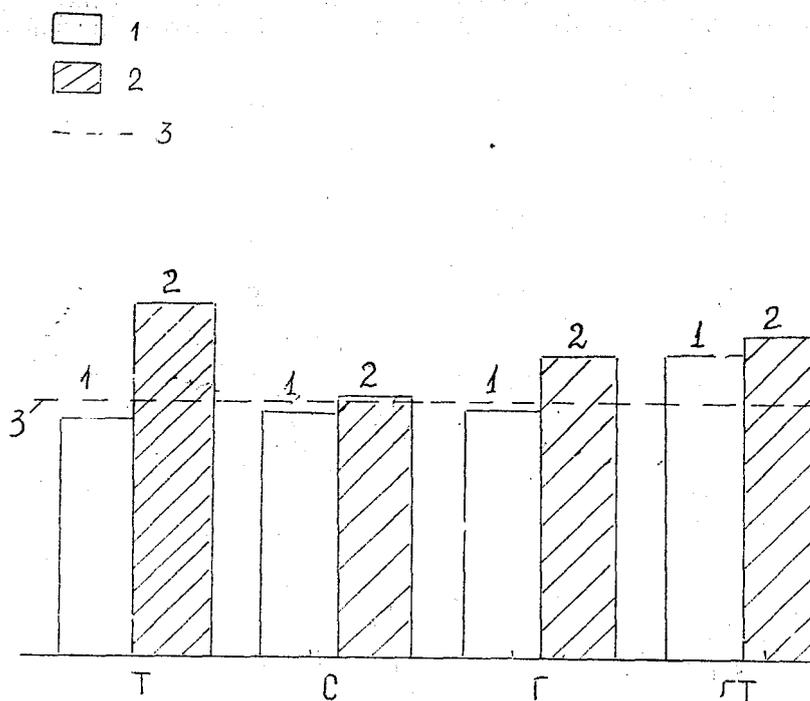


Рис. 4.6. Среднесуточный уровень внутрибольничной летальности от сердечно-сосудистых заболеваний в зависимости от типа погоды: 1 — период спокойного солнца; 2 — период высокой солнечной активности; 3 — средний уровень в период спокойного солнца

Исследования показали, что состояние здоровья человека, оцениваемое изменением ПЭМ, зависит от содержания кислорода в воздухе и параметров электрического поля атмосферы.

Как уже было сказано выше, одной из значимых для человека характеристик являются содержание кислорода  $\rho_{O_2}$  в воздухе и его межсуточная изменчивость  $\Delta\rho$ . В рассматриваемые годы изменение содержания кислорода от суток к суткам достигало  $24 \text{ г/м}^3$ , что составляет 7,3 % наблюдавшегося максимального и 8,2 % минимального значения  $\rho_{O_2}$ . Причем такие большие изменения  $\rho_{O_2}$  наблюдаются и зимой и летом. Известно (Р. Д. Габович, С. С. Познанский), что снижение содержания кислорода в воздухе до 15 или до 13 % может привести к нарушению физиологических функций организма. Изменение плотности кислорода на 7—8 % — предел допустимого для человека.

В основном отрицательное влияние на самочувствие человека оказывает понижение содержания кислорода в воздухе ( $\Delta\rho_-$ ), поэтому рассматривались отдельно погодные условия и показатели здоровья человека при понижении плотности кислорода.

В течение года содержание кислорода в воздухе увеличивается от лета к зиме. Такой же в среднем годовой ход имеет и межсуточная изменчивость плотности кислорода, имея, правда, вторичный максимум в летний период (июнь). Интересно, что летом, так же как и зимой, наблюдаются большие максимальные за месяц значения  $\Delta\rho_+$  и  $\Delta\rho_-$  (рис. 4.7). Расчеты показали, что наблюдается обратная корреляция между величиной ПЭМ и значением межсуточной изменчивости плотности кислорода  $\Delta\rho_-$ .

Расчет коэффициентов корреляции показателей ПЭМ,  $I$  и  $\Delta\rho_-$  при ежедневном их сопоставлении, а также при сдвиге на 1 день назад и вперед позволил установить сезонный характер связи этих величин и время появления реакции организма на отрицательные воздействия метеорологических факторов. Интересно, что уменьшение плотности кислорода в отличие от увеличения индекса  $I$  может предчувствоваться организмом (изменение ПЭМ за день до понижения  $\rho_{O_2}$ ). Отмечается резкое изменение ПЭМ и на следующий день после понижения плотности кислорода.

Наибольшая связь обнаружена между величиной ПЭМ и характеристиками электрического поля атмосферы. Проведены исследования вариации ПЭМ и частоты случаев скоропостижной смерти в зависимости от величины и знака градиента потенциала электрического поля атмосферы и от отношения полярных проводимостей  $K$ . Использован метод наложения эпох. В качестве нулевого (реперного) дня избраны даты значительного увеличения ( $V' > 300 \text{ В/м}$ ) или смены знака ( $V' < 0 \text{ В/м}$ ) градиента потенциала, а также случаи смены достаточно длительных периодов (не менее 3 суток подряд) отношения полярных проводимостей  $K > 1,0$  на  $K < 1,0$  или наоборот. Оказалось, что наиболее резкие колебания частоты смертности и величины ПЭМ наблюдаются

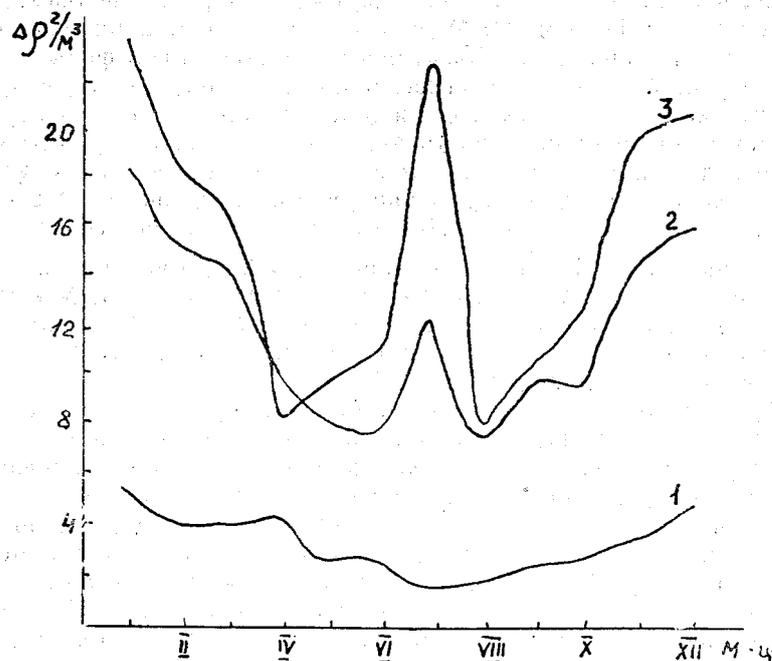


Рис. 4.7. Годовой ход среднемесячного понижения (1) и максимальных по модулю межсуточного понижения (2) и повышения (3) плотности кислорода и понижения (2)

при смене знака  $V'$  и изменении  $K$ . Так, в период от  $-1$  до  $+1$  дней наблюдается резкое увеличение частоты случаев скоропостижной смерти ( $P=0,005$  по критерию Манна — Уитни), ПЭМ резко снижается на  $-2$  и увеличивается на  $+3$  суток по отношению к дате смены знака градиента потенциала (рис. 4.8). При градиенте потенциала больше  $300$  В/м в  $0$  и  $+1$  день отмечается дестабилизация эритроцитных мембран.

Учитывая, что состояние электрического поля значительно влияет на показатели здоровья человека, рассмотрена временная изменчивость характеристик ЭП в районе г. Санкт-Петербурга (ст. Воейково), особое внимание уделено их экстремальным значениям. Рассмотрен годовой ход внутрисуточной и межсуточной изменчивости  $V'$  и среднеквадратического отклонения  $V'$  от среднемесячного значения  $\sigma$ , рассчитаны ежечасные отношения проводимостей  $K$ .

Представим некоторые результаты исследований. Годовой ход величины и изменчивости  $V'$  определяется формой атмосферной циркуляции и синоптическими процессами. Так, наибольшая повторяемость смены знака  $V'$  отмечается при циклоне и перемен-

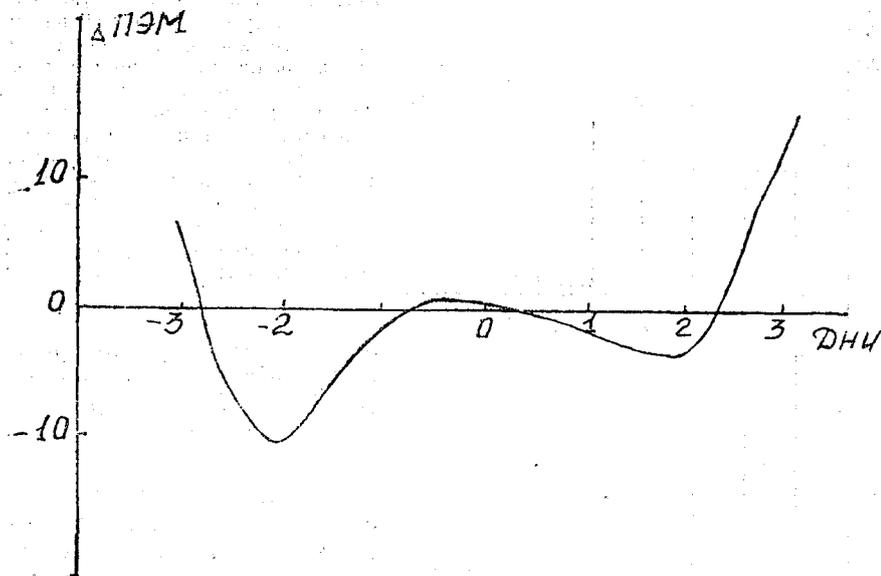


Рис. 4.8. Межсуточная изменчивость ПЭМ до и после дня смены знака градиента потенциала (точка 0)

ном поле (рис. 4.9). Максимальные значения  $K$  наблюдаются в зимние месяцы. Вообще годовой ход отношения  $K$  повторяет годовой ход  $V'$ . Коэффициент корреляции между  $K$  и  $V'$  равен 0,63. Анализ повторяемости различных синоптических ситуаций, приводящих к увеличению  $K$ , показывает, что наиболее благоприятные условия для увеличения  $K$  — переходное поле и антициклональная деятельность. При значении  $K > 1,38$  происходит увеличение ПЭМ, т. е. это, видимо, неблагоприятное состояние для организма человека.

Таким образом, оценивая величину и изменчивость ПЭМ, мы определили неблагоприятные значения параметров состояния атмосферы.

Интересно, что существует достаточно выраженная ( $r=0,84$ ) прямая связь между градиентом потенциала и активностью Солнца, определяемой по числу Вольфа  $W$ . Существует также прямая связь между отношением полярных проводимостей и величиной  $W$ .

В результате проведенных совместно с В. И. Колмаковым исследований можно сделать вывод, что величина ПЭМ может служить параметром, характеризующим реакцию человека на изменчивость метеорологических параметров. Ранее В. И. Колмаковым показано, что ПЭМ является весьма чувствительным индикатором для оценки функционального состояния организма, что в сочетании с быстротой проведения анализа пробы делает ее весьма перспективной для внедрения в практику медико-метеоро-

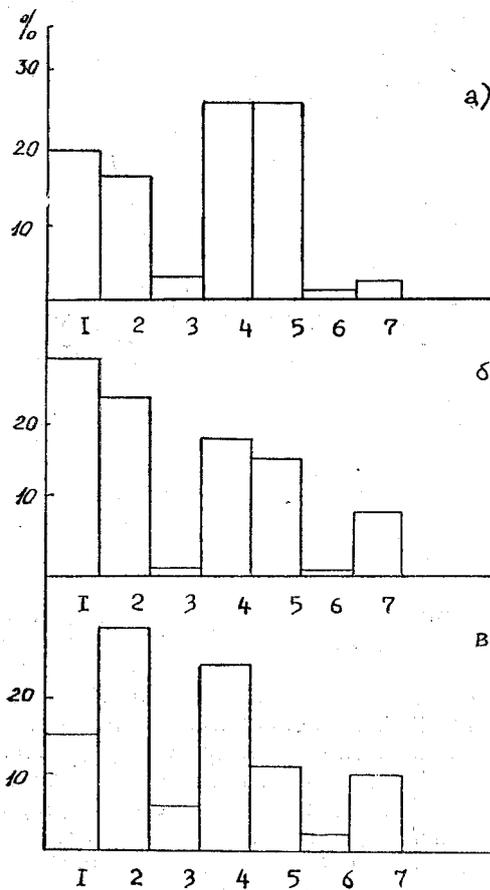


Рис. 4.9. Повторяемость увеличения межсуточной изменчивости плотности кислорода (а), смены знака градиента потенциала электрического поля атмосферы (б) и увеличения коэффициента униполярности (в) выше среднемесячных значений при разных синоптических ситуациях: 1—циклон; 2—переменное поле; 3—малоградиентное поле; 4—антициклон; 5—холодный фронт; 6—теплый фронт; 7—фронт окклюзии.

б) логического прогнозирования. Жаль, что смерть В. И. Колмакова прервала эти интересные исследования.

В целом полученные данные свидетельствуют о сложном характере связи между состоянием атмосферы и параметрами здоровья человека. Это обусловлено как многообразием действующего фактора (комбинация типов общей циркуляции атмосферы, величин отдельных метеорологических параметров, электрическое состояние атмосферы и т. д.), так и различиями исходного состояния биологической системы.

Полученные выводы требуют, конечно, дальнейшего подтверждения на материале нескольких крупных больниц, поликлинической системе города, данных скорой помощи и судмедэкспертизы. В случае их подтверждения они окажутся ценной информацией для организации действенной службы прогнозирования состояния здоровья в зависимости от действия факторов окружающей среды.

Одним из реальных путей решения этой сложной задачи может быть разработка и создание комплексной системы метеорологического и медицинского анализа, рассматривающей, наряду с общепринятыми параметрами, и изучение отдельных биологических величин, являющихся показателями здоровья человека.

## 5. ОСНОВЫ МЕДИЦИНСКОГО ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

### 5.1. Обоснование и значение метеорологического прогнозирования для медицины

Благодаря автоматически функционирующим регулирующим механизмам (например, терморегуляции) человек может легко приспособиваться даже к значительным изменениям метеорологической ситуации. Физиологической адаптации способствует также поведение человека, привычки, подбор одежды, учет структуры окружающей среды. Однако даже здоровый человек может ощущать метеотропную реакцию организма. Исследования сотрудников службы погоды ФРГ показали, что при комфортных условиях только 5 % наблюдаемых чувствуют себя недостаточно хорошо. При условиях, характеризующихся как теплые или холодные, уже 75 % наблюдаемых ощущают недомогание. Реакция людей на окружающую среду включает физиологические, поведенческие и психологические реакции. Поиск универсальной шкалы комфорта или дискомфорта ограничивается в основном физиологическими реакциями. Поведенческие реакции нейтрализуются при определенных защитных условиях (одежда или условия помещения). Нарушение функций регулирующих механизмов в организме человека приводит к усилению патогенных реакций организма, которые могут быть значительно ослаблены профилактикой при известном медицинском прогнозе погоды.

Достаточно точные связи между степенью реакции и воздействием погодных условий на человека пока не установлены.

Атмосфера, как и человеческий организм, представляет собой сложный механизм. Как сказал известный математик Ван Ньютен, человек представляет собой самую сложную систему, а за ним по сложности идет атмосфера Земли. Нельзя полностью описать атмосферу и человеческий организм путем измерений, наблюдений и вычислений, используя несколько обобщенных переменных. Как кровяное давление или температура тела не содержат всей информации о состоянии организма, так и температура воздуха или температурный индекс не могут содержать всей информации об атмосфере, даже если метеорологические параметры находятся в некоторой связи между собой.

Для специалиста, занимающегося биометеорологией, очевидно, что существует связь между двумя системами: атмосфера и человек. Однако проблема этой взаимосвязи еще не решена.

Мы уже говорили о нескольких причинных связях между метеорологическими переменными и человеческим организмом. Условия теплообмена для регулирования температуры тела человека могут быть достаточно точно вычислены с помощью разработанных моделей теплового баланса.

Ряд ученых пытается объяснить биотропию исключительно условиями теплообмена. В этом случае реакция организма на ме-

теорологические условия будет просто выражением температурного дискомфорта. Проблема теплового баланса очень важна, так как система терморегуляции организма сама оказывает влияние на все другие системы физиологической регуляции. Но учет лишь одного теплового режима при медицинском прогнозе погоды, безусловно, недостаточен.

С точки зрения метеоролога трудно понять, как, например, наружные температурные условия могут влиять на людей, которые, по крайней мере зимой, живут и работают в отапливаемых помещениях. Ряд авторов определили корреляционную связь между средней месячной температурой в помещении  $T_i$ , вне помещения  $T_m$  и так называемой проектной термически нейтральной температурой  $T_\phi$ , т. е. температурой, при которой человек ощущает тепловой комфорт. Уравнение для  $T_\phi$  (Аулисвемс, 1983) имеет вид

$$T_\phi = 0,48 T_i + 0,14 T_m + 9,22^\circ\text{C}.$$

Из сказанного ранее ясно, что человеку, интересующемуся влиянием погоды на организм, полезно знать изменчивость погоды за определенные периоды. Если взять сезонные колебания температуры воздуха в средних широтах, то можно говорить о плавной, почти синусоидальной кривой. Более или менее резко выраженные дневные колебания температуры накладываются на средние значения. Для некоторых районов эти изменения температуры носят непродолжительный характер. Разница в средних месячных значениях за январь и июль в Центральной Европе равна 15—18 К, одновременно она является и амплитудой температуры для ясного летнего дня. А для теплового баланса человеческого организма такая амплитуда может быть при переходе с затененной стороны улицы на солнечную при безветрии. Поэтому неясно, какая температура будет типичной в определенной местности для использования ее в медико-метеорологической статистике, где, например, нужны данные о частоте заболеваний за сутки? В прогнозе погоды для медицинских целей используется и межсуточная изменчивость температуры воздуха. Однако при использовании прогноза погоды следует учитывать и влияние условий жизни человека, в том числе влияние города на изменчивость метеорологического режима атмосферы (температуры, влажности, ветрового, радиационного режима атмосферы и т. д.).

Несмотря на неопределенность влияния состояния атмосферы на конкретного человека в любом регионе, в настоящее время во многих странах есть достаточно исследований по определению метеотропных реакций у групп людей. Безусловно, подобные исследования должны быть проведены в местных условиях, где предполагается составление прогноза погоды для медицинских целей.

Используя найденные связи между состоянием здоровья человека и метеорологическими величинами, а также определенную классификацию погоды для медицинских целей, возможно состав-

ление медицинского прогноза погоды, который будет более точным, если учитывать изменчивость электрического и магнитного поля.

Необходимость медицинского прогноза погоды объясняется тем, что «биотропия погоды» — добавочный риск для человека, так как реакция отдельного организма на метеорологическое воздействие не всегда известна.

Информация о наблюдаемом и ожидаемом биотропном воздействии погоды может помочь медику узнать о возможном влиянии окружающей среды на организм, определить чувствительность к погоде, отличить, вызвано ли ухудшение здоровья или заболевание изменениями погоды или какими-либо органическими причинами.

Медико-метеорологическую информацию население получает через средства массовой информации или работников здравоохранения. Сводка погоды для врачей в ФРГ, например, предлагается только для медицинских работников. Составлен «Каталог метеотропных болезней» для биопргноза. Из этого каталога выбираются те болезни, для которых требуется получить сведения об опасности среднего и сильного воздействия погоды. Предупреждения поступают по телефону или в виде телекса в зашифрованной форме. В статической части видеотекста представлены: четыре класса погоды с их биотропной интенсивностью, характерные воздействия на организм, вызванные погодными процессами, прохождение фронтов и изменение воздушных масс. В динамической части видеотекста содержится текущая информация об ожидаемом развитии погоды в ближайшие 24 ч, о степени влияния погоды на болезни и о возможных нарушениях общего характера.

Безусловно, медицинские прогнозы погоды имеют значение не только для здоровья отдельных людей, но и для национальной экономики.

## **5.2. Основные принципы прогноза погоды для медицинских целей**

Впервые медицинские гелиогеофизические прогнозы составлялись еще в начале века. До второй мировой войны метеорологи, работая вместе с врачами, изучали связь синоптических процессов с метеорологическим режимом атмосферы и воздействие атмосферы на человека с целью определения возможности прогноза погоды с медицинской целью.

В настоящее время основу медико-метеорологического прогнозирования составляют два ведущих фактора: синоптические процессы и обусловленные ими метеорологические величины, определяющие кислородный режим атмосферы и условия теплоощущения человека. В медицинском прогнозе учитываются и характеристики электрического и магнитного полей.

Для прогнозирования погодных условий в медицинских целях в странах СНГ применяется морфодинамическая медицинская классификация погоды, предложенная И. И. Григорьевым и И. Г. Пармоновым (табл. 5.1).

**Медицинская типизация погоды в зависимости  
и комплекса метеозаэментов и**

	Весьма благоприятная погода	Благоприятная погода
Барические образования Атмосферные фронты Восходящие токи Суточный ход метеозаэментов Изменение давления, температуры Скорость ветра Изменение весового содержания O <sub>2</sub> Атмосферные явления  Напряженность атмосферного электрического поля Ионный состав воздуха Коэффициент униполярности ионов  Магнитное поле Земли	Область повышенного давления Отсутствуют Слабые Нормальный, устойчивый  Не более 1 гПа/3 ч  0—5 м/с Незначительно ±5 г/кг  Опасных не наблюдается. Зимой—туман, морось, летом—кучевые облака без осадков Близка к нормальной, отсутствуют заметные колебания поля Существенно не меняется 0,3—1,5  Вариации единицы и десятки гамм, по склонению 0,3 рад	Выражены слабо  Размытые Незначительные Нормальный  Не более 1—2 гПа/3 ч  Не более 7—11 м/с Не более ±10 г/кг  Опасных не наблюдается. Зимой—снег, летом—кратковременные дожди, грозы Близка к нормальной, отсутствуют заметные колебания поля Существенно не меняется 0,3—1,5  Вариации десятки и сотни гамм, по склонению 0,4—0,5 рад

Медицинский прогноз погоды (МПП) составляется на сутки и более длительные сроки (48—72 ч) на основании анализа аэрооптических материалов (приземных и высотных карт, диаграмм и др.) с учетом особенностей мезоклиматических условий, а также информации от метеорологических искусственных спутников Земли и радиолокационных станций.

В прогнозах указывается ожидаемое изменение следующих метеорологических величин и явлений, а также геофизических характеристик:

1. Осадки и явления погоды (гроза, туман, шквал, метель, пыльная буря);
2. Характеристики ветра;
3. Изменение атмосферного давления (гПа) за 12 ч, его среднее изменение за 3 ч с подробной характеристикой барической тенденции.
4. Изменение температуры воздуха в °С за 12 ч;
5. Изменение относительной влажности воздуха за 12 ч;
6. Напряженность атмосферного электрического поля в приземном слое воздуха за 12—24 ч.

Таблица 5.1

от ожидаемых атмосферных процессов  
геофизических характеристик

Неблагоприятная погода	Особо неблагоприятная погода
Неглубокий циклон или ложбина	Активный циклон или глубокая ложбина
Достаточно выражены	Резко выражены
До 50—100 гПа/12 ч	Более 100 гПа/12 ч
Нормальный ход нарушен	Резкое скачкообразное изменение
До 4 гПа/3 ч, не более 7—10 °С за 12 ч	5 гПа/3 ч и более, 10—20 °С и более при АФ 20—40 % и более
Порывы до 15—18 м/с ±10—20 г/кг	Порывы до 19 м/с и более ±20 г/кг
Непродолжительные грозы, ливни, шквалы, метели	Сильные грозы, ливни, шквалы, метели, пыльные бури
Отличается от нормальной, отчетливые колебания, кратковременные, резкие, большие колебания поля	Значительное отличие от нормальной, большие и резкие колебания поля
Концентрация ионов меняется заметно	Концентрация ионов обоих знаков меняется очень сильно
Более 1,5	Значительно меняется во времени: возрастает до нескольких единиц, понижается до десятых
Вариации сотни и тысячи гамм, по склонению 0,6—1,0 рад	Вариации десятки и сотни тысяч гамм, по склонению 1,0 рад

7. Состояние магнитного поля Земли в период регистрации данных;

8. Весовое содержание кислорода воздуха, г/кг.

Некоторые исследователи рекомендуют использовать при составлении МПП различные показатели теплового состояния человека, которые для данного района хорошо согласуются с объективной оценкой влияния метеорологических величин на состояние здоровья человека.

В теплое время года рекомендуется рассчитывать и прогнозировать ЭЭТ и РЭЭТ или величину избытка (дефицита) тепла, используя корреляционную связь этой величины с ЭЭТ.

В холодное время года при отрицательных температурах воздуха рекомендуется определять степень суровости по шкале Бормана.

На основании анализа ожидаемого развития атмосферных процессов и указанных метеорологических величин и явлений, а также данных о геофизических характеристиках определяется медицинский тип погоды. И. И. Григорьев, И. Г. Парамонов и М. М. Тен дают следующие рекомендации по прогнозированию

основных величин медицинских прогнозов погоды: ожидаемое изменение атмосферного давления определяется на основе анализа и прогноза барического поля за соответствующий период. Если предполагается прохождение циклона (антициклона), ложбины (гребня), необходимо с учетом времени их прохождения прогнозировать смену знака барометрической тенденции и по изменению интенсивности барического образования определить величину падения (роста) и сменившего его роста (падения) давления. В антициклоническом или малоградиентном барическом поле при нормальном суточном ходе метеоэлементов погоды следует прогнозировать второй тип погоды. Если же эти изменения будут обусловлены развитием циклонической деятельности, прохождением фронтальных разделов или интенсивным выносом теплого воздуха, должен прогнозироваться третий тип погоды (по И. И. Григорьеву).

При ожидаемом антициклоническом или малоградиентном барическом поле без смены воздушных масс, даже в случае большой суточной амплитуды температуры, погоду следует относить к первому или второму, т. е. благоприятному для здоровья человека, типу. При этом следует учитывать и относительную влажность, так как если при нормальном суточном изменении температуры ожидается высокая относительная влажность, погоду следует относить к третьему (неблагоприятному) типу погоды.

Для определения медицинского типа погоды следует учитывать особенности режима ветра в конкретной местности. Важную роль играют местные ветры, существенно влияющие на суточный ход метеовеличин и других геофизических характеристик (весовое содержание кислорода, число положительных и отрицательных ионов).

Прогноз относительной влажности составляется с учетом ее суточного хода, возможной смены воздушной массы, увлажнения воздуха осадками, иссушения под влиянием фёна и т. п. Первый и второй типы погоды характеризуются нормальным суточным ходом относительной влажности, третий тип — повышенной влажностью за счет туманов или выпадения дождей; заменой сухой воздушной массы влажной и наоборот.

Весовое содержание кислорода в приземном слое атмосферы определяется с помощью уравнения состояния, из которого следует, что зависящее, главным образом, от давления и температуры воздуха, должно уменьшаться при прохождении (приближении) передней части циклона (ложбины) и теплого сектора циклона и повышаться при прохождении тыловой части циклона (ложбины) и похолодании.

Ионный состав атмосферы изменяется под воздействием космических лучей, радиоактивности почвы и атмосферы, местных источников ионизаций. В различных воздушных массах в зависимости от условий их формирования, сезона года, местных условий и степени их трансформации ионный спектр может изменяться

в широких пределах. Для определения медицинского типа погоды следует в каждом регионе провести исследования особенностей изменчивости ионизации воздуха при различном состоянии атмосферы.

Электромагнитное состояние атмосферы определяется уровнем земного магнетизма, изменением солнечной активности и местными электромагнитными возмущениями, возникающими в зоне атмосферных фронтов. Наличие в атмосфере длинных электромагнитных волн тесно связано с метеорологической обстановкой. Обычно эти волны усиливаются перед глубокими барическими депрессиями и почти всегда наблюдаются в тропическом воздухе.

Оправдываемость медицинских прогнозов погоды производится по табл. 5.2.

Таблица 5.2

Оправдываемость медицинских прогнозов погоды

Дано в прогнозе	Фактически наблюдающийся тип погоды			
	I	II	III	IV
Тип I	+	+	-	-
Тип II	+	+	-	-
Тип III	-	-	+	+
Тип IV	-	-	+	+

ПРИМЕЧАНИЕ. «+» — прогноз оправдался, «-» — прогноз не оправдался.

Прогнозы считаются оправдавшимися в следующих случаях:

а) если прогнозом предусматривался тип погоды II или III и фактически изменения всех элементов погоды соответствовали этим типам (за исключением случаев, когда температура и влажность превышали соответственно 28°C и 70%);

б) если прогнозом предусматривался тип погоды III и IV и фактически наблюдался хотя бы один из элементов погоды, соответствующих этим типам.

Оценка предупреждений об особо опасных и опасных явлениях погоды производится в соответствии с «Наставлениями по службе прогнозов», разд. 2, ч. III и V.

Порядок составления прогноза следующий:

1. Составляется таблица, в которую заносят значения метеоэлементов.

2. Рассчитываются содержание кислорода и его межсуточная изменчивость.

3. Рассчитываются различные индексы и биометеорологические показатели.

4. Оценивается синоптическая ситуация и ее возможные изменения.

5. Оценивается прогноз по табл. 5.3, в результате которого определяют медицинский тип погоды.

Таблица 5.3

## Рабочая схема оценки погодных условий для медицинских целей

Характеристики погоды с медицинской точки зрения	Характеристика синоптической ситуации	Тенденции основных метеозлементов
Устойчивая, индифферентная	Малоподвижный антициклон без атмосферных фронтов	$P$ Без существенных изменений $T$ $e$ $f$ $O_2$
Неустойчивая, с переходом индифферентной в «спастический» тип	Разрушение антициклона. Приближение отрога, гребня, безградиентная область повышенного давления. Приближение ХФ или ФФ по типу холодного	$P$ ↑ $T_a$ + $T_b$ - $e$ + $f$ + $O_2$ ↓
Погода «спастическо-го» типа	Установление отрога, гребня, область повышенного давления, прохождение холодного фронта окклюзии по типу холодного	$P$ + $T_a$ - $T_b$ + $e$ - $f$ - $O_2$ +
Неустойчивая, «спастического» типа с элементами погоды «гипоксического» типа	Удаление отрога, гребня, безградиентная область повышенного давления. Удаление ХФ или ФФ по типу холодного	$P$ ↑ $T_a$ - $T_b$ + $e$ + $f$ + $O_2$ ↓
Погода «гипоксического» типа	Установление циклона, ложбины, седловины, безградиентной области пониженного давления	$P$ - $T_a$ + $T_b$ - $e$ + $f$ + $O_2$ -
Неустойчивая «гипоксического» типа с элементами погоды «спастического» типа	Удаление циклона, ложбины, седловины, удаление ТФ или ФФ по типу теплового приближения отрога, гребня, обл. повыш. давления, ХФ или ФФ по типу холодного	$P$ ↑ $T_a$ - $T_b$ + $e$ + $f$ + $O_2$ -
Переход погоды «спастического» типа в устойчивую индифферентную	Стационарирование антициклона вслед за ХФ. Формирование местного антициклона	$P$ + $T_a$ - $T_b$ + $e$ - $f$ - $O_2$ +

ПРИМЕЧАНИЕ. ↑(↓) — тенденция к повышению (понижению); +(-) — повышение, понижение;  $T_a$  — температура в холодный период,  $T_b$  — температура в теплый период.

Медицинский прогноз погоды может быть использован в медико-профилактических целях на транспорте (автомобильном, железнодорожном, авиационном), на фабриках и заводах, где применяются сложные и точные технические механизмы, в учреждениях с повышенными психоаналитическими требованиями к сотрудникам. Медицинский прогноз погоды может быть использован для профилактики метеотропных реакций у больных.

Осуществление мероприятий по комплексной метеопрофилактике в условиях научно-технического прогресса является важнейшей составной частью деятельности медицинских учреждений и учреждений гидрометеорологической службы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования влияния состояния атмосферы на человека показали, что метеорологическая и климатологическая информация должна не только широко использоваться в медицине, но и соответствовать требованиям, предъявляемым к ней при решении вопросов, связанных со здоровьем человека. Можно выделить шесть наиболее важных аспектов жизнедеятельности и здоровья людей, на которые состояние атмосферы оказывает прямое или косвенное влияние:

1. Климат внутри и вне помещения.
2. Профессиональная деятельность, продолжительность, степень нагрузки.
3. Спорт и отдых.
4. Путешествия, отпуск и миграция.
5. Профилактика заболеваний, восстановление работоспособности.
6. Заболеваемость и смертность.

Некоторые из аспектов можно подразделить в соответствии со спецификой определенных биологических параметров. Например, профессиональная деятельность может протекать как при высоких, так и при низких температурах. Биологические данные необходимо координировать с климатологическими, учитывать пределы интенсивности, желательные, допустимые и непереносимые климатические условия.

Безусловно, представляет интерес и экономическое значение метеорологии и климатологии для решения проблем здоровья человека. Правда, расчет экономических затрат, необходимых для решения задач биометеорологии, и оценка значения климатической информации для прогноза состояния здоровья людей затруднены по причинам низкого качества оценки здоровья человека, сложности выбора критерия воздействия атмосферы на человека для экономических расчетов. Так, оценка воздействия загрязнения атмосферы может проводиться по нескольким показателям:

1. Изменения в пределах нормального диапазона показателя состояния здоровья (например, в результате работы легких). Но в этом случае не учитывается ущерб, наносимый производственной деятельностью, и, следовательно, нельзя определить возможные экономические затраты.

2. Учета заболеваемости по фактам госпитализации. Но сложно получить оценку чистой экономии для больниц в случае умень-

шения примесей в воздухе. Трудно оценить в денежных выражениях отсутствие учеников на занятиях в школе или отсутствие на работе с точки зрения потери продукции. Многие исследователи считают, что имеющиеся данные слишком ненадежны для эпидемиологических оценок.

3. Учета состояния здравоохранения по уровню смертности. Калксутейн (США) рассчитал, что потепление климата из-за парникового эффекта вызовет повышение летней максимальной температуры на  $2,2^{\circ}\text{C}$ , что увеличит число смертей за лето от 310 до 1350. Неясно, как оценить стоимость человеческой жизни.

В качестве критерия оценки экономической эффективности биометеорологических исследований в некоторых странах является факт снижения поступления в больницу на одного человека в день в результате учета метеорологической информации.

В США ежегодная сумма, выделяемая на биомедицинские исследования, составляет 5,8 млрд долл. в общественном секторе и 4 млрд долл. в частном. Даже если доля средств, затрачиваемых на климатические исследования, мала, она все же будет давать большой экономический эффект. Климатологическая информация может дать значительные экономленные средства, считают американские специалисты, даже если средства учитывать только с точки зрения экономического эффекта от усовершенствования биометеорологических исследований.

Мани (Австрия) при оценке роли климатологической информации рассматривает отдельно сведения о загрязнении воздуха и климатологическую информацию. Научно-медицинские организации могут представлять информацию об общих суммах, выделяемых ежегодно на медицинские исследования, а также о суммах, затрачиваемых ежегодно на соответствующие эпидемиологические исследования.

Однако даже приближенная количественная оценка факторов, способствующих улучшению здоровья населения, говорит, что экономическая выгода от расходов на подобные исследования может возрасти в 10 раз.

При эпидемиологических исследованиях большую пользу может принести климатологическая информация. Не все научно-медицинские организации могут представить сведения о том, какой процент климатологических данных используется в указанных исследованиях. Полагают, что 10 % эпидемиологических и 5 % подобных исследований, связанных с загрязнением воздуха, включают климатологическую информацию, что увеличивает ее экономическое значение при медицинских исследованиях.

В США до 20 % расходов тратится на подготовку бюллетеня о воздействии окружающей среды на человека, куда включается климатологическая информация и информация о загрязнении воздуха (в том числе и обзоры метеорологических полей). Исследования специалистов Северной Америки показали, что экономический эффект от использования метеорологической информации о

загрязнении воздуха для технических целей составляет 5 млрд. долл., а о влиянии климата и загрязнения на человека — 5 млн. долл.

Таким образом, метеорологическая и климатологическая информация имеет большое значение для оценки здоровья человека, однако традиционные экономические методы учета ущерба, нанесенного загрязнением атмосферы, не подходят для определения оценки воздействия атмосферных примесей на здоровье человека.

Погода и климат влияют на повседневную жизнь человека и ему необходимо контролировать состояние здоровья в часто меняющихся атмосферных условиях. Социальное значение решения проблем влияния окружающей среды на здоровье и благополучие человека очень велико. Поэтому необходимо накапливать все больше знаний о взаимосвязи человека и атмосферы, решая эти проблемы совместными усилиями медиков и метеорологов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ассман Д. Чувствительность человека к погоде. — Л.: Гидрометеоздат, 1966. — 247 с.
2. Бокша В. Г., Богуцкий Б. В. Медицинская климатология и климатотерапия. — Киев: Здоров'я, 1980. — 262 с.
3. Воронин Н. М. Основы медицинской и биологической климатологии. — М.: Медицина, 1981. — 350 с.
4. Мерков Б. П., Найшуллер М. Г. Влияние атмосферных процессов и погоды на организм человека. — Обнинск. Метеорологическая обзорная информация, 1985, вып. 5.
5. Русанов В. И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. Учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981. — 86 с.
6. Смит А. Прикладная метеорология. — Л.: Гидрометеоздат, 1979.
7. Троян П. Экологическая биоклиматология. — М.: Высшая школа, 1988. — 205 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Введение . . . . .	4
1. Воздействие атмосферы на человека . . . . .	6
1.1. Атмосферные факторы, влияющие на человека . . . . .	—
1.2. Методы оценки состояния атмосферы в биометеорологии . . . . .	13
1.3. Тепловой баланс человека . . . . .	23
1.4. Современные экологические проблемы атмосферы . . . . .	30
2. Влияние электрических и магнитных полей на человека . . . . .	33
2.1. Некоторые вопросы ионизации воздуха . . . . .	—
2.2. Электромагнитные поля и их влияние на человека . . . . .	37
3. Классификация погоды для медицинских целей . . . . .	43
3.1. Классификация погоды момента . . . . .	—
3.2. Некоторые методы классификации погоды . . . . .	51
4. Некоторые результаты биометеорологических исследований . . . . .	59
4.1. Выбор метеорологических показателей . . . . .	60
4.2. Изменчивость биометеорологических показателей . . . . .	66
5. Основы медицинского прогноза погоды . . . . .	77
5.1. Обоснование и значение метеорологического прогнозирования для медицины . . . . .	—
5.2. Основные принципы прогноза погоды для медицинских целей . . . . .	79
Заключение . . . . .	86
Литература . . . . .	88

## CONTENTS

Preface . . . . .	3
Introduction . . . . .	4
1. Influence of the atmosphere on human health . . . . .	6
1.1. Atmospheric factors exerting influence on human health . . . . .	—
1.2. Methods of estimation of atmospheric state in biometeorology . . . . .	13
1.3. Human thermal balance . . . . .	23
1.4. Contemporary ecological problems of the atmosphere . . . . .	30
2. Influence of electric and magnetic fields on a human being . . . . .	33
2.1. Some problem of air ionisation . . . . .	—
2.2. Electromagnetic fields and their influence on a human being . . . . .	37
3. Weather classification for medical purposes . . . . .	43
3.1. Classification of the weather at a given moment . . . . .	—
3.2. Some methods of weather classification . . . . .	51
4. Some results of biometeorological research . . . . .	59
4.1. Selection of biometeorological parametrs . . . . .	60
4.2. Variability of biometeorological parametrs . . . . .	66
5. Fundamentals of medical weather forecasting . . . . .	77
5.1. Explanation and significance of meteorological forecasting for use in medicine . . . . .	—
5.2. Principles of wearther forecasting for medical purposes . . . . .	79
Conclusion . . . . .	86
References . . . . .	88

Елена Георгиевна Головина  
Владимир Иванович Русанов

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ БИОМЕТЕОРОЛОГИИ

Учебное пособие

Редактор **О. С. Крайнова**  
ЛР № 020309 от 28.11.91.

---

Сдано в набор 27.07. 1993 г. Подписано в печать 25.11. 1993 г.  
Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага тип. № 2. Лит. гарн. Печать высокая.  
Печ. л. 5,6. Уч.-изд. л. 6 Тир. 700 Зак. 403  
РГГМИ. 195196. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

---

Типография ВАС