

ГЛАВА 9. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ГОРОДАХ

9.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Возрастает потребность в проведении метеорологических наблюдений в городских районах. Население городов продолжает увеличиваться, и к метеорологическим службам все чаще обращаются за предоставлением метеорологических данных для поддержки детализированных прогнозов гражданам, а также для таких областей как городское планирование и архитектура, энергосбережение, транспорт и связь, качество воздуха и здравоохранение, ливневая нагрузка и ветроэнергетика, страхование и чрезвычайные меры. В то же время метеорологические службы сталкиваются с трудностями при проведении в городах наблюдений, которые не вызывают сомнений. Это объясняется тем, что большинство действующих метеорологических площадок не соответствуют стандартным требованиям руководящих документов относительно выбора места размещения и установки приборов, изложенных в [томе I](#) настоящего Руководства, из-за искажения воздушного потока и радиационного обмена зданиями и деревьями, искусственным поверхностным покрытием, теплом отработавших газов и водяным паром, образующимися в результате деятельности человека.

В этой главе содержится информация, содержащая рекомендации по выбору площадок, установке метеорологической станции и интерпретации данных, поступающих из городского района. В частности, в ней рассматривается случай «типовой» климатической станции. Несмотря на сложный и неоднородный характер городской окружающей среды, проведение полезных и систематических наблюдений возможно. Любая площадка для наблюдений представляет собой уникальную возможность. Для обеспечения надежности данных наблюдений необходимо внимательно следовать определенным принципам и концепциям, которые являются особенными для городских районов. Кроме того, от физического лица, которое устанавливает и эксплуатирует данную станцию, требуется применение этих принципов и концепций разумным и гибким образом, чтобы учитывать реальности наблюдаемой окружающей среды в конкретном месте. Жесткие «правила» дают мало пользы. Необходимость проявлять гибкость несколько противоречит общему понятию стандартизации, которая поощряется в качестве практики ВМО в области наблюдений. В городских районах приходится иногда идти на установку приборов над нестандартными поверхностями на нестандартных высотах, разбивать наблюдения между двумя или несколькими местоположениями или быть ближе, чем обычно, к строениям или участкам выделения тепла.

Единицы измерения и приборы, используемые в городских районах, являются такими же, что и для других видов наблюдений окружающей среды. В этой связи в настоящей главе рассматриваются только те аспекты, которые являются уникальными для городских районов, или те аспекты, которые затрудняют проведение наблюдений из-за характерных особенностей городов, такие как выбор места размещения, установка приборов и документирование метаданных.

Сроки и частота проведения наблюдений, а также кодирование сводок, должны следовать соответствующим стандартам (ВМО, 2006; 2011a, 2011b, 2015a, 2015b).

Следует соблюдать рекомендации, содержащиеся в настоящем томе, [глава 1](#), в том, что касается автоматизированных станций и требований к кодированию и передаче сообщений, контроля качества, технического обслуживания (учитывая некоторые специальные требования для городской окружающей среды) и калибровки.

9.1.1 Определения и концепции

9.1.1.1 Обоснование необходимости станции

Четкое объяснение причины для создания городской станции наблюдений имеет существенное значение для успеха ее работы. Двумя самыми обычными причинами являются стремление представить метеорологическую среду в определенном месте для общих климатологических целей и обеспечить потребность в данных конкретного пользователя. В обоих случаях должны быть определены соответствующие пространственные и временные масштабы, и, как описано ниже, места размещения станции и установка приборов в каждом случае могут весьма отличаться друг от друга.

9.1.1.2 Горизонтальные масштабы

Ничто не является более важным исходным фактором для успешной работы городской станции наблюдений, как понимание масштаба. Интерес представляют собой три масштаба (Oke, 1984; рисунок 9.1):

- а) микромасштаб: каждая поверхность и объект имеют свой собственный микроклимат как на них самих, так и в их непосредственной близости. Температуры поверхности и воздуха могут отличаться на несколько градусов на очень малых расстояниях, даже миллиметровых, а значительное возмущение воздушного потока может быть вызвано даже небольшими объектами. Характерные масштабы городского микроклимата связаны с размерами отдельных зданий, деревьев, дорог, улиц, дворов, садов и т. д. Характерные масштабы лежат в пределах от менее 1 м до сотен метров. Руководящие указания, содержащиеся в том I настоящего Руководства, специально сформулированы таким образом, чтобы предотвратить микроклиматические воздействия. Рекомендации по климатическим станциям подготовлены таким образом, чтобы стандартизировать все места размещения, насколько это практически

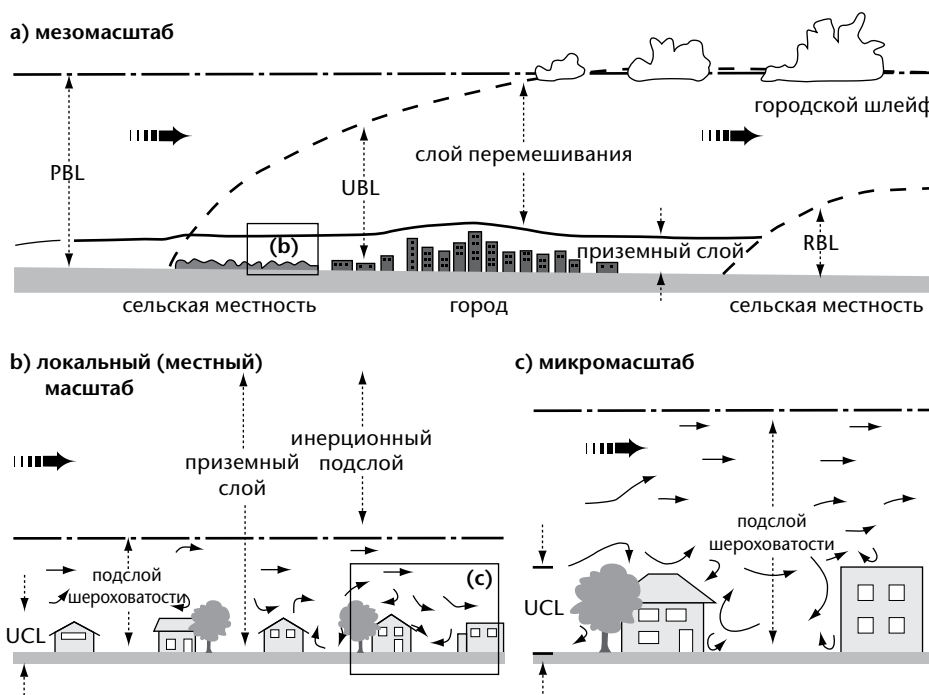


Рисунок 9.1. Схема климатических масштабов и вертикальных слоев атмосферы городских районов: планетарный пограничный слой (PBL (ППС)), городской пограничный слой (UBL (ГПС)), городской пологий слой (UCL (ГПС)), пограничный слой сельской местности (RBL (ПСС)) (переработано по работе Oke, 1997).

возможно. Этим объясняется использование стандартной высоты измерения, единого характера поверхностного покрова, минимальных расстояний до препятствий и минимального закрытия горизонта. Цель заключается в обеспечении климатических наблюдений, свободных от внешних микроклиматических сигналов, и соответственно получение характеристик локального (местного) климата. В случае действия более строгих стандартов станции первого порядка могут быть способны представлять данные в синоптических пространственных и временных масштабах. Эти данные могут быть использованы для оценки климатических тенденций и в более крупных масштабах. Если не ставятся весьма конкретные задачи, то городским станциям следует также избегать микроклиматических воздействий; однако добиться этого трудно;

- b) локальный (местный) масштаб: это масштаб, в котором стандартные климатические станции должны проводить мониторинг. Он включает такие ландшафтные характеристики, как топография, но исключает микромасштабные воздействия. В городских районах под этим понимается климат соседних районов, которые характеризуются аналогичными типами городского развития (поверхностное покрытие, высота и площадь застройки, вид деятельности). Сигнал представляет собой единое характерное сочетание микроклиматических воздействий, возникающих от района источника вблизи площадки наблюдений. Район источника — это часть верхней поверхности, которая определяет основные свойства потока или концентрации измеряемых метеорологических переменных (Schmid, 2002). Характерными являются масштабы от одного до нескольких километров;
- c) мезомасштаб: город влияет на погоду и климат в масштабе всего города, как правило протяженностью в десятки километров. Одна единственная станция не способна представить этот масштаб.

9.1.1.3 **Вертикальные масштабы**

Существенное различие между климатом городских районов и климатом в сельской местности или в местах расположения аэропортов заключается в том, что в городах вертикальный обмен количеством движения, тепла и влажности происходит не на (почти) плоской поверхности, а в слое значительной толщины, именуемом городским пологовым слоем (ГПС) (urban canopy layer (UCL)) (рисунок 9.1). Высота ГПС приблизительно равна средней высоте основных элементов шероховатости (здания и деревья) — z_H (см. рисунок 9.4 с определениями параметров). Микроклиматические воздействия отдельных поверхностей и препятствий сохраняются на небольшом расстоянии от их источника, а затем они смешиваются и заглушаются в результате действия турбулентных завихрений. Расстояние, необходимое для того, чтобы данное воздействие прекратилось, зависит от силы воздействия, скорости и стабильности потока ветра (т. е. речь идет о стабильности, нейтральности или неустойчивости). Это смешение происходит как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Как отмечалось, горизонтальные воздействия могут сохранять свою силу на расстоянии до нескольких сотен метров. По вертикали воздействия отдельных параметров различаются в подслое шероховатости (ПСШ), который простирается от уровня земли до высоты перемешивания z_r , где процесс перемешивания завершается. Эмпирические оценки и полевые измерения показывают, что z_r является малой величиной и может изменяться $1,5 z_H$ в плотно застроенных (близко расположенных друг к другу) и однородных местах, до значений больше $4 z_H$ в районах с низкой плотностью (Grimmond и Oke, 1999; Rotach, 1999; Christen, 2003). Прибор, размещенный ниже z_r может регистрировать микроклиматические аномалии, но если он находится выше, то он «видит» смешанный, пространственно усредненный сигнал, который является репрезентативным для локального масштаба.

Необходимо учитывать еще одно ограничение по высоте. Оно объясняется тем, что каждый тип поверхности в локальном масштабе создает внутренний пограничный слой, в котором структура потока и термодинамические характеристики адаптируются к этому типу поверхности. Высота этого слоя увеличивается по мере увеличения разгона волны

(до края зоны восходящего ветра, где происходит переход к поверхности совершенно иного типа). Скорость, с которой увеличивается внутренний пограничный слой сообразно длине разгона волны, зависит от параметров шероховатости и стабильности. В сельской местности соотношение между высотой и разгоном волны может колебаться от небольшого соотношения 1:10 в нестабильных условиях до 1:500 в стабильных, и это соотношение уменьшается по мере увеличения шероховатости (Garratt, 1992; Wieringa, 1993). Городские районы характеризуются тенденцией к нейтральности вследствие повышенной тепловой и механической турбулентности, связанной с островом тепла и значительной шероховатостью. Поэтому типичным считается отношение высоты к разгону волны, составляющее порядка 1:100. Высота внутреннего пограничного слоя берется выше высоты смещения z_d , которая является исходным уровнем для потока выше высоты слоя перемешивания. (Объяснение параметра z_d см. на рисунке 9.4 и в примечании b к таблице 9.2.).

Например, возьмем гипотетический плотно застроенный район с z_H в 10 м. Это означает, что z_r составляет как минимум 15 м. Если эта высота выбирается в качестве уровня измерений, то требование в отношении разгона волны над аналогичной городской территорией составляет, вероятно, как минимум 0,8 км, поскольку разгон волны = $100(z_r - z_d)$, а z_d составит приблизительно 7 м. Это может быть существенным ограничением в отношении места размещения, поскольку в том случае, если городская территория не является аналогичной за пределами, по меньшей мере, этого расстояния вокруг места размещения станции, то как следствие, данные наблюдений не будут репрезентативными для данного типа локальной поверхности. В менее плотно освоенных местах, там, где воздействия острова тепла и шероховатости являются менее значительными, требования в отношении разгона волны будут, вероятно, более строгими.

На высотах, превышающих высоту слоя перемешивания, но в пределах местного внутреннего пограничного слоя, измерения проводятся в границах инерционного подслоя (рисунок 9.1), для которого применяется теория стандартного пограничного слоя. Подобная теория определяет форму средних вертикальных профилей метеорологических переменных (включая температуру воздуха, влажность и скорость ветра) и поведение турбулентных потоков, спектральные и статистические характеристики. Это создает основу для:

- a) расчета района источника (или «отпечатка», см. ниже), в котором зарождается турбулентный поток или сочетание метеорологических переменных; следовательно, это определяет и расстояние в верхнем направлении для минимального приемлемого разгона волны;
- b) экстраполяции данного потока или характеристики через инерционный слой, а также вниз в ПСШ (и, хотя это является менее надежным, в ГПС). В инерционном слое потоки являются постоянными по высоте, а среднее значение метеорологических характеристик является неизменным в горизонтальном направлении. Таким образом, наблюдения за потоками и стандартными переменными величинами приносят существенную пользу и могут характеризовать нижерасположенную окружающую среду в локальном (местном) масштабе. Экстраполяция в ПСШ рекомендуется в меньшей степени.

9.1.1.4 **Районы источника («отпечатки»)**

Датчик, помещенный выше поверхности земли, «видит» только часть окружающей его местности. Она именуется «районом источника» прибора и зависит от его высоты и характеристик процесса передачи информации о характеристиках поверхности датчиком. Для сигналов уходящей радиации (коротко- и длинноволновая радиация, а также приземная температура, воспринимаемые инфракрасным термометром) поле зрения прибора и геометрия нижерасположенной поверхности определяют просматриваемый участок. По аналогии с этим, такие датчики как термометры, гигрометры, газоанализаторы и анемометры, «видят» такие характеристики, как температура, влажность, атмосферные газы, скорость и направление ветра, которые

воздействуют на соответствующий датчик с поверхности земли в результате турбулентного переноса. Схематическое представление этих районов источника приводится на рисунке 9.2.

Районом источника направленного вниз радиометра с его сенсорным элементом, расположенным параллельно поверхности земли, является круговой участок земной поверхности, в центре которого установлен данный прибор (рисунок 9.2). Радиус (r) кругового участка земли, на котором принимается сигнал радиометра на высоте (z_1), приводится в публикации Schmid et al. (1991):

$$r = z_1 \left(\frac{1}{F} - 1 \right)^{-0,5} \quad (9.1)$$

где F — это коэффициент формы, а именно доля измеряемого датчиком потока, создаваемая этим участком. В зависимости от поля зрения радиометр может видеть только ограниченный круг или его обзор может доходить до горизонта. В последнем случае прибор обычно имеет косинусный выходной сигнал, и поэтому в направлении горизонта становится все более трудно определить реальный видимый район источника. Следствием этого является использование коэффициента формы, который определяет участок, дающий возможность получения лишь части (которая обычно устанавливается в 50, 90, 95, 99 или 99,5 %) сигнала данного прибора.

Исходный район источника датчика, который выдает свой сигнал в результате турбулентного переноса, не является симметрично распределенным вокруг места расположения датчика. Он имеет форму эллипса и вытянут против ветра по направлению от мачты (рисунок 9.2). Если дует ветер, то воздействие поверхностной зоны у основания мачты фактически равно нулю, поскольку турбулентность не может транспортировать данное воздействие в верхнем направлении до уровня датчика. На определенном расстоянии в направлении против ветра данный источник начинает воздействовать на датчик; это воздействие достигает пикового значения, после чего оно ослабевает с увеличением расстояния (форму как в направлении x , так и в направлении y , см. в работах Kljun et al., 2002; Schmid, 2002). Со временем значительно меняется

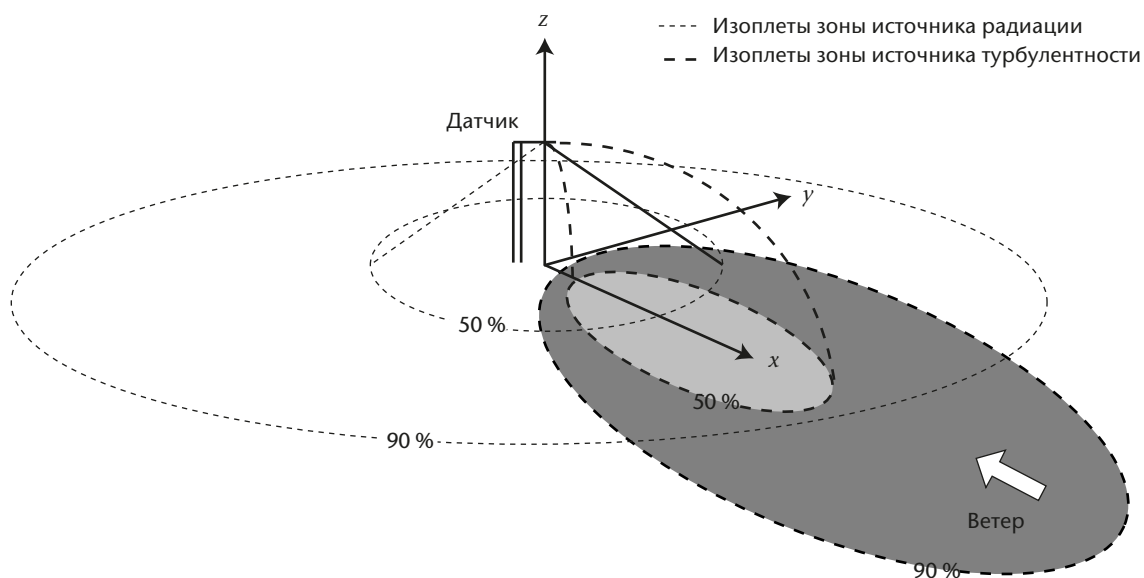


Рисунок 9.2. Схематическое представление районов источника для датчиков концентраций потоков радиации и турбулентности. Если датчиком является радиометр, 50 % или 90 % потока возникает от зоны внутри круга перспективы. Если датчик реагирует на турбулентный перенос, то 50 % или 90 % сигнала приходит от районов источников внутри соответствующих эллипсов. Они динамичны в известном смысле, т. к. ориентированы на ветер и, следовательно, перемещаются в зависимости от направления ветра и его стабильности.

расстояние до наветренного первого наземного участка, способствующего образованию сигнала, до точки пикового воздействия, до последующей наветренной поверхности, влияющей на данное измерение, и участка так называемого «отпечатка». Оно зависит от высоты проводимого измерения (увеличивается с увеличением высоты), шероховатости поверхности, стабильности атмосферы (увеличивается при переходе от нестабильного к стабильному состоянию), а также от того, проводится ли измерение турбулентного потока или совокупности метеорологических переменных (Kljun et al., 2002). Существуют методы расчета размеров «отпечатков» и потока концентрации (Schmid, 2002; Kljun et al., 2004).

Хотя обычной является ситуация, показанная на рисунке 9.2, она лучше всего подходит для приборов, размещенных в инерционном подслое, гораздо выше возмущений, которые могут быть вызваны ПСШ и комплексной геометрией трехмерной городской поверхности. В пределах ГПС еще не проведено достоверной оценки того, каким образом с расстоянием ослабевают воздействия участков, являющихся источниками потоков радиации и турбулентности. Можно предположить, что они зависят от тех же самых характеристик и напоминают общие формы воздействий, показанные на рисунке 9.2. Однако очевидные трудности возникают из-за сложной геометрии распространения радиации, а также блокирования направления и пропускания потока, которые являются характерными для ПСШ. Безусловно, непосредственная окружающая среда вокруг станции имеет гораздо более важное значение, и размер участка источника влияния конвекции увеличивается благодаря стабильности ветра и высоте расположения датчика. Расстояние, влияющее на датчики, расположенные на уровне метеорологической будки (~1,5 м), может составлять несколько десятков метров в нейтральных условиях, быть меньшим, когда они являются нестабильными, и, вероятно, больше 100 м, когда они являются стабильными. На высоте 3 м, соответственно, расстояния достигают, порядка 300 м в случае стабильного ветра. Предполагается, что обычно круг воздействия на датчик температуры или влажности, находящийся в метеорологической будке, имеет радиус, как правило, около 0,5 км, однако это может зависеть от плотности застройки.

9.1.1.5 **Концепции измерений**

Из предыдущего рассмотрения видно, что если цель оборудованной приборами городской площадки заключается в мониторинге климата вблизи поверхности земли в локальном масштабе, то существуют следующие две концепции:

- а) размещать площадку в ГПС в месте, окруженном усредненными или «типичными» для городской местности условиями, и разместить датчики на высотах, аналогичных тем, которые используются на не городских площадках. Это предполагает, что перемешивание, вызываемое потоком, образующимся вокруг препятствий, является достаточным для смешения характеристик и формирования среднего ГПС в локальном (местном) масштабе;
- б) устанавливать датчики на высокой башне выше ПСШ и получать смешанные значения, которые могут быть экстраполированы для получения значений ГПС.

В целом концепция а) действует лучше всего для получения данных о температуре и влажности воздуха, а концепция б) — данных о скорости и направлении ветра и осадках. В отношении радиации единственным существенным требованием является чистый горизонт. В этой связи городские станции часто оборудованы приборами, размещенными как ниже, так и выше уровня крыш; для этого требуется, чтобы оценка и описание места размещения приборов включали масштабы, соответствующие обоим контекстам.

9.1.1.6 **Описание городской площадки**

Величина каждого городского масштаба не соответствует точным образом тем данным, которые обычно приводятся в учебниках. Масштабы обычно диктуются размерами морфометрических характеристик, которые определяют городской ландшафт.

Это подчеркивает необходимость адекватного описания характеристик городских районов, которые оказывают влияние на состояние атмосферы. Самыми важными основными характеристиками являются городская структура (размеры зданий и пространства между ними, ширина улиц и пространство между ними); городское покрытие (застроенные, вымощенные и покрытые растительностью районы, голая почва, водоемы), городские отделочные материалы (строительные и естественные материалы) и метаболизм городской среды (тепло, вода и загрязняющие вещества, образующиеся в результате деятельности человека). Соответственно характеристика площадок для городских климатических станций должна учитывать эти условия, использовать их при отборе потенциальных площадок и включать их в метаданные, которые точно описывают место расположения станции.

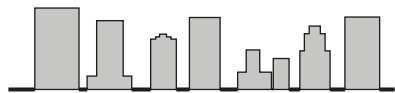
Эти четыре основные характеристики городов позволяют группировать их в городские классы. Например, в большинстве центральных районов городов расположены относительно высокие здания, которые плотно прилегают друг к другу, и поэтому на данной территории находятся в основном здания или вымощенные поверхности, изготовленные из прочных материалов, таких как камень, бетон, кирпич и асфальт, и где происходят значительные выбросы из печей, кондиционеров, каминов и автомашин. Недалеко от другого края этого спектра находятся районы с низкой плотностью застройки домами в один или два этажа с относительно легкой конструкцией и большими садовыми или растительными зонами с низкими выбросами тепла, но, вероятно, со значительным потреблением воды на цели орошения.

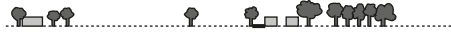
Не существует никакой общепринятой системы городской классификации для климатических целей. Эффективным подходом к понятию застроенных компонентов является концепция Элlefсена (Ellefsen, 1991), который разработал набор типов зон урбанизированных территорий (ЗУТ). Изначально он разделяет застройку на три типа (пристроенные друг к другу здания (ряд); отдельные, но близко расположенные здания; отдельные и открыто расположенные здания). Эта категория подразделяется далее на совокупность семнадцати подтипов в соответствии с функцией, расположением в городе, а также высотой, конструкцией и возрастом зданий. Для применения этой системы требуется лишь аэрофотосъемка, которая обычно является доступной, и она применялась в нескольких городах мира и имеет, по-видимому, универсальный характер.

Система Элlefсена может использоваться для описания таких характеристик городской структуры, как шероховатость, воздушный поток, подверженность радиации и защита от нее. Можно утверждать, что она включает косвенным образом такие аспекты, как городское покрытие поверхности, отделочные материалы и обменные процессы, поскольку каждая структура характеризуется данным типом покрытия, материалов и деятельности человека. В то же время, система Элlefсена является менее полезной, когда строительные объекты являются немногочисленными и имеются обширные территории растительности (городской лес, низкий растительный покров, луга, кустарники, сельскохозяйственные культуры), голая земля (почва или камень) и вода (озера, болота, реки). Упрощенная топология городских климатических зон (ГКЗ) показана в таблице 9.1. Она включает группы зон Элlefсена, показатель данной структуры z_H/W (см. таблицу 9.1, примечание (с)), который тесно связан как с потоками, солнечным затенением, так и островом тепла, а также показатель покрытия поверхности (% застройки) по отношению к степени проницаемости поверхности.

Важное значение ГКЗ заключается не в их абсолютной точности в описании места расположения, а в их способности классифицировать территории населенного места по районам, которые являются аналогичными по своей способности изменять местный климат, а также идентифицировать потенциальные переходы к другим ГКЗ. Подобная классификация является исключительно важной при планировании открытия городской станции, с тем чтобы критерии пространственной однородности приблизительно соблюдались для станции в ГПС или выше уровня ПСШ. Исходя из этого, предполагается, что морфометрия городской территории или ее части оценивалась с использованием подробных карт и/или аэрофотоснимков, спутниковых изображений (в видимой и/или инфракрасной области спектра), документов планирования или, по меньшей мере, визуального обследования, проведенного из автомашины и/или пешком.

Таблица 9.1. Упрощенная классификация определенных городских форм, ранжированных в порядке снижения их способности воздействия на локальный климат (Оке, 2004, не опубликована)

Городская климатическая зона ^a	Изображение	Класс шероховатости ^b	Коэффициент вида ^c	% застройки (непроницаемость) ^d
1. Развитее города с одиночными плотно стоящими высотными зданиями, т. е. деловая часть города		8	> 2	> 90
2. Развитее город с 2–5-этажной очень плотной застройкой часто из кирпича или камня, т. е. центр старого города		7	1,0–2,5	> 85
3. Развитее город со средней плотностью ярусной и частной застройки вдоль дорог, т. е. городское хозяйство		7	0,5–1,5	70–85
4. Развитее город с низкой и средней плотностью застройки невысокими зданиями и паркингами, т. е. торговая зона		5	0,05–0,2	70–95
5. Среднеразвитее пригород, с одноэтажной застройкой, т. е. пригородное хозяйство		6	0,2–0,6, до включительно > 1, с деревьями	35–65
6. Смешанная застройка большими зданиями в открытом ландшафте, т. е. учреждения — больницы, университеты, аэропорты		5	0,1–0,5, в зависимости от деревьев	< 40

Городская климатическая зона ^a	Изображение	Класс шероховатости ^b	Коэффициент вида ^c	% застройки (непроницаемость) ^d
7. Развитое сельское хозяйство, включающее строения в природных и агрокультурных зонах, т. е. фермы, склады имущества		4	> 0,05, в зависимости от деревьев	< 10
■ Buildings; ■ Impervious ground; ● Vegetation ... Pervious ground				

Примечания:

- Выделенный набор классов включает аспекты схемы Auer (1978) и Ellesfen (1991) плюс физические измерения для контроля ветра, тепла и влаги (колонка справа). Приблизительное соответствие между ГКЗ и группами зон Элlefсена: 1 (Dc1, Dc8), 2 (A1–A4, Dc2), 3 (A5, Dc3–5, Do2), 4 (Do1, Do4, Do5), 5 (Do3), 6 (Do6), 7 (ни один).
- Эффективная шероховатость ландшафта согласно классификации Дейвенпорта (Davenport et al., 2000); см. таблицу 9.2.
- Коэффициент вида $= z_p/W$ является средней высотой главных элементов шероховатости (здания, деревья), отделенных средними дистанциями; в центре города — это высота/ширина уличных каньонов. Эти величины известны как относящиеся к типам режимов потоков (Oke, 1987) и контроля тепла (солнечное сияние и длинноволновый отбор) (Oke, 1981). Высокие деревья значительно увеличивают это соотношение.
- Средняя пропорция территории поверхности под застройкой (зданиями, дорогами и мостовыми и другими водонепроницаемыми зонами); остаток зоны, занятый покровом (зелеными насаждениями, водой и другими естественными поверхностями). Проницаемость почвы влияет на увлажнение земли и, следовательно, потенциал влажности и охлаждения за счет испарения.

Хотя полезными могут оказаться карты землепользования, следует понимать, что они изображают функцию и не обязательно физическую форму населенного пункта. Задача описания городской территории должна заключаться в создании карты с разграничением территорий ГКЗ.

В данном документе используются ГКЗ, приведенные в таблице 9.1. Возможно, необходимо будет адаптировать эти категории с целью учета особенно характерных городских форм некоторых древних городов или незапланированного городского развития, которое имеет место в некоторых менее развитых странах. Например, многие малые и большие города в Африке и Азии не имеют столь большой доли поверхности, покрытой водоупорными материалами, а дороги в них могут быть без покрытия асфальтом.

9.2 **ВЫБОР МЕСТА И ПЛОЩАДКИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СТАНЦИИ**

9.2.1 **Место размещения**

Во-первых, необходимо четко определить стоящую перед станцией задачу. Если в пределах городской территории будет находиться только одна станция, должно быть принято решение о том, является ли целью мониторинг самого большого климатического воздействия города или же более репрезентативного или типичного района, или же она заключается в характеристике конкретного места (в котором может предполагаться наличие климатических проблем или в котором планируется будущее градостроительство). Территории, на которых с наибольшей вероятностью будут выявлены максимальные воздействия, могут быть оценены на первоначальном этапе путем сравнения с классификационным списком типов ГКЗ, содержащемся в таблице 9.1. Подобным образом, вероятность того, что станция будет типичной, может быть оценена на основе идей, которые подразумеваются в таблице 9.1, а также выбора обширных территорий аналогичного городского развития с целью более тщательного изучения.

Данное исследование может быть с пользой усовершенствовано в том случае, если речь идет о температуре и влажности воздуха, посредством проведения территориальных обследований, во время которых датчик несут на себе или устанавливают на велосипед или автомобиль, и перемещают его по всем представляющим интерес территориям. После нескольких повторов делаются карты с поперечным сечением или карты с изолиниями (см. рисунок 9.3), на которых показаны представляющие интерес зоны аномалий тепла или влажности. Обычно наилучшим временем для этой работы являются несколько часов после захода солнца или до его восхода в те ночи, когда поток воздуха бывает относительно спокойным, а небо безоблачным. Это максимально увеличивает возможности для дифференциации различий между микроклиматом и местным климатом. Не рекомендуется проводить эти обследования незадолго до восхода или захода солнца, поскольку метеорологические переменные меняются так быстро в это время, что затрудняет пространственные сравнения.

Если станция является частью сети, предназначенной для описания пространственных характеристик городского климата, то требуется более широкий подход. Этот фактор должен быть сформулирован с учетом типичной пространственной формы климатических распределений в городской среде. Например, изолинии городских «тепловых островов» и влажности действительно выглядят подобно контурам их одноименных топографических названий (рисунок 9.3). Они имеют относительно крутые «обрывы», часто с «плато» на значительной части городской территории, в которые вкрапливаются локализованные «холмы» и «бассейны» тепла/прохлады и влажности/сухости. Эти параметры соответствуют более или менее урбанизированным участкам земли, таким как жилые зоны, магазины, фабрики или парки, открытые территории или водные поверхности. Поэтому должно быть принято решение: является ли целью подготовка репрезентативного образца разнообразия ГКЗ, или же она заключается в достоверном отображении пространственной структуры.

Поскольку цель заключается в осуществлении контроля за локальными климатическими условиями, характерного для городской территории, необходимо избегать внешних микроклиматических воздействий или других локальных или мезомасштабных климатических явлений, которые будут усложнять регистрацию данных о городском климате. В этой связи, если только не присутствует особый интерес к климатическим режимам, определяемым топографическим характером местности, таким как воздействия потока холодного воздуха из низин долин и вдоль склонов в направлении территории города, повышение скорости ветров или защита от них, благодаря холмам и впадинам, или туман в речных долинах и прилегающих к ним водоемах, или географически замкнутые системы облачности и т. д., целесообразно избегать мест, подвергаемых таким местным и мезомасштабным воздействиям. С другой стороны, если в результате подобных явлений можно извлечь выгоду или столкнуться с опасностью, целесообразным может оказаться разработка сети, специально предназначенной для смягчения этих воздействий на городской климат, таких как улучшение слишком теплого климата города благодаря морскому или озерному бризу.

9.2.2 Площадка для установки приборов

После того, как сделан выбор типа ГКЗ и его общего местоположения внутри городской территории, следующий шаг заключается в изучении карты, изображений и фотографических свидетельств, с тем чтобы сузить рамки выбора возможных мест в пределах ГКЗ. Изыскиваются зоны разумно однородного градостроительства без обширных участков аномальной структуры, покрова или материала. В то же время, невозможно точно определить понятие «разумно»; почти каждый реальный городской район обладает своими собственными специфическими особенностями, которые уменьшают, в определенной степени, его однородность. Хотя полный перечень является поэтому невозможным, ниже приводятся примеры того, чего следует избегать: необычно увлажненные участки земли в сухом в прочих ситуациях месте; отдельные здания, которые выступают более чем на половину выше средней высоты строений квартала; обширная асфальтированная автостоянка в месте орошаемых садов; крупный источник концентрированного тепла, такой как теплоцентральный или вытяжной вентилятор туннеля. Следует избегать близости к сопряженным зонам между разными типами ГКЗ, равно как и тех мест, в отношении которых имеются планы или вероятность широкомасштабной

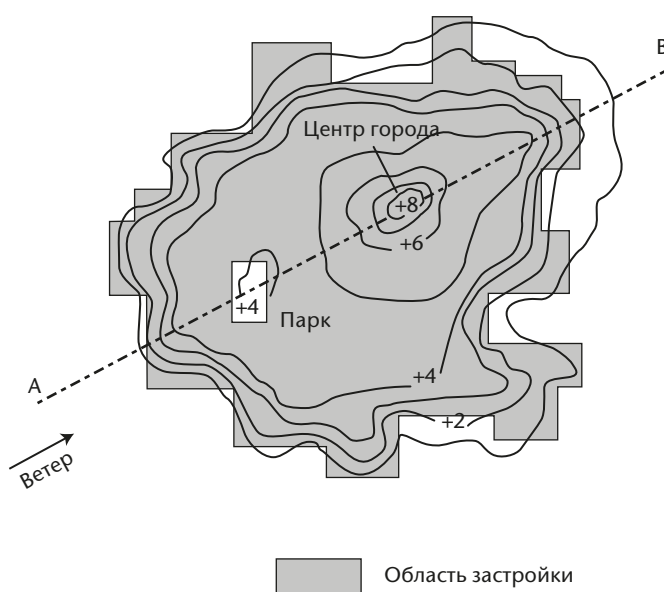


Рисунок 9.3. Типичная пространственная картина изотерм в большом городе ночью при безветренной ясной погоде, иллюстрирующая влияние эффекта «теплового острова» (Oke, 1982).

реконструкции городских районов. Степень озабоченности по поводу аномальных параметров снижается по мере увеличения расстояния от выбранного места размещения, как это обсуждалось в связи с районами источников.

На практике для каждого потенциального места размещения следует проводить оценку «отпечатка», связанного с радиацией (например, по уравнению 9.1), и характеристик турбулентности. После этого следует документально оформить в рамках этих отпечатков ключевые характеристики поверхности, такие как средняя высота и плотность препятствий, параметры наземного покрытия и материалы. Затем следует проанализировать показатели однородности и сделать это либо визуально, либо при помощи статистических методов. После того, как сделан выбор целевых участков с приемлемой однородностью для станции на уровне метеорологической будки или станции, установленной на высоком уровне (выше ПСШ), полезно выявить потенциальных «дружественных» владельцев данного места, которые могли бы разместить станцию. Если поиск места размещения ведется государственным учреждением, то оно уже может быть владельцем земли в том районе, который используется для других целей, или иметь хорошие отношения с другими ведомствами или деловыми предприятиями (имеющими офисы, рабочие площадки, свободные земли, права прохода и проезда), включая школы, университеты, инженерные сети (электричество, телефон, трубопроводы) и транспортные артерии (автодороги, железные дороги). Это разумные места размещения, поскольку может быть обеспечен доступ к ним, они во многих случаях защищены от вандализма и могут быть подсоединены к электроснабжению.

Крыши зданий часто используются в качестве места для проведения метеорологических наблюдений. Это часто основывалось, вероятно, на ошибочном мнении о том, что на такой высоте приборная будка свободна от осложнений, связанных с ГПС. На самом деле поверхности крыш обладают своим собственным, совершенно отчетливо аномальным микроклиматом, что ведет к получению ошибочных результатов. Воздушный поток над зданием создает сильные возмущения в плане скорости, направления и порывистости ветра, которые полностью отличаются от воздушного потока на той же самой высоте в стороне от данного здания или у земли (рисунок 9.5). Здания с плоскими крышами могут фактически создавать потоки на своих крышах, которые направлены против основного внешнего потока, а скорости меняются от мощных воздушных струй до почти полного безветрия. Крыши также строятся из материалов, которые имеют довольно экстремальные температурные характеристики. При слабом ветре и безоблачном небе они могут становиться очень горячими днем и холодными ночью. Таким образом, вблизи крыши часто существует резкий градиент температуры воздуха. Кроме того, крыши предназначены для того, чтобы защищать от воды и быстро ее удалять. Это, наряду с их открытостью для солнечной радиации и ветра, делает их аномально сухими. В целом поэтому крыши являются весьма неподходящими местами для проведения наблюдений за температурой воздуха, влажностью, ветром и осадками, если только приборы не размещаются на очень высоких мачтах. В то же время они могут хорошо подходить для наблюдений за компонентами приходящей радиации.

После того, как площадка для установки приборов размещения выбрана, важно, чтобы подробное описание характеристик этого места (метаданные) было полностью документировано (см. 9.4).

9.3 УСТАНОВКА ПРИБОРОВ

9.3.1 Изменения в стандартной практике

Во многих отношениях общепринятые стандарты для установки метеорологических приборов, изложенные в [томе I](#) настоящего Руководства, применяются и к городским площадкам. В то же время, есть много случаев, когда невозможно или бессмысленно соблюдать эти стандарты. В этом разделе рекомендуются некоторые принципы, которые

окажут помощь в подобных обстоятельствах; однако невозможно предусмотреть все случайности. Изложенные в этом разделе рекомендации по-прежнему согласуются с общими целями, изложенными в [томе I](#), глава 1.

Многие городские станции размещались над низкой травой в открытых местах (парки, игровые поля), и в результате этого они фактически осуществляют мониторинг измененных условий сельского типа, которые не являются репрезентативными с городскими условиями. Это ведет к удивительному выводу о том, что некоторые городские станции, спаренные с сельскими станциями, не показывают никакого воздействия городской среды на температуру (Peterson, 2003).

Руководящий принцип установки датчиков в ГПС заключается в том, что их следует располагать таким образом, чтобы они могли осуществлять мониторинг репрезентативных условий окружающей среды отобранной ГКЗ. В больших и малых городах нецелесообразно пользоваться площадками, аналогичными тем, которые являются стандартом в открытой сельской местности. Вместо этого рекомендуется размещать городские станции над поверхностями, которые в пределах микромасштабного радиуса являются репрезентативными для городской окружающей среды локального (местного) масштаба. Приблизительным ориентиром для рекомендуемой поверхности является категория процента застройки (таблица 9.1).

Требованием, которое с наибольшей очевидностью невозможно удовлетворить на многих городских площадках, является расстояние до препятствий – данная площадка должна находиться достаточно далеко от деревьев, зданий, стен и других препятствий ([том I](#), глава 1). Поэтому рекомендуется помещать городскую станцию в центре открытого пространства, где коэффициент (z_H/W) формы окружающей территории является приблизительно репрезентативным для данной местности.

При монтаже приборов на городских площадках особенно важно пользоваться экранированными кабелями из-за повсеместной прокладки силовых линий и наличия других источников электрических помех в таких местах.

9.3.2 Температура

9.3.2.1 Температура воздуха

Датчики, обычно применяемые для измерения температуры воздуха (включая их точность и характеристики чувствительности), являются пригодными для городских районов. Особенно рекомендуется уделять тщательное внимание защите от радиации и обеспечению вентиляции. В ГПС комплект датчиков может находиться в относительной близости к теплым поверхностям, таким как освещенная солнцем стена, дорога или автомашины с горячим двигателем, или на него может попадать тепло, отраженное от застекленных поверхностей. Поэтому используемые защитные экраны должны эффективно блокировать тепловое излучение. Кроме того, поскольку датчики, размещенные в ГПС на более низком уровне, могут быть слишком хорошо защищены, рекомендуется применение принудительной вентиляции датчика. Если сеть включает сочетание комплектов датчиков с защитными экранами и вентиляцией или без них, это может способствовать различиям в показаниях на разных площадках. В этой связи следует обеспечить единообразную практику.

Поверхность, над которой производится измерение температуры воздуха, а также установка комплекта датчиков, должны соответствовать рекомендациям, изложенным в предыдущем разделе, а именно данная поверхность должна быть характерной ГКЗ, а экран или навес термометра должны помещаться в центре пространства с приблизительным коэффициентом формы z_H/W . В случае очень плотной застройки ГКЗ это может означать размещение датчиков на расстоянии только 5—10 м от зданий высотой 20—30 м. Если местом размещения приборов является улица типа «каньон», то величина z_H/W применяется только к поперечному сечению, перпендикулярному оси улицы. Ориентация уличной оси может также иметь значение из-за наличия

систематических конфигураций солнце-тень. Если планируется проведение постоянного мониторинга, то предпочтение отдается улицам, ориентированным на север-юг, а не улицам, ориентированным на восток-запад, поскольку фазовое искажение является меньшим, даже если значения температуры в течение дня могут достигать максимума.

На не городских станциях рекомендуемая высота экрана составляет 1,25—2 м над уровнем земли. Хотя эта рекомендация является также приемлемой для городских приборных площадок, лучше, вероятно, ослабить это требование, с тем чтобы разрешить большие высоты. Это не должно приводить к существенной ошибке в большинстве случаев, особенно в плотно застроенных районах, поскольку данные наблюдений в напоминающих каньоны улицах свидетельствуют о весьма незначительных градиентах температуры воздуха в большей части ГПС при том условии, что данное место находится на расстоянии более 1 м от поверхности (Nakamura и Oke, 1988). Измерения на высотах 3 или 5 м не отличаются весьма существенным образом от измерений на стандартной высоте, охватывают несколько более обширные районы источника, а датчик находится вне пределов досягаемости, благодаря чему предотвращается причинение ему ущерба, и он находится далеко от пути следования автомашин. Эти высоты также обеспечивают большее рассеивание тепла выхлопных газов автомобилей и снижают загрязнение пылью.

Измерения температуры воздуха, выполняемые выше ГПС с использованием смонтированных на башне датчиков, испытывают воздействие потоков воздуха в результате их обмена с ГПС плюс воздействия крыш. Крыши характеризуются гораздо большей тепловой изменчивостью по сравнению с большинством поверхностей внутри ГПС. Большинство крыш предназначено для обеспечения изоляции и, соответственно, минимизации теплообмена с внутренней частью здания. В результате этого значения температуры крыши-поверхности часто становятся очень высокими днем, в то время как частично затененные и имеющие большую проводимость стены зданий на улицах типа «каньон» и их поверхность являются более холодными. Ночью ситуация меняется в обратную сторону, и при этом крыши остаются относительно прохладными, а поверхности «каньона» более теплыми, поскольку они выбрасывают тепло, накопленное в течение дневного времени. Могут быть также осложнения, вызванные выбросом тепла из вытяжных вентиляционных отверстий крыш. Поэтому несмотря на незначительное колебание температуры в зависимости от высоты в ГПС, поблизости от крыши, наблюдается нарушение однородности как на горизонтальном, так и вертикальном уровнях. Таким образом для получения средней значимой пространственной величины датчики должны находиться гораздо выше среднего уровня крыши, если возможно, $> 1,5 z_H$, с тем чтобы происходило смешение воздуха между крышей и «каньоном». На основе данных о температуре воздуха, полученных находящимся на возвышении датчиком, трудно экстраполировать зарегистрированные значения до уровня экрана, поскольку в настоящее время отсутствуют какие-либо стандартные методы. Кроме того, нет ни одного простого общего механизма для экстраполирования температуры воздуха горизонтально внутри ГПС. Статистические модели дают хорошие результаты, однако они требуют большого объема архивированных данных наблюдений, осуществленных плотной сетью датчиков, но эти данные не всегда имеются.

9.3.2.2 *Приземная температура*

На городских станциях температура подстилающей поверхности обычно не измеряется, однако она может быть весьма полезной переменной величиной для ее использования в качестве исходных данных в моделях, предназначенных для расчета потоков. Получение такой репрезентативной температуры требует усреднения адекватных данных измерений многих поверхностей — как вертикальных, так и горизонтальных, которые образуют городскую территорию. Это возможно только благодаря использованию дистанционного зондирования в инфракрасной области излучения либо со сканера, установленного на воздушном судне или спутнике, либо направленного вниз пиргеометра, или одного или нескольких радиационных термометров, общее поле зрения которых охватывает репрезентативную площадку городского района. Таким образом, для получения точных результатов площадка должна быть правильно выбрана и должна быть известна ее средняя величина излучающей способности.

9.3.2.3 **Температура почвы и автодороги**

В городских районах желательно проводить измерения температуры почвы. Эффект острова тепла распространяется в нижнюю подповерхностную часть города, и это может иметь значение для инженерного проектирования водопроводов или дорожного строительства. На практике измерение этой переменной может оказаться трудным на участках города с более плотной инфраструктурой. Земля, лишенная растительности, может отсутствовать, структура почвы часто сильно разрушена, а на глубине могут находиться препятствия или аномально теплые или прохладные объекты (например, пустые, полные или дающие протечку трубы водопровода, канализационные трубы, трубы теплоснабжения). В городских районах измерение минимальной температуры в травостое не имеет почти никакой практической пользы.

Датчики температуры часто вставляются в дорожное покрытие, особенно в местах, подверженных замерзанию. Они являются обычно частью станции контроля метеорологических условий на автодорожных магистралях. Во многих случаях полезно иметь датчики, расположенные как в том месте, где проходят колеса машин, так и в центре автодороги.

9.3.3 **Атмосферное давление**

В масштабе городских районов не будет, вероятно, необходимости в мониторинге атмосферного давления, если в данном регионе уже имеется синоптическая станция. Если в комплект приборов входят датчики давления, применяются рекомендации, изложенные в [томе I](#), глава 3. В помещениях и в других местах поблизости от зданий имеется вероятность «нагнетания» давления, вызванного порывами ветра. Кроме того, могут существовать различия между внутренним и внешним давлением, если датчик находится в помещении с кондиционированием воздуха. Обе эти трудности могут быть частично устранены в том случае, если устанавливается приемник статического давления (см. [том I](#), глава 3, раздел 3.1.4.3).

9.3.4 **Влажность**

Для городских районов подходят приборы, которые обычно используются для измерения влажности ([том I](#), глава 4). В равной мере к датчикам влажности применяются руководящие указания, изложенные в п. 9.3.2.1 относительно места размещения и установки датчиков температуры в ГПС и выше ПСШ.

Общеизвестно, что городская окружающая среда является загрязненной (пыль, горюче-смазочные материалы, загрязняющие вещества). Несколько видов гигрометров подвержены деградации или требуют более тщательного технического обслуживания в условиях городской окружающей среды. Таким образом, в случае использования психрометрических методов замену обвязки из ткани для смоченного термометра необходимо проводить чаще, чем обычно, и особое внимание следует уделять тому, чтобы дистиллированная вода оставалась незагрязненной. Загрязненный городской воздух может разрушить влажочувствительный элемент волосного гигрометра; следовательно, их не рекомендуется использовать в течение длительных периодов времени. Необходимо часто чистить зеркальце гигрометров точки росы и окна гигрометров ультрафиолетового и инфракрасного излучения. Некоторые приборы деградируют в такой степени, что приходится весьма регулярно проводить полную замену датчиков. Из-за наличия в ГПС укрытия от ветра важное значение имеет принудительная вентиляция со скоростью, рекомендованной в [томе I](#), глава 4, раздел 4.3, равно как и обеспечение экранирования от внешних источников солнечной и длинноволновой радиации.

9.3.5 Скорость и направление ветра

Результаты измерений скорости и направления ветра очень чувствительно реагируют на отклонения потока препятствиями. Препятствия являются причиной изменений в потоке среднего ветра и турбулентности. Подобные воздействия касаются всех масштабов, включая воздействия местного рельефа, холмов, долин и отвесных скал, резкие изменения шероховатости или фактической высоты поверхности шероховатости (z_d , см. ниже), возмущение потока вокруг групп деревьев или зданий, отдельных деревьев и зданий и даже нарушение потока, вызванного физической массой башни или несущим кронштейном, на котором крепятся приборы.

9.3.5.1 Средний профиль ветра

В то же время, если площадка находится на относительно ровной поверхности земли, имеется достаточный разгон волны в нижнем направлении основных изменений шероховатости поверхности и находится в единой ГКЗ без аномально высоких зданий, то должен существовать средний профиль ветра подобный тому, который показан на рисунке 9.4. Средняя величина является как пространственной, так и временной. В ГПС ни от одной площадки невозможно ожидать наличия подобного профиля. Отдельные места размещения подвержены воздействию весьма резких изменений скорости и направления ветра, поскольку воздушный поток взаимодействует с отдельными элементами компоновок зданий, улиц, дворов и деревьев. На улицах типа «каньон» форма профиля является иной для потока вдоль «каньона» по сравнению с потоком поперек «каньона» (Christen et al., 2002) и зависит от позиции поперек и вдоль данной улицы (DePaul и Shieh, 1986). Градиенты скорости ветра в ГПС являются малыми практически до самой поверхности. В первой аппроксимации профиль в ГПС может быть описан при помощи экспоненциальной формы (Bitter и Hanna, 2003), сливающейся с логарифмическим профилем вблизи крыши (рисунок 9.4).

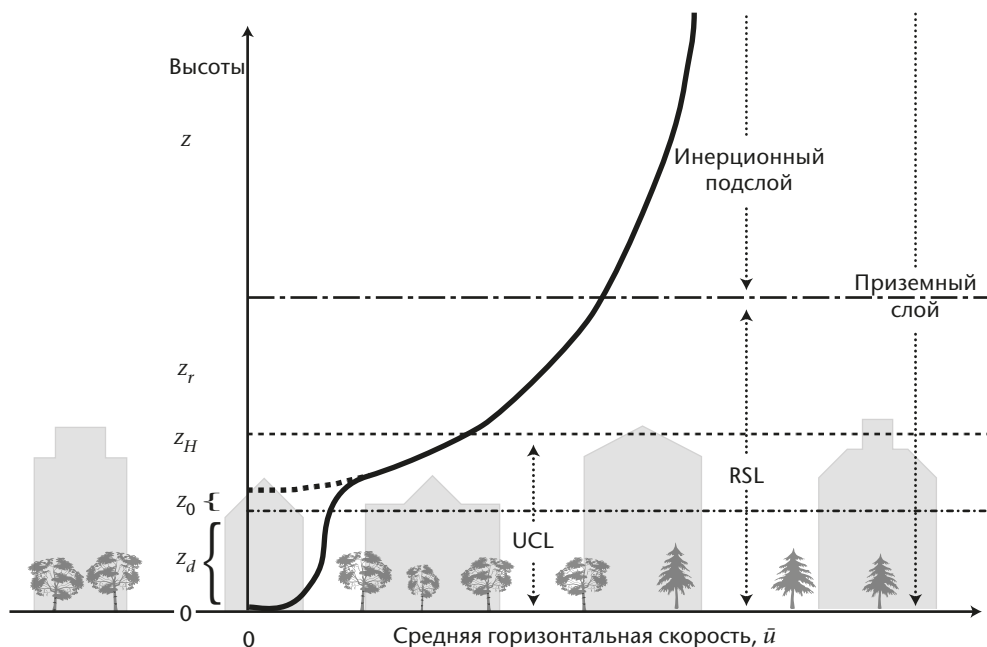


Рисунок 9.4. Осредненный (по пространству и времени) вертикальный профиль скорости ветра ($\bar{u}$) в городском районе, включая положение подслоев приземного слоя. Значениями по оси высот являются средняя высота элементов шероховатости (z_H) подслоя шероховатости (z_r или высота перемешивания), высота шероховатости подстилающей поверхности (z_0) и высота смещения нулевой плоскости (z_d). Пунктирная кривая представляет экстраполяцию профиля из инерционного подслоя, сплошная линия представляет фактический профиль ветра.

В инерционном подслое применяется теория подобия Монина-Обухова, включая логарифмический закон:

$$\bar{u}_z = (u_* / k) \{ \ln[(z - z_d)/z_0] + \Psi_M\left(\frac{z}{L}\right) \} \quad (9.2)$$

где u_* — это скорость трения; k — константа фон Кармана (0,40); z_0 — высота шероховатости подстилающей поверхности; z_d — высота смещения нулевой плоскости (рисунок 9.4); L — длина стабильности Обухова ($= -u_*^3/[k(g/\theta_v)Q_H]$), где g — это ускорение свободного падения, θ_v — виртуальная потенциальная температура, и Q_H — чувствительный к турбулентности поток тепла; и Ψ_M — безразмерная функция, которая учитывает отклонение в кривой профиля ветра от нейтрального профиля при увеличении стабильности или неустойчивости¹. В нейтральном случае (обычно при сильных ветрах и облачности), когда Ψ_M является единицей, уравнение 9.2 сводится к следующему:

$$\bar{u}_z = (u_* / k) \ln[(z - z_d)/z_0] \quad (9.3)$$

Параметры профиля ветра могут измеряться при помощи вертикального ряда анемометров или могут проводиться измерения потока импульса или порывистости ветра посредством малоинерционной анемометрии в инерционном слое, однако оценки меняются в зависимости от направления ветра и чувствительны к ошибкам (Wieringa, 1996; Verkaik, 2000). Имеются также методы параметризации профилей ветра z_0 и z_d для городской территории (обзоры данного вопроса см. в публикациях Grimmond и Oke, 1999; Britter и Hanna, 2003). Самые простые методы связаны с использованием общих описаний землепользования и препятствий (см. таблицы 9.1 и 9.2; а также Davenport et al., 2000; Grimmond и Oke, 1999), или подробного описания высот различных элементов шероховатости и их пространственного распределения, основанных либо на географической информационной системе с данными о размерах зданий и улиц, либо на картах и перспективных аэрофотоснимках, или изображениях с воздушных судов/спутников, а также применений одной из нескольких эмпирических формул (рекомендации см. в Grimmond и Oke, 1999).

Важно включать в оценки городского профиля ветра высоту смещения z_d . Фактически это эквивалентно созданию основы для логарифмического профиля ветра, который учитывает физическую массу растительного покрова города. Это напоминает создание новой «наземной поверхности» на высоте, где происходит поглощение среднего импульса потока (рисунок 9.4).

В зависимости от плотности застройки и деревьев, это могло бы определить основу профиля на высоте 0,5–0,8 z_H (Grimmond и Oke, 1999). Таким образом, не включение этого параметра в расчеты порождает серьезные ошибки. Первые оценки могут быть сделаны путем использования долей z_H , приведенных в таблице 9.2 (примечание b).

9.3.5.2 **Высота измерения и установка**

Проблематичным является выбор высоты, на которой следует проводить измерения параметров ветра в городских районах. В то же время, если применяются определенные базовые принципы, то могут быть получены значимые результаты. Неправильное размещение датчиков ветра в крупных городах является причиной бесполезной затраты значительных ресурсов и усилий и приводит к потенциально ошибочным расчетам рассеивания загрязняющих веществ. Разумеется, это является причиной затруднений и на открытой территории вследствие наличия препятствий и топографических воздействий. По этой причине эталонная высота для наблюдений за ветром в сельской местности устанавливается в 10 м над поверхностью земли, а не на уровне метеорологической будки, а анемометр должен находиться на горизонтальном расстоянии от препятствий, равном не менее чем десяти размерам высоты препятствия (том I, глава 5,

¹ Более подробную информацию о L и форме функции Ψ_M см. стандартное пособие по микрометеорологии, например, Stull, 1988; Garratt, 1992; или Arya, 2001. Отметим, что u_* и Q_H следует оценивать в инерционном слое над ПСШ.

Таблица 9.2. Классификация Дейвенпорта эффективной земной шероховатости^а

Класс	z_0 (м)	Описание ландшафта
4 Почти открытый	0,10	Умеренно открытая местность со случайными препятствиями (например, изолированные низкие здания или деревья) в относительном горизонтальном удалении по крайней мере на 20 высот препятствия
5 Шероховатый	0,25	Рассеянные препятствия (здания) на относительных расстояниях 8—12 высот препятствия для низких капитальных объектов (например, здания) (анализ возможно потребует z_d) ^б
6 Очень шероховатый	0,5	Область, умеренно покрытая низкими зданиями в относительном удалении на 3—7 высот препятствия и отсутствие высоких деревьев (анализ требует z_d) ^б
7 Скользящий	1,0	Плотная зона застройки без большого изменения высоты застройки (анализ требует z_d) ^б
8 Хаотический	2,0	Центры городов с наличием низких и высотных зданий (рекомендуется анализ в аэродинамической трубе)

Примечания:

а Сокращенная версия (редакция 2000 г., только для городской шероховатости) Дейвенпорта и других (2000); для классов 1—3 и для сельскохозяйственных классов 4—8, см. том I, глава 5, приложение, и WMO (2003).

б Первые расчетные значения z_d даны как доли средней высоты препятствия, то есть: 0,5 z_H , 0,6 z_H и 0,7 z_H для классов 5, 6 и 7 Дейвенпорта соответственно.

раздел 5.9.2, настоящего Руководства). В типичных городских районах невозможно найти подобные места, например, в ГКЗ со зданиями и деревьями высотой в 10 м потребуется участок территории с радиусом как минимум 100 м. Если подобная площадка существует, то почти наверняка она не является репрезентативной для данной зоны. Уже отмечалось, что подуровень шероховатости, в котором сохраняются воздействия отдельных элементов шероховатости, простирается до высоты порядка 1,5 z_H на плотно застроенной территории и, возможно, еще выше на площадях с меньшей плотностью застройки. Таким образом, в рассматриваемом районе минимальная допустимая высота анемометра составляет как минимум 15 м, а не предписанные 10 м. В случае гораздо более высоких зданий анемометр, расположенный на эталонной высоте в 10 м, будет находиться гораздо ниже ГПС, и учитывая однородность городской структуры и соответственно структуры ветра, небольшую пользу принесет размещение датчика ветра ниже уровня крыш или даже приблизительно на этом уровне.

Из наблюдений в аэродинамической трубе и в полевых условиях хорошо известно, что поток над отдельным твердым препятствием, таким как высотное здание, подвергается значительному возмущению как непосредственно над данным зданием, так и вокруг него. Эти возмущения включают изменения в направлении воздушного течения, появление зон рециркуляции на крыше и в так называемом «пузыре» или впадине за зданием, а также эффекты следа струи, которые сохраняются в нижнем течении на расстоянии, в десятки раз превышающем высоту здания, и которые затрагивают значительную часть смежного пространства (рисунок 9.5).

Имеется много примеров плохо установленных в городах систем анемометр-флюгер. Регистрируемые такими приборами данные являются ошибочными, вводящими в заблуждение, потенциально вредными в том случае, если они используются с целью получения исходных данных о ветре для применений, связанных с ветровой нагрузкой или дисперсией, и на них напрасно расходуются имеющиеся ресурсы. Невозможно переоценить бессмысленность размещения анемометров и флюгеров на коротких мачтах наверху зданий. Скорость и направление ветра резко меняются на коротких дистанциях, как горизонтально, так и вертикально. Результаты, полученные от размещенных подобным образом приборов, мало похожи на общий поток воздуха и полностью зависят от конкретных характеристик самого здания, местоположения мачты на данной

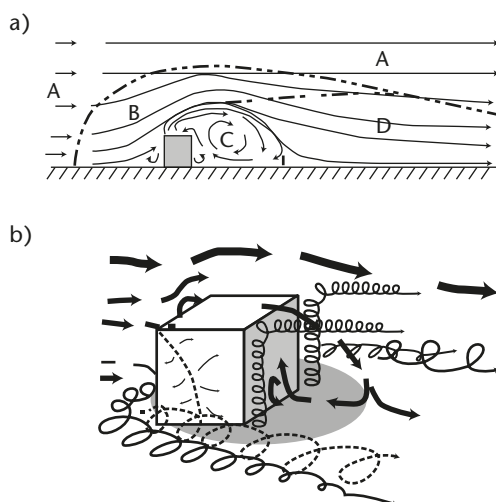


Рисунок 9.5. Типичный двумерный поток, огибающий здание, стоящее против набегающего потока (а): направления потока и его зоны; А представляет невозмущенный поток, В — возмущенный поток, С — впадину, D — след возмущенного потока (по Halitsky, 1963), и (b): поток и структуры вихрей (упрощение по Hunt et al., 1978).

структуре и угла атаки потока по отношению к зданию. Циркулирующие и вихревые потоки, показанные на рисунке 9.5, означают, что если мачта ставится перед областью кавитации, наверху ее или в самой этой области позади здания, то результаты измерения направления могут быть совершенно противоположными тем, которые доминируют в потоке за пределами зоны воздействия непосредственного режима ветра вокруг данного здания (а именно в зоне А рисунка 9.5 (а)), а скорости колеблются в значительных пределах. Для того, чтобы выйти за пределы зоны возмущения, приборы для измерения параметров ветра должны монтироваться на значительной высоте. Например, предлагалось размещать такие датчики на высоте, превышающей максимальный горизонтальный размер основной крыши (Wieringa, 1996). Это предполагает наличие дорогостоящей мачтовой системы, возможно с оттяжками, которые занимают обширную площадку и, вероятно, трудности с получением разрешения на установку. Тем не менее, это единственный приемлемый подход, если необходимо получить значимые данные.

При столкновении с подобными реальностями следует устанавливать датчики таким образом, чтобы их набегающий поток не слишком перекрывался их опорной структурой. Предлагаются следующие рекомендации:

- а) в городских районах с незначительной высотой и плотностью элементов (ГКЗ 6 и 7) возможно использование площадки, на которой могут соблюдаться рекомендации в отношении эталонной установки в «открытом поле». При использовании высоты в 10 м самые близкие препятствия должны находиться на расстоянии от анемометра, по меньшей мере, в 10 раз превышающем их высоту, а их средняя высота должна быть не более 6 м;
- б) в районах с более плотной застройкой с относительно единообразной высотой и плотностью разных элементов (здания и деревья), измерения скорости и направления ветра следует проводить при помощи анемометра, установленного на мачте сквозной конструкции с минимальной высотой, которая в 1,5 раза превышает среднюю высоту указанных элементов;
- с) в городских районах с разбросанными высотными зданиями рекомендации такие же, как и в пункте (б), однако особое внимание необходимо уделять тому, чтобы не попасть в зону турбулентности, создаваемую высотными сооружениями;

- d) не рекомендуется проводить измерения скорости или направления ветра на плотно застроенных территориях с большим количеством высотных сооружений, если только не используется очень высокая башня.

Анемометры на башнях с открытой конструкцией должны монтироваться на стрелах (поперечных балках), которые являются достаточно длинными для того, чтобы обеспечивать нахождение этих датчиков на расстоянии от боковой стороны мачты, равном по меньшей мере двум (желательно трем) диаметрам башни (Gill et al., 1967). Датчики следует монтировать таким образом, чтобы как можно реже направление потока проходило через башню. Если это невозможно или если решетка башни является очень плотной, необходимо будет, вероятно, смонтировать две или три стрелы с дублирующими датчиками, с тем чтобы предотвратить воздействия турбулентности и угасания встречного ветра, вызванного самой башней.

Если мачты анемометров приходится монтировать на высоких или изолированных зданиях, необходимо учитывать воздействия размеров этой структуры на воздушный поток (см. главу 5, 5.3.3, настоящего тома). Это потребует, вероятно, проведения анализа с использованием аэродинамической трубы, гидрологического лотка или расчетных гидродинамических моделей, специально разработанных применительно к представляющему интерес зданию, включая также окружающую его территорию и структуры.

Цель состоит в том, чтобы обеспечить проведение всех измерений параметров ветра на высотах, где они являются репрезентативными для потоков над поверхностью с шероховатостью, характерной в местном масштабе, и чтобы эти измерения были свободны от возможных, вводящих в заблуждение воздействий в результате поверхностных аномалий в микромасштабе или локальном (местном) масштабе. Соответственно, особое внимание уделяется проведению точных измерений на любой высоте, которая необходима для уменьшения погрешности, вместо того, чтобы проводить измерения на стандартной высоте. Для этого может потребоваться отделение площадки для измерения параметров ветра от места размещения других измерительных систем. Это может также привести к проведению наблюдений за ветром на нескольких различных высотах в одном и том же населенном пункте. Для этого необходимо будет экстраполировать измеряемые величины на общую высоту, если необходимо получить пространственное распределение или если эти данные должны стать исходными для мезомасштабной модели. Подобная экстраполяция легко достигается путем применения логарифмического профиля (уравнение 9.2) для двух высот:

$$\bar{u}_1 / \bar{u}_{ref} = \ln(z_1 / z_0) / \ln(z_{ref} / z_0) \quad (9.4)$$

где z_{ref} — это выбранная «эталонная» высота; z_1 — высота установки анемометра; и z_0 — высота шероховатости ГКЗ. На городской территории правильным является определение «эталонной» высоты для включения высоты смещения нулевой плоскости, а именно z_1 и z_{ref} имеют вид $(z_x - z_d)$, где нижний индекс x означает «1» или «ref». Подходящей «эталонной» высотой может быть 50 м над высотой смещения.

Другие поправки при установке приборов, связанные с отклонением потока, топографией и воздействиями шероховатости, могут быть внесены в соответствии с рекомендациями, содержащимися в [томе I](#), глава 5 (см. раздел 5.9.4: поправка с учетом установки приборов), настоящего Руководства. Вполне может оказаться, что для данной городской площадки невозможно организовать проведение подходящих наблюдений за ветром. В таком случае возможно все же проводить расчеты параметров ветра для «эталонной» высоты на основе данных наблюдений за ветром на другой городской станции или в аэропорту, применяя для этого модель «логарифмического преобразования» Wieringa (1986):

$$\bar{u}_{zA} = \bar{u}_{zB} \left[\frac{\ln(z_r / z_{0B}) \cdot \ln(z_A / z_{0A})}{\ln(z_B / z_{0B}) \cdot \ln(z_r / z_{0A})} \right] \quad (9.5)$$

где нижние индексы A и B относятся к представляющей интерес площадке, где необходимо получение параметров ветра, и к площадке, где имеются данные о стандартных

измерениях параметров ветра соответственно. Высота перемешивания z , должна либо быть равной $4 z_H$ (см. 9.1.1.3), либо принимать стандартное значение в 60 м; данный метод не очень зависит от этого показателя. Кроме того, если на любой из этих площадок имеются высокие тесно расположенные элементы шероховатости, то соответствующая шкала высоты должна учитывать z_d .

9.3.5.3 **Соображения, касающиеся датчиков ветра**

Для городских территорий применимы приборы, используемые для измерения скорости и направления ветра, порывистости и других характеристик потока во вне городской окружающей среде. В крупных городах следует всегда измерять направление ветра, а также его скорость, с тем чтобы можно было вносить зависящие от азимута поправки на влияние башни. В случае использования механических чашечных анемометров техническое обслуживание должно проводиться более часто из-за загрязнения атмосферы, и особое внимание следует уделять состоянию подшипников и коррозии. Если измерения проводятся в ГПС, то порывистость ветра может усугубить проблему чрезмерной скорости вращения чашек, а слишком большое укрытие может стать причиной того, что анемометры функционируют со скоростью, которая близка или ниже их предельной минимальной скорости. Эту проблему надо решать посредством более эффективного технического обслуживания и, возможно, использования быстродействующих анемометров, анемометров пропеллерного типа или акустических анемометров. Пропеллерные анемометры в меньшей степени склонны к превышению скорости, а акустические анемометры, не имеющие никаких подвижных частей, практически не нуждаются в техническом обслуживании. В то же время, они являются дорогостоящими и требуют сложной электронной схемы регистрации и обработки данных, и не все их модели работают во время дождя.

9.3.6 **Осадки**

Приборы и методы измерения осадков, описанные в томе I, глава 6, настоящего Руководства, также адаптированы к городской среде. Измерение осадков, таких как дождь или снег, всегда подвержено ошибкам, связанным с установкой измерительного прибора, особенно из-за искажения поля ветра вокруг него. Учитывая городские условия и весьма изменчивый характер поля ветра в ГПС и ПСШ, озабоченность вызывают следующие четыре основных источника ошибок:

- a) перехват осадков на их траектории к поверхности земли находящимися рядом собирающими поверхностями, такими как деревья и здания;
- b) твердые поверхности вблизи измерительного прибора, которые также могут вызвать попадание брызг в измерительный прибор и наличие нависающих объектов, с которых может падать вода в измерительный прибор;
- c) пространственная сложность поля ветра вокруг препятствий в ГПС вызывает весьма локализованную концентрацию или отсутствие воздушного потока, несущего дождь или снег;
- d) порывистость ветра в сочетании с физическим присутствием самого измерительного прибора, что вызывает аномальную турбулентность вокруг него, которая приводит к переоценке или недооценке количества осадков.

На открытой местности стандартная установка требует, чтобы окружающие препятствия находились от осадкомера на расстоянии, не меньшем, чем их двукратная высота. В определенном смысле это менее строгое требование по сравнению с требованиями, предъявляемыми к измерениям температуры, влажности или ветра. В то же время, в ГПС турбулентная активность, создаваемая потоком воздуха вокруг зданий с острыми выступами, является более значительной по сравнению с турбулентностью вокруг

естественных препятствий, и она может проявляться на большей протяженности их турбулентного следа. Кроме того, следует избегать площадок на крыше здания из-за большой изменчивости скорости и направления ветра там.

С другой стороны, в отличие от измерений температуры, влажности и ветра, цель измерения осадков часто заключается не в проведении анализа локальных воздействий, за исключением, возможно, интенсивности выпадения дождевых осадков. Некоторые воздействия городской среды на осадки могут быть инициированы в локальном (местном) масштабе (например, крупным промышленным предприятием), однако они могут проявляться на значительном расстоянии в подветренной стороне города. Различия, наблюдаемые в пределах городской зоны, с большей степенью вероятности объясняются воздействиями или топографическими эффектами.

Приемлемым может оказаться выбор обширной открытой площадки в городе, где могут быть соблюдены стандарты нормальной установки, однако с почти полной очевидностью это будет означать, что измерительный прибор не будет размещаться совместно с датчиками температуры воздуха, влажности и ветра. В то время, как последние упомянутые датчики должны быть репрезентативными для городской структуры местного масштаба, покрытия, структуры и обменных процессов конкретной ГКЗ; в отношении измерения осадков это требование не действует.

Однако местная окружающая среда измерительного прибора имеет важное значение, если станция должна использоваться для изучения межгородских изменений типа осадков. Например, «тепловой остров» в городских условиях оказывает влияние на срок существования различных видов осадков, например, снег или мокрый снег в «основании» облаков может таять в более теплой городской атмосфере и выпадать на землю в виде дождя. Результатом этого может быть выпадение снега в сельских и пригородных районах, в то время как в центре города регистрируется дождь.

В отношении осадкомеров в городских районах рекомендуется следующее:

- a) осадкомеры следует размещать на открытых площадках в пределах города, где могут быть соблюдены критерии стандартной установки (например, игровые поля, открытые парковые территории с незначительной плотностью деревьев, городские аэропорты);
- b) осадкомеры следует размещать вместе с приборами для измерения ветра, если для них найдена репрезентативная площадка. В других местах, которые не характеризуются низкой плотностью застройки, это, вероятно, повлечет за собой установку осадкомера на мачте выше уровня крыш. Это означает, что осадкомер будет подвергаться воздействию ветра, скорость которого больше репрезентативной, и соответственно ошибка в оценке будет больше, чем ошибка вблизи поверхности, и необходимо будет вносить поправку в показания осадкомера. Подобная поправка является практически возможной, если ветер измеряется на той же самой мачте. Это также означает, что предпочтение отдается автоматической регистрации, и осадкомер должен проходить регулярную проверку для обеспечения того, чтобы он был установлен горизонтально, а его отверстие было свободно от мусора;
- c) осадкомеры не следует размещать на крышах зданий, если только их не устанавливают на достаточной высоте, с тем чтобы предотвратить воздействие ветровой зоны здания;
- d) измерение глубины выпавшего снега следует проводить на открытой площадке, или, если это делается на застроенных участках, следует провести измерения на обширном пространстве, с тем чтобы было учтено неизбежное накопление снега вокруг препятствий. Подобные измерения должны охватывать улицы, ориентированные в разных направлениях.

Гидрологи городов интересуются показателями интенсивности жидких осадков, особенно во время сильных ливней. Соответственно полезными являются дождемеры

с опрокидывающимся ковшом (челночные) или весовые пювиографы. Измерение жидких и твердых осадков в городских районах выигрывает от разработки новых технических средств, таких как оптические дождемеры и радиолокаторы.

Осадки в виде росы, инея и тумана также имеют место в городах и могут иметь значение для водохозяйственного баланса, особенно для некоторых поверхностей, и быть связанными с такими применениями, как учет влияния на болезни растений, активность насекомых, безопасность на дорогах и выявление дополнительного источника водных ресурсов. Методы, описанные в томе I, глава 6, подходят для городских площадок.

9.3.7 Радиация

В настоящее время в городских районах недостаточно осуществляется измерений радиационных потоков. Например, почти ни об одной из составляющей не упоминается в Архиве мирового энергетического баланса Всемирной климатической программы и в Программе измерений атмосферной радиации Министерства энергетики США. Площадки для измерения радиации специально размещаются в сельской местности или отдаленных местах с тем, чтобы избежать воздействия аэрозольных и газообразных загрязняющих веществ городов, влияющих на результаты измерений. Даже в тех случаях, когда станция носит название города, метаданные обычно показывают, что они фактически расположены далеко за пределами городской черты. Если станции размещены в застроенном районе, то измерению подлежит, вероятно, только приходящая солнечная (суммарная) радиация; не ведется мониторинг ни приходящей длинноволновой радиации, ни каких-либо потоков с исходящими компонентами. В большинстве своем краткосрочные экспериментальные проекты, ориентированные в первую очередь на воздействия городских условий, предусматривают измерения радиационного баланса в городах. Все коротко- и длинноволновые потоки испытывают воздействие особых характеристик атмосферы и подстилающей поверхности в городах, и это же относится к полному радиационному балансу, который фактически определяет энергетический баланс в условиях города (Oke, 1988a).

На городских территориях могут применяться все приборы с имеющимися для них калибровками и поправками, а также большинство полевых методов, изложенных в [томе I](#), глава 7, настоящего Руководства, для измерения радиации в естественных условиях. В данном документе речь идет только о различиях или конкретных городских потребностях либо трудностях.

9.3.7.1 Приходящая радиация

Приходящая солнечная радиация является фундаментальной переменной величиной, влияющей на городские климатические условия, и поэтому ее измерению следует уделять приоритетное внимание, особенно после того, как станция организована или модернизирована. Знание этого параметра наряду с данными стандартных наблюдений за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра, а также простые измерения структуры и покрова площадки, дают возможность использовать метеорологическую предпроцессорную схему (а именно: методы и алгоритмы, применяемые для преобразования стандартных полей наблюдений в переменные величины, необходимые в качестве исходных, но не измеряемых элементов для моделей, например радиация, стабильность, высота перемешивания, коэффициенты рассеяния и т. д.), подобную Гибридной модели дисперсии факела загрязнения (Hanna и Chang, 1992) или Схеме параметризации городских метеорологических процессов в местном масштабе (Grimmond и Oke, 2002), для расчета характеристик на базе данных гораздо более сложных измерений, таких как атмосферная стабильность, статистика турбулентности, потоки импульса, тепла и водяного пара. В свою очередь это делает возможным предсказание высоты перемешивания и дисперсии загрязняющих веществ (COST 710, 1998; COST 715, 2001). Кроме того, в дневное время солнечная радиация может быть использована в качестве параметра, отражающего наличие облаков, и это является важным при оценке условий, связанных с солнечной энергетикой, уровнями дневного освещения в зданиях,

комфортом пешеходов, определенными законодательными правами на солнечное освещение и многими другими областями. В то же время измерение солнечной радиации автоматическими станциями является простым и относительно недорогостоящим.

В городских условиях соблюдать требования по установке пиранометров и датчиков других видов приходящей радиации довольно просто. Главным образом, необходимо обеспечить, чтобы чувствительный элемент датчика располагался горизонтально, не подвергался вибрации и не экранировался горизонт окружающими объектами, включая как стационарные объекты (здания, мачты, деревья и холмы), так и эпизодически возникающие (облака, образовавшиеся от вытяжных вентиляторов или шлейфа загрязняющих веществ). Поэтому часто идеальным вариантом является высоко расположенная, стабильная и доступная платформа, например крыша высотного здания. Однако бывает невозможным предотвратить краткосрочное экранирование прямой солнечной радиации мачтами, антеннами, флагштоками и аналогичными структурами. В таких случаях следует полностью документировать местонахождение препятствия и продолжительность его воздействия на чувствительный элемент датчика (см. 9.4). Методы корректировки для подобных помех изложены в [томе I](#), глава 7. Важно также исключить попадание на датчик радиации, отраженной от светлоокрашенных стен, находящихся выше линии местного горизонта. Важно регулярно очищать открытые входные окна датчиков (плоские или полусферические). В случае сильно загрязненной окружающей среды чистку следует выполнять ежедневно.

Желательно также учитывать другие виды приходящей радиации, однако это зависит от природы городской среды, потребностей и стоимости датчиков. Этими видами радиации (и приборами для их измерения) являются: прямая солнечная (пиргелиометр), рассеянная небом (пиранометр с затеняющим диском либо с теневым кольцом), ультрафиолетовая (широкополосные либо узкополосные датчики и спектрометры), и длинноволновая (пиргеометр). Результаты измерений этих видов радиации имеют широкое применение: прямая солнечная радиация (характеристики прозрачности атмосферы в целях принятия мер по удалению загрязнения); рассеянная радиация (дневное освещение внутри помещений, солнечные панели); ультрафиолетовая радиация (общее содержание озона и предотвращение вредного воздействия на людей, растения, материалы); длинноволновая (мониторинг ночных облаков, усиление потока в результате воздействия загрязняющих веществ и острова тепла).

9.3.7.2 ***Уходящие виды радиации радиационный баланс***

В настоящее время на городских станциях редко осуществляется мониторинг отраженной солнечной радиации, излучаемой и отражаемой длинноволновой радиации, а также радиационного баланса полного, коротковолнового и длинноволнового излучения. Это означает, что важные характеристики городской климатической системы остаются неисследованными. Неизвестным остается альбедо подстилающих поверхностей в городах, от которого зависит, будет ли солнечная радиация поглощаться данной структурой или вернется обратно в атмосферу и космос. Утрачивается возможность применения закона Стефана-Больцмана для определения температуры излучаемой поверхности. Теряется значение критической чистой радиации, которая определяет нагрев/охлаждение городской структуры, а также обмен водой и теплом между поверхностью и городским пограничным слоем. Из этих данных больше всего не хватает данных о радиационном балансе. Итоговые данные от хорошо обслуживаемого чистого радиометра являются бесценными для введения в предпроцессорную схему, а также замены измерений облачности.

Основной трудностью для точного измерения параметров уходящей радиации является установка направленного вниз радиометра таким образом, чтобы обеспечить обзор репрезентативной зоны, расположенной ниже городских строений. Приемник радиации (уравнение 9.1 и рисунок 9.2) должен идеально «видеть» репрезентативную выборку основных поверхностей, способствующих образованию данного вида радиации. В случаях эталонной установки, определенных в соответствующих разделах [томе I](#), глава 7, надлежащей считается высота датчика в 2 м над поверхностью скошенного газона. На этой

высоте 90 % исследуемого потока поступает от участка поверхности диаметром 12 м. Очевидно, что требуется гораздо большая высота размещения датчика над территорией, которая содержит достаточную совокупность поверхностных характеристик для того, чтобы быть репрезентативной для данной ГКЗ. В случае установки радиометра на высоте 20 м (наверху 10-метровой мачты, смонтированной на здании высотой 10 м) в районе с плотной инфраструктурой 90 % исследуемого потока поступает от участка поверхности диаметром 120 м. Это может показаться достаточным для того, чтобы «видеть» несколько зданий и дорог, однако необходимо также учитывать, что данная система является трехмерной, а не почти такой же плоской, как трава. В этом примере на уровне крыши зона обзора охватывает только 60 м в диаметре, и в нее может попасть относительно небольшое число зданий.

Возникает вопрос о том, может ли этот датчик «видеть» соответствующий спектр климатически активных поверхностей. Это означает, что этот датчик должен не только видеть необходимый набор типов поверхности в горизонтальной проекции, но также и делать выборку соответствующих частей крыши, стены и наземных поверхностей, включая правильные части каждого из этих элементов, которые находятся на солнце или в тени. Это не является тривиальной задачей, решение которой зависит от структуры поверхности и позиций как датчика, так и солнца, в пространстве над местом размещения группы датчиков. Soux et al. (2004) разработали модель для расчета этих разных частей для относительно простых, схожих с городскими, геометрических групп. Однако необходимо проделать большой объем работы перед тем как будут получены руководящие указания, конкретно касающиеся отдельных типов ГКЗ. Как представляется, высота датчика должна быть больше высоты проведения измерений турбулентности. Нелинейный характер воздействий, связанных с зоной радиационного источника, четко вытекает из уравнения 9.1 (см. рисунок 9.2). Увеличение весового коэффициента поверхностей, находящихся ближе к мачте, означает, что наибольшее значение имеет непосредственное окружение. В предыдущем примере радиометра, находящегося на высоте 20 м здания высотой 10 м, 50 % сигнала на уровне крыши поступает из круга диаметром всего лишь в 20 м (возможно, только одно здание). Если крыша этого здания или любая другая поверхность, на которой смонтирована мачта, имеет не типичные радиационные характеристики (альбедо, излучательная способность или температура), то это диспропорционально воздействует на поток, который предположительно является репрезентативным для более обширной территории. Вследствие этого следует избегать крыш с большими участками из стекла или металла, либо крыш нехарактерного темного или светлого цвета, или крыш, предназначенных для того, чтобы не пропускать удерживаемую стоячую воду.

Проблемы, связанные с направленными вниз и находящимися на больших высотах радиометрами, включают: (а) трудность обеспечения горизонтального расположения плоскости чувствительного элемента; (б) обеспечение условий отсутствия попадания на чувствительный элемент датчика прямой солнечной радиации при больших зенитных углах солнца или приходящей длинноволновой радиации атмосферы; (с) рассмотрение вопроса о необходимости корректировать результаты измерений с учетом ослабления радиации воздушным слоем между прибором и изучаемой поверхностью. Для исключения помех, создаваемых солнечным или длинноволновым излучением вблизи горизонта, может использоваться узкополосный круглый экран, ограничивающий поле зрения у горизонта на несколько градусов. Это вызовет необходимость ввода незначительной поправки к показаниям прибора, учитывающей недостающий вклад рассеянной солнечной радиации (см. том I, глава 7, приложение 7.Е, для случая применения круглого экрана) и дополнительного длинноволнового излучения ободка.

Обращенные вниз датчики могут иметь дополнительную погрешность, обусловленную нагревом солнцем открытой их задней части. Этого следует избегать посредством использования определенного вида укрытия или изоляции. Также более трудным может оказаться поддержание чистоты входных окон прибора и удаления попавших на них капель воды или кристаллов льда. Отсутствие возможности следить за скоростью и эффективностью вентиляции прибора на определенной высоте означает, что

предпочтение следует отдавать приборам, которые не нуждаются в вентиляции. Преимуществом является возможность опускания мачты для проведения чистки, замены осушителя и полиэтиленовых куполов, а также корректировки горизонтальности.

Рекомендуется следующее:

- а) размещать направленные вниз радиометры на высоте, по меньшей мере, равной высоте датчика турбулентности (а именно, рекомендуется высота, равная как минимум $2 z_H$), а предпочтительно — еще выше;
- б) радиационные характеристики непосредственного окружения радиационной мачты должны быть репрезентативными для изучаемого городского района.

9.3.8 Продолжительность солнечного сияния

Загрязненная атмосфера городских районов является причиной уменьшения продолжительности солнечного сияния по сравнению с окружающей их местностью или величинами ее в период, предшествующий урбанизации (Landsberg, 1981). К городской станции применимы рекомендации в отношении приборов, методов и установки приборов, изложенные в томе I, глава 8, настоящего Руководства.

9.3.9 Видимость и метеорологическая оптическая дальность

Воздействия городских районов на показатели видимости и метеорологической оптической дальности (МОД) имеют сложный характер, поскольку, с одной стороны, загрязняющие вещества, как правило, снижают видимость и МОД в результате того, что они уменьшают освещенность и способствуют образованию определенных видов тумана, с другой стороны, воздействия, вызванные городским островом тепла и влажности, часто способствуют уменьшению частоты и плотности тумана и низкой облачности. Получение информации о видимости и МОД в пределах города имеет большую практическую ценность для таких сфер деятельности, как авиация, перевозки по дорогам и рекам, оптическая связь, что объясняет необходимость включения подобных наблюдений в программу наблюдений городских станций.

Оптическая видимость снижается в городах. Хотя имеются многочисленные объекты и огни, которые могут служить в качестве ориентиров дальности до цели, трудным может оказаться получение достаточно непрерывной линии видимости на рекомендованной высоте в 1,5 м. Использование поднятой платформы или верхнего уровня зданий считается нестандартным и не рекомендуется. На наблюдения, проводимые вблизи от уровня крыш, могут также повлиять «мерцание» нагретых крыш или «испускание пара» воды с мокрых крыш во время их высыхания, или загрязняющие вещества и водные облака, выбрасываемые из каминов и других вентиляционных отверстий.

Приборы для измерения МОД, такие как трансмиссометры и измерители рассеяния (нефелометры), обычно хорошо работают в городских районах. Они требуют относительно коротких расстояний и будут давать хорошие результаты, если оптика поддерживается в чистом состоянии. Естественно, прибор должен быть установлен в месте, которое является репрезентативным для окружающей атмосферной среды, однако требования не являются более строгими по сравнению с теми, которые предъявляются к другим приборам, размещенным в ГПС. Может оказаться, что для определенных применений знание колебания высоты МОД имеет ценное значение, к примеру положение верхней части тумана или основания облаков.

9.3.10 Испарение и другие потоки

Градостроительство обычно ведет к уменьшению испарения, главным образом, вследствие того факта, что застроенные объекты делают поверхность водонепроницаемой, а растительность уничтожается. Тем не менее, в некоторых естественных засушливых регионах испарение может усилиться, если водоснабжение осуществляется из других мест и используется для полива городской растительности.

В городских районах существует очень мало станций для измерения испарения. Это объяснимо, поскольку почти невозможно толковать данные измерений испарения, осуществленных в ГПС с использованием различных методов измерения испарения — анемометров, испарительных бассейнов или лизиметров. Как об этом подробно говорится в томе I, глава 10, настоящего Руководства, подобные измерения должны проводиться в месте, которое является репрезентативным для данной территории; на расстоянии от препятствий не менее пятикратного размера их высоты или десятикратного размера в случае группы препятствий; приборы не должны находиться на бетоне или асфальте; они не должны быть в тени; и рядом с приборами не должно быть твердых поверхностей, которые могут вызвать попадание в них воды. Помимо этих проблем, предполагается, что поверхности приборов действуют в качестве заменителей растительности или открытых водных систем. Такие поверхности не являются, вероятно, репрезентативными для расположенной вокруг городской территории. Следовательно, на них действует микро-адвекция, которая, вероятно, вызывает испарение с аномально высокой скоростью.

Рассмотрим случай эвапорометра, функционирующего в течение длительного периода, первоначально в полусухом месте, которое отводится затем для сельскохозяйственных целей с использованием орошения, после чего это место отводится для строительства пригородных районов, а позднее оказывается в центре плотно застроенного городского района. Первые регистрируемые этим прибором данные об испарении характеризуются весьма высокими показателями, поскольку это место было с открытым водным пространством, окруженное территорией с жарким сухим климатом. Поэтому, хотя фактическое испарение в этом районе находится на весьма низком уровне, адвекция обусловила значительные потери воды из эвапорометра. Поскольку, благодаря введению орошения, климатические условия стали более прохладными и более влажными, показания его резко снизились, однако фактическое испарение является значительным. Поскольку городское развитие в значительной мере приводит к обратным экологическим изменениям и уменьшает скорость ветра у земли, потери воды из эвапорометра увеличиваются, однако фактическое испарение, вероятно, резко уменьшается. Таким образом, в рамках всей этой последовательности испарение, регистрируемое прибором, и фактическое испарение находятся, вероятно, в противофазе. Во время сельскохозяйственного периода коэффициент испарения мог бы, вероятно, применяться для приведения показаний эвапорометра к показаниям, характерным для короткой травы или зерновых культур. Не существует ни одного подобного коэффициента для пересчета показаний прибора в показатели испарения в городских условиях, даже в том случае, если эти показания не искажаются сложным характером окружающей среды в ГПС. Короче говоря, использование стандартных приборов для измерения испарения в ГПС не рекомендуется.

Размеры и неоднородность городских районов делают нецелесообразным использование полномасштабных лизиметров (например, требование о том, чтобы прибор находился на расстоянии не менее 100—150 м от места изменения окружающей территории). Микролизиметры могут измерять испарение с отдельных поверхностей, однако они все же чувствительны к условиям окружающей их среды. Подобные лизиметры требуют большого внимания, включая обновление почвенного монолита для предотвращения высыхания, и не подходят для регулярных долгосрочных наблюдений.

Информация об усредненном испарении в пространстве и других турбулентных потоках (импульс, теплосодержание, двуокись углерода) может быть получена посредством проведения наблюдений над ПСШ. Некоторые из этих потоков вызывают значительный практический интерес в городских районах по сравнению с многими районами в сельской местности. Например, для определения ветровой нагрузки на структуры

и дисперсию факелов от загрязнителей воздуха необходимы данные о вертикальном потоке горизонтального импульса и суммарные статистические данные и характеристики ветра. Поток сухого тепла является существенным исходным элементом для расчета атмосферной стабильности (например, число Ричардсона для потока и длина Обухова) и толщины городского слоя перемешивания. Вместо методов градиента по профилю рекомендуются быстродействующие методы турбулентной ковариации или стандартного отклонения. К числу соответствующих приборов относятся акустические анемометры, инфракрасные гигрометры, газовые анализаторы и сцинтилляционные спектрометры. Датчики должны быть установлены точно так же, как и датчики ветра: выше ПСШ, но ниже внутреннего пограничного слоя изучаемой ГКЗ. Кроме того, подобные измерения основаны на том, что «отпечаток» потока является достаточно крупным для того, чтобы быть репрезентативным для изучаемого ограниченного района.

Если подобные измерения потока являются невозможными с точки зрения имеющихся финансовых и технических ресурсов, то приемлемым методом получения репрезентативных в отношении воздуха величин испарения и потока тепла в городе является метеорологическая предпроцессорная схема, такая как метод ограничения озона, гибридная модель дисперсии шлейфа загрязняющих веществ или схема параметризации городских метеорологических процессов (см. 9.3.7). Подобные схемы требуют только пространственно репрезентативных наблюдений за приходящей солнечной радиацией, температурой воздуха, влажностью, скоростью ветра и общих оценок усредненных характеристик подстилающей поверхности, таких как альbedo, излучательная способность, высота шероховатости и части городского района, которые озеленены, застроены или орошаются. Очевидно, что наблюдения за скоростью ветра должны соответствовать рекомендациям, содержащимся в п. 9.3.5. В идеальном варианте должны также проводиться наблюдения температуры воздуха и влажности над ПСШ; однако если имеются только значения по ГПС, это обычно является приемлемым, поскольку подобные схемы не являются очень чувствительными к указанным переменным.

9.3.11 Влажность почвы

Информация о влажности городской почвы может быть полезной, например, для садовников или при расчетах испарения. О ее тепловом значении в городских ландшафтах свидетельствуют совершенно отчетливо видимые очертания на изображениях в инфракрасном диапазоне частот, полученные посредством методов дистанционного зондирования. В дневное время любой участок земли с активной растительностью или орошением является заметно более холодным по сравнению с застроенным, заасфальтированным или голым участком земли. Однако задача по проведению выборочных измерений для получения репрезентативных данных о влажности почвы является весьма сложной.

Одна из упомянутых проблем объясняется тем фактом, что значительные части поверхностей городских территорий являются полностью герметичными из-за вымощенных или строительных объектов; структура значительной части открытой почвы была грубо нарушена в прошлом при проведении строительных работ или когда эти территории были покинуты после их использования в целях урбанизации; «почва» может быть фактически сформирована в значительной степени из каменных обломков старых зданий или материалов для мощения улиц или могла быть привезена для замены существующей почвы или наполнительного материала из дальних мест; влажность почвы может также испытывать воздействие в результате утечки воды из локализованных источников, таких как сломанные трубы водопровода или канализации или в результате орошения. Следствием воздействия всех этих элементов является весьма пятнистая картина влажности почвы в городах, которая может включать совершенно сухие участки, расположенные в непосредственной близости от залитых водой лужаек. Таким образом, хотя можно получить определенное представление о влажности почвы в местном масштабе, в районах с весьма низким уровнем урбанизации или в тех местах, где был сохранен полудикий ландшафт, почти невозможно характеризовать состояние влаги почвы в большинстве городских районов. Кроме того, в этом случае лучшим вариантом

может быть использование величин, характерных для сельской местности, которые дают общее фоновое значение для региона, вместо того чтобы вообще не иметь никаких оценочных данных о почвенной влаге.

9.3.12 Текущая погода

При наличии наблюдателей и обычного приборного обеспечения станции значительную ценность представляют наблюдения за текущей погодой и атмосферными явлениями, такими как изморозь, поверхностный лед, туман, пыльные и песчаные бури, воронкообразные облака и ливни, грозы с молнией, в особенности те из них, которые представляют угрозу для эффективности или безопасности городской деятельности, к примеру транспорта. Если имеются возможности архивации, то веб-камеры могут предоставить очень полезные сведения о состоянии облаков, краткосрочных изменениях в облачности, связанных с фронтами, полосах тумана, которые убывают и перемещаются, низкой облачности, которая поднимается и снижается, а также о появлении фронтов пыльных и песчаных бурь.

9.3.13 Облачность

Хотя в крупных городах редко проводятся наблюдения за облачным покровом, эта информация является весьма полезной. Все методы и приборы, описанные в [томе I](#), глава 15, настоящего Руководства, применимы и для условий городов. Визуальное наблюдение затрудняется из-за большого количества и интенсивности источников света в городах, сочетающихся с подпернутой дымкой и иногда загрязненной атмосферой. По мере возможности, при размещении наблюдательной площадки следует избегать мест с особенно ярким освещением.

9.3.14 Состав атмосферы

Все более важное значение приобретает мониторинг атмосферного загрязнения городской окружающей среды. Однако это другая специальная дисциплина, и она не будет рассматриваться в этой главе. В [томе I](#), глава 16, настоящего Руководства, рассматривается данная проблематика в более широком контексте Глобальной службы атмосферы.

9.3.15 Методы зондирования городского пограничного слоя

Поскольку вызываемые городскими условиями воздействия простираются по всему планетарному пограничному слою (рисунок 9.1), необходимо использовать башни и мачты для получения данных наблюдений над ПСШ. Особый интерес вызывают воздействия на поле ветра и вертикальную структуру температуры, включая высоту слоя перемешивания и их общую роль в оказании влияния на распространение загрязняющих веществ.

Для городских районов приемлемы все специальные методы зондирования, изложенные в главе 5 настоящего тома. Потенциально весьма полезными являются акустические зонды (содары); тем не менее необходимо признать, что они страдают двумя недостатками: во-первых, их сигналам часто мешают различные городские источники шума (дорожное движение, воздушные суда, строительные работы и даже газонокосилки); и во-вторых, их работа может быть запрещена, если они вызывают раздражение у населения. Радиолокаторы для получения профилей ветра, радиоакустические системы зондирования, микроволновые радиометры, микроволновые профилометры температуры, лазерные радары (лидары) и модифицированные облакомеры — все эти измерительные средства являются подходящими системами для мониторинга городской атмосферы, если можно избежать помех в результате отражения от наземных предметов. Кроме того, шары-зонды для отслеживания траектории ветра, радиозонды пограничного слоя (минизонды) и оснащенные приборами привязные аэростаты — все они могут

использоваться весьма успешно, если органы управления воздушным движением дают разрешение на их использование. Оснащенные приборами башни и мачты могут стать великолепным средством для размещения датчиков над уровнем крыши и в инерционном подслое, а очень высокие строения и конструкции могут обеспечить проведение измерений выше слоя перемешивания. Однако необходимо уделять особое внимание мерам предосторожности, изложенным в [главе 5](#), 5.3.3, настоящего тома, которые касаются потенциального воздействия инфраструктуры на характеристики атмосферы. Хотя высотные здания могут, по-видимому, явиться средством для проникновения выше в городской пограничный слой, развертывание датчиков может быть бесполезным и, возможно, вводящим в заблуждение до тех пор, пока не будет дана полная оценка воздействий создающих помехи препятствий и не будут приняты меры для их предотвращения.

9.3.16 **Спутниковые наблюдения**

Дистанционное зондирование со спутника с адекватным разрешением в инфракрасном диапазоне может оказаться полезным для обследования обширных городских районов. Описание этих методов имеется в томе IV, а обзор их использования в науке о городском климате содержится в публикации Voogt and Oke (2003).

9.4 **МЕТАДАННЫЕ**

Полная и точная документация по метаданным станции ([том I](#), глава 1, настоящего Руководства) является абсолютно необходимой для любой станции; она должна «обеспечить, чтобы у конечного пользователя данных не было никаких сомнений относительно тех условий, в которых данные были зарегистрированы, собраны и переданы, для того чтобы сделать точные выводы из их анализа» (WMO, 2003). Можно утверждать, что это является даже еще более существенным в отношении городской станции, поскольку городские участки характеризуются как необычайно высокой степенью сложности, так и большей склонностью к переменам. Эта сложность делает каждый участок действительно уникальным, в то время как большие открытые участки в сельской местности соответствуют относительно стандартному образцу. Перемены означают, что контрольные мероприятия по данному участку являются весьма динамичными, в связи с чем документация должна часто обновляться. На рисунке 9.6 отражено, что минимальные требования к метаданным станции, установленные ВМО (WMO, 2003), полностью выполняются и что есть надежда на то, что некоторые или все из рекомендованных в этих требованиях видов эффективной практики осуществляются. В данном случае особое внимание уделяется специальным городским характеристикам, которые необходимо включать в метаданные, в частности в категориях «местная окружающая среда» и «исторические события».

9.4.1 **Местная окружающая среда**

Как отмечается в п. [9.1.1](#), в случае городских станций приборы устанавливаются как внутри городского полога (ГПС), так и над ним. Следовательно, описание условий окружающей местности должно быть сделано как в микромасштабе, так и в местном масштабе. Как следует из публикации ВМО (WMO, 2003), для адаптации с целью характеристики городской окружающей среды рекомендуется регистрировать на станции следующую описательную информацию:

- а) карта в местном масштабе — мезомасштабе (~1:50 000), как показано на рисунке 9.6 а), которая обновляется, в случае необходимости, для описания крупномасштабных изменений в городском развитии (например, передача незастроенных участков земли под жилищное строительство, сооружение торгового центра или аэропорта, строительство новых высотных зданий, вырубка лесного массива, осушение озера, создание водохранилища). В идеальном

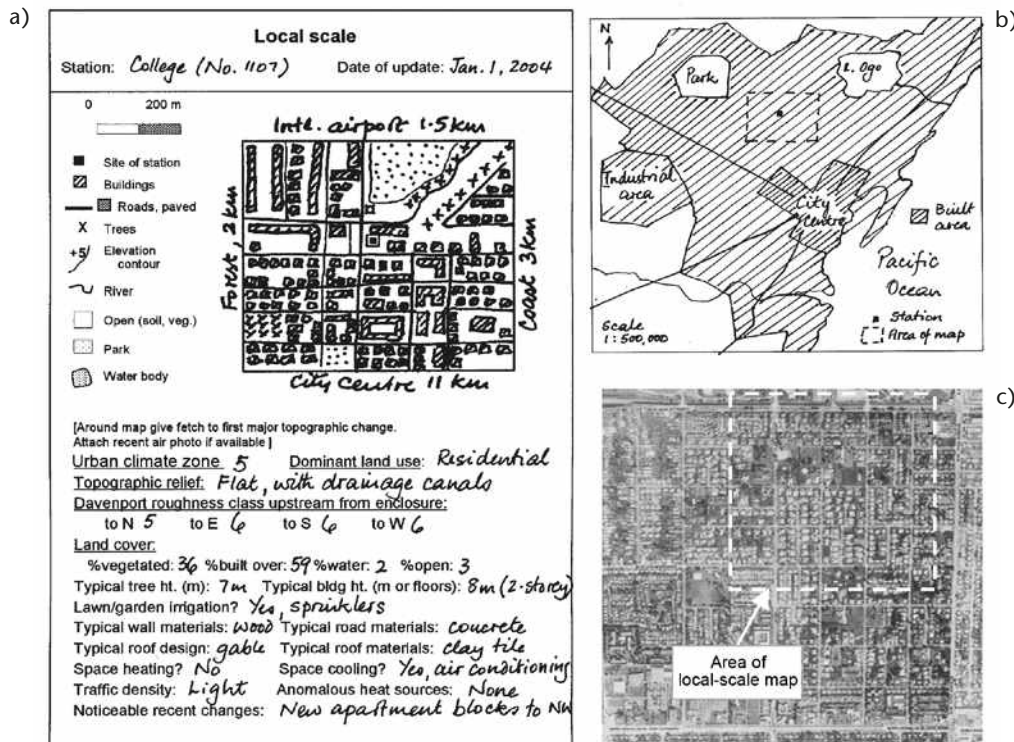


Рисунок 9.6. Минимальная информация, необходимая для описания локального (местного) масштаба окружающей среды городской станции, содержит а) шаблон для документирования местных условий; б) схематическую карту расположения станции в более крупной городской зоне и в) аэрофотоснимок.

варианте следует также предоставить аэрофотоснимок данного района, а также простую схематическую карту (в масштабе 1:500 000 или 1:1 000 000) для указания местоположения станции по отношению к остальному урбанизированному району (рисунки 9.6 б) и в)), и любые основные географические характеристики, такие как водоемы, горы и долины или изменение типа экосистемы (пустыня, болото, лес). Особенно показательным может быть перспективный аэрофотоснимок, поскольку на нем также видна высота зданий и деревьев. Важное значение в том, что касается воздействий на микроклимат, имеют, при их наличии, аэрофотоснимки или спутниковые изображения в инфракрасном диапазоне частот. Например, относительно прохладные днем поверхности свидетельствуют о наличии влаги или материалов с аномальной излучательной способностью поверхности. Районы, более теплые по сравнению с обычными, могут быть очень сухими или иметь низкое альbedo или очень хорошую изоляцию. В ночное время относительная прохлада свидетельствует о хорошей изоляции, а относительное тепло говорит об обратном или показывает наличие материала с высокой теплопроводимостью, который отдает накопленное в дневное время тепло, или же аномального источника тепла антропогенного происхождения. ГКЗ и классы шероховатости Дейвенпорта могут оцениваться при помощи таблиц 9.1 или 9.2;

- б) микромасштабная схематическая карта (~1:5 000), составленная на основе метаданных и обновляемая каждый год (рисунок 9.7 а));
- в) картирование горизонта с использованием данных обследования с помощью клинометра и компаса вокруг метеорологической будки (как показано на диаграмме в нижней части модели, рисунок 9.7 а), и фотография аппаратом с линзами типа «рыбий глаз», сделанная вертикально по отношению к зениту, когда задняя часть фотоаппарата находится на поверхности земли поблизости от метеорологической будки, но таким образом, чтобы она не закрывала какую-либо часть неба

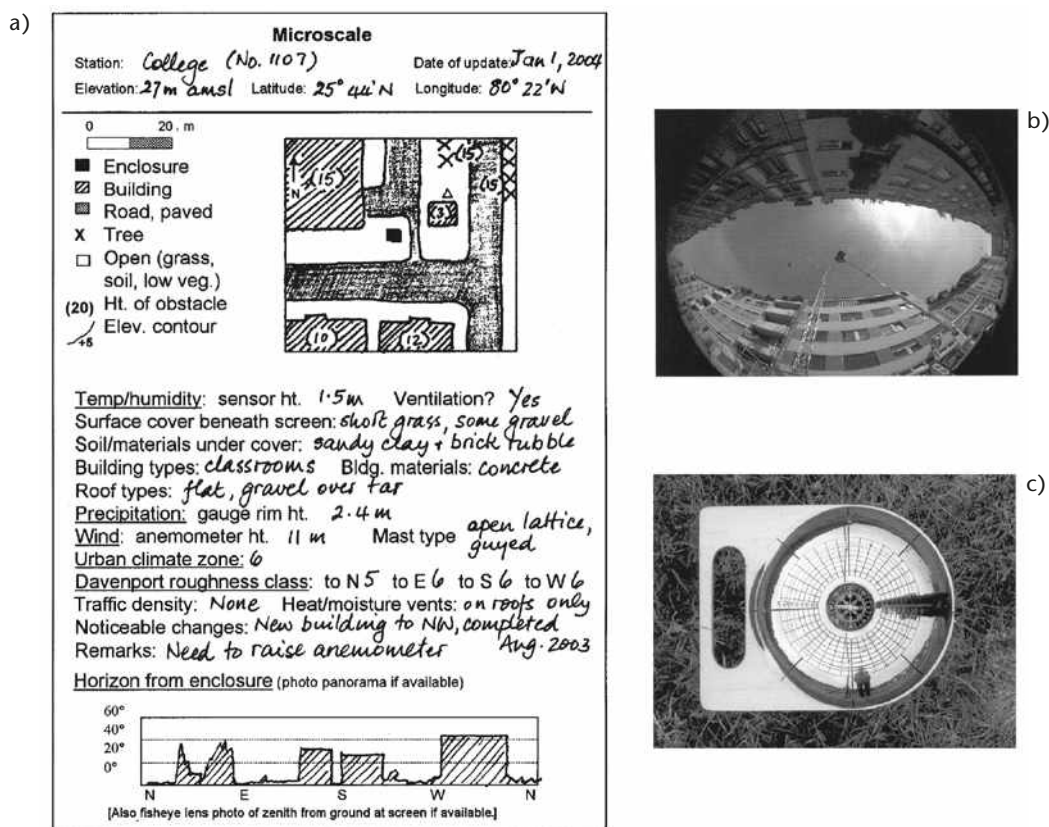


Рисунок 9.7. Информация, требуемая для описания микромасштаба окружения городской климатической станции; а) шаблон для файла метаданных; б) пример фотоснимка объективом типа «рыбий глаз» уличного каньона иллюстрирует закрытость горизонта и с) полусферический рефлектор Метеорологического бюро СК, расположенный на дождемере.

(рисунок 9.7 б)). При отсутствии фотоаппарата с линзами типа «рыбий глаз» более простым подходом является снятие фотографии полусферического рефлектора (рисунок 9.7 с)). Эти материалы следует обновлять ежегодно или еще чаще, если наблюдаются явные изменения в закрытии горизонта, такие как сооружение или снос находящегося поблизости здания или удаление деревьев;

- d) фотографии, сделанные с основных направлений по отношению к приборному укрытию или другим местам нахождения приборов и башен;
- e) микромасштабная зарисовка приборного укрытия, которая обновляется, когда приборы перемещаются или происходят другие серьезные изменения;
- f) если некоторые из проводимых на станции измерений (ветер, радиация) проводятся в стороне от укрытия (на мачтах, крышах, в более открытых местах), повторить пункты (b)–(d) выше для каждой площадки.

9.4.2 Исторические события

Городские районы подвержены воздействию многочисленных факторов перемен, включая новое муниципальное законодательство, которое может изменить виды землепользования, разрешенные в данной местности, или высоту зданий, или допустимые материалы и строительную технологию, а также законы и нормативы, касающиеся окружающей среды, орошения или дорожного движения. Весьма кардинальные изменения в определенном районе могут быть вызваны инициативами в области

центрального планирования, связанными с возобновлением градостроительства. Многие главные изменения в природной среде района могут быть также следствием миграций групп людей в этот район или из него или когда район становится или перестает быть удобным или престижным для проживания или работы. Городская территория может быть центром конфликта и разрушения. Подобные события следует оформлять документально, с тем, чтобы последующие пользователи данных понимали определенный контекст изменений, которые могут, вероятно, проявиться в городском климате.

9.4.3 Соблюдение других рекомендаций ВМО

На городских станциях следует соблюдать все другие рекомендации ВМО, касающиеся документального оформления метаданных, включая идентификаторы станции, географические данные, установку приборов, типы приборов, монтаж и укрытие приборов, регистрацию и передачу данных, практические методы наблюдений, хранение метаданных и доступ к ним, а также обработку данных.

9.5 ОЦЕНКА ОКАЗЫВАЕМЫХ ГОРОДОМ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Исследование городской погоды и климата характеризуется почти уникальной перспективой. Люди интересуются ролью человека в изменении городской атмосферы. Поэтому, в отличие от других представляющих интерес видов окружающей среды, для которых достаточным является изучение атмосферы как таковой, в городских районах существует интерес к изучению оказываемых городом воздействий. Это означает оценку возможных изменений в метеорологических переменных, поскольку городская территория со временем развивается, и сравнение этих переменных с тем, что случилось бы, если бы данный населенный пункт не был построен. Это вопрос, на который по существу невозможно найти ответ, когда населенный пункт уже построен или даже если он не был построен, поскольку ландшафт вполне может перейти в иное состояние по сравнению с тем, которое существовало раньше (например, вследствие других видов деятельности человека, таких как сельское хозяйство или лесоводство). Оценка воздействий города чревата поэтому трудностями методологического характера, и невозможна никакая «истина», а лишь заменяющие истину аппроксимации. Если городская станция создана в качестве самостоятельной или является частью сети для оценки воздействий города на погоду и климат рекомендуется внимательно учитывать анализ, содержащийся в работах Lowry (1977) и Lowry и Lowry (2001).

9.6 РЕЗЮМЕ КЛЮЧЕВЫХ ПУНКТОВ ДЛЯ ГОРОДСКИХ СТАНЦИЙ

9.6.1 Принципы работы

При создании городской станции часто неприемлемыми являются строгие руководящие указания, касающиеся климатических станций. Необходимо применять руководящие принципы, а не правила, и придерживаться гибкого подхода. Часто это означает иные решения для отдельных атмосферных характеристик и может означать, что не все наблюдения на «площадке» проводятся в одном и том же месте.

Поскольку окружающая среда городских станций часто меняется по мере развития города, часто обновляемые метаданные имеют такое же важное значение, как и собранные метеорологические данные. Без четких описаний станций невозможно увязывать результаты измерений с характеристиками окружающей территории.

9.6.2 Выбор места размещения

Первым существенным шагом при выборе мест размещения городских станций является оценка физической природы городской территории, используя для этого классификацию климатических зон. Благодаря этому будут определены однородные территории.

Городская территория состоит из нескольких видов городских территорий. Для того, чтобы создать картину климата населенного пункта, необходимо иметь множество станций. Следует выбирать места их размещения, где можно проводить измерения параметров воздуха, поток которого проходит через относительно однородную городскую территорию, и которые являются, таким образом, репрезентативными для единой климатической зоны. Необходимо позаботиться об обеспечении того, чтобы микроклиматические воздействия не создавали помех для измерений параметров климата в местном масштабе.

9.6.3 Измерения

В отношении измерений следует учитывать следующие ключевые пункты:

- a) измерения температуры и влажности воздуха, произведенные в ГПС, могут быть репрезентативными в местном масштабе при условии тщательного выбора места размещения станций. Если наблюдения за этими переменными проводятся на уровне выше крыши, в том числе выше ПСШ, то нет никакой установленной связи между последними и измерениями в ГПС;
 - b) измерения параметров ветра и потока турбулентности следует проводить над ПСШ, но в пределах внутреннего пограничного слоя выбранной ГКЗ. Подобные измерения должны свидетельствовать о том, что «отпечаток» поверхности, используемый для измерений, является репрезентативным для климатической зоны. Что касается ветра, то можно увязывать данные о потоке на этом уровне с данными потока, зарегистрированными в пределах растительного покрова;
 - c) наблюдения за осадками можно проводить либо вблизи поверхности земли на незакрытой препятствиями площадке, либо над ПСШ, с внесением поправок в соответствии с данными параллельных измерений параметров ветра;
 - d) за исключением измерений приходящей солнечной радиации следует избегать размещения приборов наверху крыш, если только они не устанавливаются на высокой мачте;
 - e) измерения суммарных и восходящих радиационных потоков должны проводиться на высотах, которые обеспечивают возможность адекватных измерений разных типов поверхности и их ориентации, характерной для изучаемой зоны.
-

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Всемирная метеорологическая организация, 2011а: *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100). Женева.
- , 2011b: *Наставление по кодам* (ВМО-№ 306), тома I.1 и I.2. Женева.
- , 2015а (обновлено в 2018 году): *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I. Женева.
- , 2015b (обновлено в 2017 году): *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том I. Женева.
- Arya, P.S., 2001: *Introduction to Micrometeorology*. Academic Press, New York.
- Auer, A.H. Jr., 1978: Correlation of land use and cover with meteorological anomalies. *Journal of Applied Meteorology*, 17(5):636–643.
- Britter, R.E. and S.R. Hanna, 2003: Flow and dispersion in urban areas. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 35:469–496.
- Christen, A., 2003: (personal communication). Institute of Meteorology, Climatology and Remote Sensing, University of Basel.
- Christen, A., R. Vogt, M.W. Rotach and E. Parlow, 2002: *First results from BUBBLE I: Profiles of fluxes in the urban roughness sublayer. Proceedings of the Fourth Symposium on Urban Environment*, (Norfolk, Virginia), American Meteorological Society, Boston, pp. 105–106.
- COST 710, 1998: *Final Report: Harmonisation of the Pre-processing of Meteorological Data for Atmospheric Dispersion Models*. European Commission. EUR 18195 EN.
- COST 715, 2001: *Preparation of Meteorological Input Data for Urban Site Studies*. European Commission, EUR 19446 EN.
- Davenport, A.G., C.S.B. Grimmond, T.R. Oke and J. Wieringa, 2000: *Estimating the roughness of cities and sheltered country. Proceedings of the Twelfth Conference on Applied Climatology* (Asheville, North Carolina), American Meteorological Society, Boston, pp. 96–99.
- DePaul, F.T. and C.M. Shieh, 1986: Measurements of wind velocity in a street canyon. *Atmospheric Environment*, 20:455–459.
- Ellefsen, R., 1991: Mapping and measuring buildings in the canopy boundary layer in ten US cities. *Energy and Buildings*, 16:1025–1049.
- Garratt, J.R., 1992: *The Atmospheric Boundary Layer*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gill, G.C., L.E. Olsson, J. Sela and M. Suda, 1967: Accuracy of wind measurements on towers or stacks. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 48:665–674.
- Grimmond, C.S.B. and T.R. Oke, 1999: Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology*, 38(9):1262–1292.
- , 2002: Turbulent heat fluxes in urban areas: Observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS). *Journal of Applied Meteorology*, 41(7):792–810.
- Halitsky, J., 1963: Gas diffusion near buildings. *Transactions of the American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*, 69:464–485.
- Hanna, S.R. and J. C. Chang, 1992: Boundary-layer parameterizations for applied dispersion modeling over urban areas. *Boundary-Layer Meteorology*, 58:229–259.
- Hunt, J.C.R., C.J. Abell, J.A. Peterka and H.Woo, 1978: Kinematical studies of the flow around free or surface-mounted obstacles: Applying topology to flow visualization. *Journal of Fluid Mechanics*, 86:179–200.
- Kljun, N., P. Calanca, M.W. Rotach, H.P. Schmid, 2004: A simple parameterization for flux footprint predictions. *Boundary-Layer Meteorology*, 112:503–523.
- Kljun, N., M. Rotach and H.P. Schmid, 2002: A three-dimensional backward Lagrangian footprint model for a wide range of boundary-layer stratifications. *Boundary-Layer Meteorology*, 103(2):205–226.
- Landsberg, H.E., 1981: *The Urban Climate*. Academic Press, New York.
- Lowry, W.P., 1977: Empirical estimation of urban effects on climate: A problem analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 16(2):129–135.
- Lowry, W.P. and P.P. Lowry, 2001: *Fundamentals of Biometeorology: Volume 2 – The Biological Environment*. Chapter 17, Peavine Publications, St Louis, Missouri, pp. 496–575.
- Nakamura, Y. and T.R. Oke, 1988: Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*, 22:2691–2700.
- Oke, T.R., 1981: Canyon geometry and the nocturnal heat island: Comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3):237–254.
- , 1982: The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455):1–24.

- , 1984: Methods in urban climatology. In: *Applied Climatology* (W. Kirchofer, A. Ohmura and W. Wanner, eds.). Zürcher Geographische Schriften, 14:19–29.
- , 1987: *Boundary Layer Climates*. Chapter 8, second edition, Routledge, pp. 262–303.
- , 1988a: The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12:471–508.
- , 1988b: Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11:103–113.
- , 1997: Urban environments. In: *The Surface Climates of Canada* (W.G. Bailey, T.R. Oke and W.R. Rouse, eds.). McGill-Queen's University Press, Montreal, pp. 303–327.
- Peterson, T.C., 2003: Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States: No difference found. *Journal of Climate*, 16:2941–2959.
- Rotach, M.W., 1999: On the influence of the urban roughness sublayer on turbulence and dispersion. *Atmospheric Environment*, 33:4001–4008.
- Schmid, H.P., 2002: Footprint modeling for vegetation atmosphere exchange studies: A review and perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*, 113(1):159–183.
- Schmid, H.P., H.A. Cleugh, C.S.B. Grimmond and T.R. Oke, 1991: Spatial variability of energy fluxes in suburban terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, 54(3):249–276.
- Soux, A., J.A. Voogt and T.R. Oke, 2004: A model to calculate what a remote sensor 'sees' of an urban surface. *Boundary-Layer Meteorology*, 111:109–132.
- Stull, R.B., 1988: *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Verkaik, J.W., 2000: Evaluation of two gustiness models for exposure correction calculations. *Journal of Applied Meteorology*, 39(9):1613–1626.
- Voogt, J.A. and T.R. Oke, 2003: Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3):370–384.
- Wieringa, J., 1986: Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 112(473):867–889.
- , 1993: Representative roughness parameters for homogeneous terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, 63(4):323–363.
- , 1996: Does representative wind information exist? *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 65(1):1–12.
- World Meteorological Organization, 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (E. Aguilar, I. Auer, M. Brunet, T.C. Peterson and J. Wieringa). World Climate Data and Monitoring Programme No. 53 (WMO/TD-No. 1186). Geneva.
- , 2006: *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites* (T.R. Oke). Instruments and Observing Methods Report No. 81 (WMO/TD-No. 1250). Geneva.
-