

ГЛАВА 14. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕКУЩЕЙ И ПРОШЕДШЕЙ ПОГОДОЙ; СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

14.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

14.1.1 Определения

В практике наблюдений под термином «погода» подразумевают такие наблюдения за состоянием атмосферы и связанными с ним явлениями, которые первоначально не предназначались для количественных измерений. Эти наблюдения представляют собой качественное описание явлений, наблюдаемых в атмосфере или на поверхности Земли, таких как осадки (гидрометеоры, выпадающие в атмосфере), взвешенные или переносимые ветром частицы (гидрометеоры и литометеоры), другие специально обозначенные оптические явления (фотометеоры) или проявления атмосферного электричества (электрометеоры). Полное описание этих явлений приводится в [Международном атласе облаков](#) (ВМО-№ 407).

Гидрометеоры. Они состоят из жидких или твердых частиц воды и могут быть во взвешенном состоянии в воздухе, выпадать сквозь атмосферу, переноситься ветром с поверхности Земли или оседать на других объектах.

Литометеоры. Они состоят из скопления частиц, большинство из которых твердые и не содержат воды. Эти частицы могут находиться в воздухе во взвешенном состоянии или подниматься ветром с поверхности земли.

Фотометеоры. Оптическое явление, возникающее в результате отражения, преломления, дифракции или интерференции света, исходящего от Солнца или Луны.

Электрометеоры. Видимое или слышимое проявление атмосферного электричества.

Специальный класс явлений погоды представляют собой локализованные метеорологические явления. Определения таких явлений приведены в [Международном метеорологическом словаре](#) (ВМО-№ 182). Описание специфических явлений, таких как пыльные вихри и воронкообразные облака, приведено в [14.2.3](#).

В практике метеорологических наблюдений существуют два вида сообщений о погоде. *Текущая погода* — это описание метеорологических явлений, отмечавшихся во время срока наблюдения. *Прошедшая погода* — это описание значимых явлений погоды, наблюдавшихся в предыдущий час, но не в срок наблюдения.

В настоящей главе описываются также методы наблюдения за непосредственно связанным с погодой состоянием поверхности земли. Под термином «состояние поверхности земли» подразумеваются условия поверхности Земли, сложившиеся в результате недавних климатических или погодных явлений, с точки зрения количества влаги или описания любых слоев твердых частиц, содержащих или не содержащих воду, покрывающих стандартную поверхность.

14.1.2 Единицы измерений и шкалы

На обслуживаемых персоналом станциях результаты наблюдений, определенных как текущая погода, прошедшая погода и состояние поверхности земли, включаются в сводку наряду с количественными данными. Такие наблюдения стандартизованы в специальных таблицах, что позволяет наблюдателю выбирать соответствующий термин из большого количества описаний, составленных в соответствии с восприятием наблюдателя и изложенных в [Наставлении по кодам](#) (ВМО-№ 306), том I.1.

Начиная с 1990 г. внедрение автоматизированных метеорологических станций (АМС) привело к необходимости количественного описания функций, прежде выполнявшихся наблюдателями. Для того чтобы учесть различную степень сложности и эффективности автоматизированных метеорологических станций при наблюдениях за текущей и прошедшей погодой, в [Наставление по кодам](#) (ВМО-№ 306), том I.1, включены специальные инструкции по кодированию. В силу сложности предоставления данных о текущей и прошедшей погоде, связанной со сложностью систем наблюдений за текущей погодой, подобные данные должны представляться в виде значений в формате двоичного кода, поскольку с буквенно-цифровым форматом связано множество ограничений, возникающих в процессе предоставления полных данных¹.

14.1.3 Метеорологические требования

Текущая погода и прошедшая погода, а также состояние поверхности земли — это, прежде всего, качественное описание метеорологических явлений, которое необходимо, главным образом, в связи с воздействием, которое они оказывают на деятельность человека и безопасность работы на транспорте, а также с учетом их значения для понимания и прогнозирования синоптических процессов. Соответствующим вопросам посвящены несколько глав настоящего Руководства. Количественное измерение осадков и наблюдения за облаками описаны в настоящем томе, [глава 6](#) и [глава 15](#) соответственно. [Том III](#) настоящего Руководства содержит описание специфических вопросов, касающихся авиационных и морских наблюдений, автоматизированных систем, радиолокаторов и явлений, связанных с атмосферным электричеством.

В данной главе наблюдения за погодой, представляющие интерес для определения текущей и прошедшей погоды, разделены на три категории, а именно: наблюдения за осадками (выпадающие гидрометеоры), наблюдения за мутностью атмосферы и аэрозолем (литометеоры и взвешенные или переносимые ветром гидрометеоры) и наблюдения за другими погодными явлениями (например, воронкообразные облака, шквалы и молнии). Жидкие осадки или туман, при котором на поверхностях образуется изморозь, включены в соответствующую категорию осадков и взвешенных гидрометеоров.

Другие явления, имеющие оптическую природу (фотометеоры) или электрометеоры, не являющиеся молниями, являются показателями определенного состояния атмосферы и могут включаться в текущие записи о последовательности наблюдаемых метеорологических явлений, которые ведутся на каждой станции. Однако они не имеют большого значения при определении текущей и прошедшей погоды, когда производится кодирование результатов стандартных метеорологических наблюдений, и включены в эту главу лишь для полноты картины.

14.1.4 Методы наблюдений

Единственную возможность получения информации обо всем многообразии характеристик погоды в настоящее время обеспечивают визуальные и слуховые наблюдения квалифицированного наблюдателя. Однако, учитывая высокую стоимость содержания большого штата подготовленных наблюдателей, ряд метеорологических служб расширяют использование автоматизированных наблюдательных систем на первичных сетях наблюдений, а также продолжают их использовать в дополнение к сетям станций, обслуживаемых персоналом для проведения автоматизированных наблюдений в удаленных районах.

Фундаментальные исследования (Беспалов и др., 1983) подтвердили возможность определения погодных явлений посредством логического анализа группы переменных данных. В настоящее время не имеется ни одного датчика, который позволил бы

¹ В соответствии с рекомендацией 3 (КОС-XII) следует «предоставлять значения данных наблюдений, а не качественные параметры в отношении погоды в срок наблюдения в процессе наблюдений на автоматизированных станциях в форматах FM 94 BUFR и FM 95 CREX».

классифицировать всю текущую погоду; для этого используются данные разнообразных датчиков (например, о видимости, температуре, точке росы, скорости ветра, дифференциации дождевых и снеговых осадков). Автоматизированные системы наблюдений позволяют выполнять этот логический анализ, но их способность наблюдать определенное погодное явление различается в зависимости от приборного оснащения системы и степени сложности алгоритмов. Не располагая возможностью наблюдать все типы погодных явлений, автоматизированные системы позволяют производить наблюдения за наиболее значимыми из них, что делает такие системы экономически эффективной альтернативой хорошо подготовленному наблюдателю.

14.2 НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ТЕКУЩЕЙ И ПРОШЕДШЕЙ ПОГОДОЙ

Наблюдения, которые должны регистрироваться под заголовками «текущая погода» и «прошедшая погода», включают следующие явления: осадки (дождь, морось, снег, ледяная крупа, снежные зерна, алмазная пыль и град), мутность атмосферы и аэрозоль (мгла, пыль, дымка, туман, поземок и низовая метель, пыльная и песчаная буря, пыльный вихрь), воронкообразные облака, шквалы и молнии.

При наблюдениях за текущей погодой требуется фиксировать различные явления, наблюдающиеся на станции или в поле зрения станции в срок наблюдения. В синоптических сводках должны сообщаться условия погоды в течение прошедшего часа путем выбора соответствующей кодовой цифры в случае, если в срок наблюдения осадки отсутствуют.

14.2.1 Осадки

14.2.1.1 Объекты наблюдения

По характеру выпадения осадки можно разделить на три вида: ливневые, кратковременные и обложные. Ливневыми являются такие осадки, которые связаны с отдельными конвективными облаками. Наблюдатели (или приборы, заменяющие человека) должны также классифицировать осадки по трем категориям интенсивности — слабые, умеренные и сильные — в соответствии с интенсивностью их выпадения или другими связанными с осадками факторами (например, видимостью).

Тип осадков по форме (дождь, морось, снег, град) является третьей по важности наблюдаемой характеристикой осадков. При наблюдениях за дождем или моросью при низкой температуре следует различать, замерзают осадки или нет. По определению ледяной дождь или морось — это осадки, при контакте которых с твердыми объектами образуется гололед. Твердые осадки могут существовать в форме ледяных игл (тж. алмазная пыль), снежных зерен, отдельных звездообразных снежных кристаллов, ледяной крупы и града. Полное их описание дается в [Международном атласе облаков](#) (ВМО-№ 407).

Применяемая шкала *интенсивности осадков* зависит от характера выпадения (кратковременные, обложные, ливневые) и типа (дождь, морось, снег, град) осадков. На нескольких совместных совещаниях групп экспертов Комиссии по приборам и методам наблюдений и Комиссии по основным системам были разработаны таблицы с целью определения более универсального соотношения между качественной интерпретацией и субъективным толкованием наблюдателя и измеренными значениями, полученными с помощью систем наблюдения за текущей погодой. Примеры подобных таблиц и других соотношений см. в приложении.

14.2.1.2 **Приборы и измерительные устройства: типы осадков**

Одна из основных задач инструментального измерения состоит в определении типа осадков. Системы, которые в настоящее время исследуются и испытываются в целях оперативного использования или уже используются, как правило, предусматривают применение оптических методов либо радиолокатора (Van der Meulen, 2003). Полевые испытания (Leroy et al., 1998) показали, что все эти системы позволяют обнаружить основные типы осадков (за исключением очень слабого снега или мороси) более чем в 90 % случаев в сравнении с квалифицированным наблюдателем. Процент обнаружения очень слабых осадков обычно гораздо ниже². Для определения различия между несколькими типами осадков необходимы сложные алгоритмы. Например, мокрый или тающий снег трудно отличить от дождя. Информация с датчика, сообщающего о типе осадков, часто подвергается последующей обработке для оптимизации результатов (см., например, McRobbie et al., 2002; de Haij and Wauben, 2010; Bloemink, 2004). В настоящее время датчики, сообщающие о типе осадков, не предоставляют информацию о качестве или неопределенности отсчета. Там, где имеется несколько возможных выходных данных, все они должны быть представлены в виде распределения вероятностей, поскольку эта информация будет очень ценной, особенно во время последующей обработки. Принципы измерений, обычно применяемые в датчиках, определяющих тип осадков, перечислены ниже. Результаты полевых оценок нескольких из этих датчиков представлены, например, в публикациях de Haij (2007), Lyth (2008), de Haij and Wauben (2010) и Wauben et al., (2016, 2018). Отметим, что, хотя датчики и автоматизированные системы часто способны сообщать о большом количестве разных типов осадков, особенно важно корректно сообщать о различных классах (жидкие, переохлажденные, смешанные, твердые). Обычный способ анализа эффективности автоматизированных наблюдений заключается в том, чтобы сравнить распределение известных типов локальных осадков и распределение типов, по которым были произведены замеры.

Датчик прямого/обратного рассеяния для наблюдения за текущей погодой

Для предоставления информации о текущей погоде, в частности о типе осадков, используются разнообразные датчики рассеяния. Как правило, рассеяние светового потока от источника света частицами осадков наблюдается под фиксированным углом, что дает информацию о размере частиц. Дополнительные измерения (например, соотношение прямого/обратного рассеяния, содержание влаги в частицах, скорость падения, температура) помогают определить природу частиц. Например, крупные частицы с малым содержанием влаги будут классифицироваться как снег. Некоторые датчики сообщают о неидентифицированных осадках в том случае, когда система не может достоверно определить тип осадков. Это происходит, главным образом, при осадках низкой интенсивности и во время начала и прекращения выпадения осадков. Кроме определения типа осадков с помощью этих датчиков можно (в зависимости от типа датчика) также получать данные об интенсивности и продолжительности осадков (выявляя таким образом кратковременные осадки), а также о видимости. Общие источники неопределенности, связанные с датчиками прямого/обратного рассеяния, и их влияние на определение типа осадков описаны в Heun et al., (2018).

Такие датчики широко используются и, как правило, дают приемлемые результаты в отношении обычных типов осадков (дождь, снег) с показателем обнаружения 70–90 % (van der Meulen, 1994; Leroy et al., 1998, Wauben, 2002), в зависимости от точной настройки теста и конкретного прибора. Другие типы осадков не так хорошо поддаются наблюдениям, особенно смешанные осадки (дождь и снег) и град. Пороговые значения для незначительных осадков могут варьироваться.

² Порог для определения интенсивности дождя составляет $0,02 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ (см. настоящий том, глава 1, приложение 1.А).

Оптический дисдрометр

Оптические дисдрометры также используются для определения типа осадков. В этих приборах используется ослабление горизонтальной инфракрасной (ИК)/видимой развертки светового пучка для обнаружения гидрометеоров. При прохождении частиц через световой пучок интенсивность получаемого приемником излучения уменьшается. Степень этого уменьшения коррелирует с размером частиц, а продолжительность коррелирует со скоростью выпадения частиц. Тип осадков определяется путем сравнения распределения скорости падения частиц в серии обнаруженных частиц с известными соотношениями для различных видов жидких, смешанных и твердых осадков (см., например, Gunn and Kinzer, 1949). Чтобы вывести тип и интенсивность осадков из необработанных данных о частицах, необходимо сделать несколько допущений, которые также касаются формы и плотности частиц.

Эти датчики, как правило, дают приемлемые результаты для обычных типов осадков. Показатели обнаружения по сравнению с наблюдателем аналогичны показателям, полученным для датчиков рассеяния (Bloemink and Lanzinger, 2005; *de Haij and Wauben, 2010*). Смешанные осадки и град также трудно поддаются определению. Проблемы с определением типа осадков в основном возникают в результате разбрызгивания, выпадения «маргинальных частиц» и занижения показаний из-за маскировки в условиях сильного ветра, но также могут быть вызваны пауками, препятствующими точности измерений (Upton and Brawn, 2008; Fehlmann et al., 2020).

Новым методом измерения, связанным с дисдрометрами, являются так называемые 2D- и 3D-видеодисдрометры, которые также захватывают проецируемые изображения гидрометеоров. Эти приборы в настоящее время разрабатываются или используются в исследовательских целях. Примерами являются 2D-видеодисдрометр (Schönhuber et al., 2007), видеодатчик осадков (Liu et al., 2014) и многоугольная камера снежинок (Praz et al., 2017).

Доплеровский радиолокатор

Специальные доплеровские радиолокаторы также могут использоваться для определения типов осадков. Излучаемый (в вертикальном направлении) радиолокатором луч рассеивается падающими гидрометеорами. Скорость падения частиц может быть определена на основе доплеровского смещения сигнала обратного рассеяния. Около поверхности Земли эти конечные скорости падения частиц коррелируют с размером частиц. Некоторые приборы определения видов осадков измеряют значения непосредственно над датчиком, другие определяют скорости падения на различных высотах над датчиком. Также используются дополнительные измерения (например, приземной температуры).

Имеются различные типы доплеровских радиолокаторов для определения типов осадков. Они часто нечувствительны к частицам малых размеров, как и все технологии определения, основанные на использовании радиолокаторов. Некоторые типы радиолокаторов показывают результаты, сравнимые с результатами, полученными при использовании датчиков прямого/обратного рассеяния и дисдрометров, т. е. хорошие результаты для дождя и для снега, но не для смешанных осадков. Град и снег с дождем не наблюдаются.

Детектор динамического воздействия

Этот тип датчика основан на использовании пьезоэлектрического материала, который способен реагировать на механическое воздействие отдельных гидрометеоров. По характеру воздействия град и дождь достаточно различаются, что позволяет определить эти два вида осадков. О других видах осадков информация не предоставляется (Salmi and Ikonen, 2005).

В связи с тем, что информация может предоставляться только о дожде и граде, этот датчик не находит широкого применения для определения текущей погоды. Однако функция обнаружения града может быть полезна некоторым пользователям, поскольку, как правило, это слабое место других существующих датчиков текущей погоды. В настоящее время разрабатываются новые датчики, в которых вместо закрытой поверхности используется поверхность обнаружения, состоящая из параллельных металлических струн. Только относительно крупные градины обладают достаточным количеством движения, чтобы сдвинуть струны. Эти движения улавливаются бесконтактным преобразователем, а выходной сигнал позволяет различать крупные градины и небольшой град. Первый прототип был разработан примерно в 2010 году в Deutscher Wetterdienst (DWD, Метеорологическая служба Германии). Дальнейшая разработка велась в партнерстве с немецкой компанией в 2017 году. Эксплуатация в полевых условиях началась в аэропорту Гамбурга в марте 2022 года. Принцип измерения был запатентован DWD. Однако из-за ограниченности времени DWD пока не делала никаких публикаций о работе датчика и принципе измерения.

Акустический детектор

Акустический детектор реагирует на звуковые колебания, возникающие в результате падения гидрометеоров на какую-либо поверхность. Это связано с типом осадков. Датчик был разработан в качестве дополнения к датчикам текущей погоды прямого/обратного рассеяния, в частности для улучшения определения града и ледяной крупы.

Другие методы

Для мониторинга типа осадков могут также использоваться видеокамеры. Наблюдатель/оператор может осуществлять мониторинг данных с нескольких видеокамер на центральном пульте. Для того чтобы осуществлять наблюдения за осадками следует выбрать сотрудника с соответствующими базовыми знаниями. Поскольку данный тип измерений требует присутствия наблюдателя/оператора, он не является полностью автоматическим средством определения текущей/прошедшей погоды.

В настоящее время находит применение датчик, специально разработанный для распознавания переохлажденного дождя или гололеда (Starr and van Cauwenberghe, 1991). Он позволяет измерить количество льда, накопившегося на чувствительном элементе. Чувствительный элемент колеблется с частотой, пропорциональной его массе. Когда лед намерзает на этом элементе, масса последнего изменяется, и частота колебаний уменьшается. В датчик встроен обогреватель для очистки элемента ото льда, когда это необходимо. Этот датчик также оказался эффективным для определения мокрого снега.

Датчик, который использует различия в картинах сцинтилляции, когда частицы проходят через когерентный световой луч, способен различать дождь и снег (United States National Oceanic and Atmospheric Administration (US NOAA), 1998). Детекторы льда могут использоваться для определения переохлажденных осадков. Существуют различные методы. Например, может быть измерена масса льда на рейке. При другом методе используется зонд, который подвергается вибрации на ультразвуковой частоте, которая изменяется с образованием льда на нем. Недавно был проведен широкий ряд тестовых измерений (Fikke et al., 2007). Данные, поступающие с датчиков текущей погоды, корректируются с помощью данных, полученных от детекторов льда, особенно о переохлажденном дожде (Sheppard and Joe, 2000). Данная технология используется в автоматизированных системах метеорологических наблюдений (АСМН).

Информация о граде и других типах осадков также может быть получена с помощью метеорологических радиолокационных измерений (см. [том III](#), глава 7 настоящего Руководства).

14.2.1.3 **Приборы и измерительные устройства: интенсивность и характер осадков**

Предоставление информации о текущей погоде включает данные об интенсивности осадков и, соответственно, о характере выпадения осадков (ливневые, кратковременные или обложные осадки). Во многих случаях эти параметры измеряются при помощи датчика, который определяет тип осадков. Но с этой целью также можно использовать и другой датчик. Измерение интенсивности также позволяет определить кратковременные осадки (например, ливневый снег). Недавно было завершено лабораторное и полевое взаимное сравнение приборов для определения интенсивности осадков (Lanza et al., 2006; Vuerich et al., 2009). Это взаимное сравнение включало в себя большое количество различных приборов с использованием целого ряда методов определения собранных осадков. Методы автоматического измерения для предоставления информации об интенсивности осадков перечислены ниже.

Датчик прямого/обратного рассеяния для наблюдения за текущей погодой

Данный датчик описан в 14.2.1.2. Интенсивность осадков рассчитывается при помощи комбинирования данных о распределении размеров частиц, количестве частиц и типе осадков. Интенсивность осадков, определенная таким образом, обычно является менее точной, чем интенсивность, определенная с использованием традиционных методов (например, весовых дождемеры, дождемеров с опрокидывающимся сосудом). Калибровка интенсивности осадков также является проблемой. Для предоставления приближенных данных об интенсивности осадков (слабые, сильные и тому подобное) этот метод пригоден. Производители работают над улучшением результатов в отношении интенсивности осадков.

Оптический дисдрометр

Данный датчик также описан в 14.2.1.2. Интенсивность осадков рассчитывается при помощи комбинирования данных о распределении размеров частиц, количестве частиц и виде осадков. Для улучшения результатов определения интенсивности осадков также проводится работа (см., например, Lanzinger et al., 2006).

Доплеровский радиолокатор

Данный датчик описан в 14.2.1.2. Интенсивность осадков рассчитывается при помощи комбинирования сведений о распределении размеров частиц, количестве частиц и типе осадков. Полученные в результате данные об интенсивности осадков хорошо коррелируют ($\rho = 0,9$) с традиционными дождемерами, если рассматривать 30-минутные интервалы (см. Peters et al., 2002).

Дождемеры

Существует множество различных типов «традиционных» дождемеров. Они основаны на нескольких различных методах измерений, которые изложены в настоящем томе, глава 6. Они, как правило, разработаны для того, чтобы измерять количество осадков, хотя некоторые (меньшие по размеру) приборы разработаны специально для того, чтобы давать также и данные (информацию) об интенсивности осадков. Данные, полученные с помощью дождемеров, разработанных для измерения количества осадков, как правило, менее точны в определении интенсивности осадков. Однако информация об интенсивности осадков, которая требуется для предоставления данных о текущей погоде, как правило, является удовлетворительной. Многие производители совершенствуют эти приборы также в отношении определения интенсивности осадков (Lanza et al., 2006; Vuerich et al., 2009).

14.2.1.4 **Приборы и измерительные устройства: подход, предполагающий использование многих датчиков**

Для определения характеристик текущей погоды и количества осадков в системах наблюдений используются различные датчики в сочетании с алгоритмами. Подход, предполагающий использование нескольких датчиков, создает ограничение на используемые методы. Стандартные наблюдения также используются для измерения осадков, видимости, температуры воздуха, точки росы и нижней границы облаков. Алгоритмы характеризуются фильтрацией (например, в случае, если температура воздуха выше 6 °C, то только жидкие осадки). Сочетание нескольких датчиков для определения текущей погоды также используется в информационных системах о погоде на дорогах (см. также 14.3).

14.2.2 **Мутность атмосферы и взвеси**

14.2.2.1 **Объекты наблюдения**

В сводках, сообщающих об атмосферных условиях в течение прошедшего часа, должно приводиться различие между мглой, дымкой или капельно-жидким туманом. При мгле воздух является относительно сухим, тогда как при дымке или капельно-жидком тумане влажность обычно велика, что проявляется в выпадении, например, капелек воды или изморози на траве и листьях. Если станция оборудована измерительными приборами, то с достаточной надежностью можно предположить, что причиной мутности атмосферы является мгла при относительной влажности не более определенного значения (например, 80 %), а видимость находится в определенных пределах (например, горизонтальная — меньше 1 км и вертикальная — меньше 2 км). О дымке сообщается при высоких значениях влажности и при видимости 1 км и более. В синоптических сводках сообщается о тумане, под которым может подразумеваться капельно-жидкий или ледяной туман, когда горизонтальная видимость у поверхности Земли уменьшается до значений менее 1 км. Всякий раз, когда в закодированных сводках текущей погоды и прошедшей погоды фигурирует термин «туман», его следует понимать именно в этом смысле. Однако в климатологических сборниках все случаи снижения видимости до значений менее 1 км рассматриваются как туман.

Отложение изморози происходит в результате превращения в лед водяных капелек, присутствующих в тумане, при контакте с твердыми предметами при температуре ниже точки замерзания. Различие между типами изморози при кодировании текущей погоды и прошедшей погоды не приводится.

Поземок или низовая метель — это снег, поднятый ветром в воздух после того, как он уже выпал на землю. В кодах для текущей погоды приводится различие между поземкой и низовой метелью, причем первый относится к снегу, поднятому ветром до уровня, не превышающего уровень глаз наблюдателя.

К другим метеорологическим явлениям, которые следует определять, относятся простирающаяся над обширным районом взвесь пыли в воздухе; поднимаемые ветром пыль или песок; пыльная или песчаная буря, вызванная турбулентными вихрями, поднимающими большое количество пыли или песка в воздух, которые значительно ухудшают видимость; пыльные или песчаные вихри и иногда воронкообразные облака.

Всем наблюдателям в качестве дополнительного средства следует использовать *Международный атлас облаков* (ВМО-№ 407).

14.2.2.2 **Приборы и измерительные устройства для определения характеристик мутности атмосферы и взвеси**

Возможным подходом к определению характеристик мутности атмосферы и взвеси является комплексная обработка значений измеренных величин, которые могут

использоваться в качестве предикторов. Такой подход требует исследований значений метеорологических величин при формировании, развитии и окончании данного явления, а также определения граничных условий. Проблема идентификации тумана, дымки, мглы, метели и пыльной бури рассматривалась в публикациях Госкомгидромета (1984) и Mezösi et al. (1985). Метеорологическая дальность видимости представляет собой наиболее важный элемент индикации. Из остальных параметров важными критериями идентификации являются скорость ветра, влажность воздуха, температура и точка росы.

Приборы для измерения видимости могут быть использованы для определения метеорологической дальности видимости, как это изложено в настоящем томе, глава 9, в частности в 9.3. Однако следует отметить, что для определения тумана, дымки и мглы предел измерения этих приборов может быть ограничен до нескольких километров. Три типа приборов измерения видимости, используемых для определения тумана, дымки и мглы, описаны ниже. Существуют специальные автоматизированные системы для обнаружения низовой метели и поземки, основанные как на прямом измерении (воздействие частиц на трубку), так и на комбинации таких метеорологических приборов, как счетчики частиц снега, датчики осадков и датчики ветра в сочетании с алгоритмом. Примеры можно найти в Parry et al. (1999), Bellot et al. (2011) и Trouvilliez et al. (2015).

Трансмиссометр

Трансмиссометры измеряют ослабление луча света из источника на известном расстоянии. Обычно свет импульсной лампы определяется на расстоянии от 10 до 200 м. Видимость рассчитывается по ослаблению света. Для того чтобы увеличить дальность действия, можно использовать два детектора на разных расстояниях (так называемый трансмиссометр с двойной базовой линией). Трансмиссометры хорошо подходят для измерения видимости и широко используются, в частности, в аэропортах. При большей видимости неопределенность измерения возрастает с увеличением видимости (более детально изложено в настоящем томе, глава 9, 9.3). Их установка, а также эксплуатация являются относительно дорогими, поскольку они требуют регулярного обслуживания. Некоторые трансмиссометры способны сохранять свою эксплуатационную точность гораздо дольше благодаря автоматической калибровке и автоматической компенсации эффектов загрязнения.

Датчик прямого рассеяния

Датчик описан в 14.2.1.2. Помимо типа осадков, с помощью этого прибора также можно измерить видимость (см. настоящий том, глава 9, 9.3). Степень рассеяния зависит от оптического поглощения. Это определяется эмпирически в процессе калибровки путем сравнения результатов с показаниями трансмиссометра. Датчики прямого рассеяния также хорошо подходят для измерения видимости и используются все шире. По сравнению с трансмиссометром датчик прямого рассеяния может в общем использоваться для большего диапазона видимости. Их недостатком является то, что их калибровка не является тривиальной и требует внимания. Установка, а также эксплуатация прибора являются относительно недорогими, поскольку он не требует такой частой очистки, как трансмиссометр. Для некоторых датчиков периодичность обслуживания может быть еще реже благодаря автоматической компенсации оптического воздействия загрязнения.

Лидар

Относительно небольшие системы лидаров могут также использоваться для определения видимости, используемой для идентификации тумана. Диодный лазер испускает пульсирующие пучки света, при этом измеряется свет, отраженный обратно частицами тумана/мглы (если они присутствуют). Видимость определяется исходя из интенсивности отраженного света и времени его отражения. Дальность видимости, которую можно измерить при помощи лидара, ограничена, но при определении тумана, мглы и подобных явлений большая дальность видимости не требуется.

14.2.3 Другие погодные явления

14.2.3.1 Объекты наблюдения

Распознавание смерчей (наземные смерчи, воронки холодного воздуха, торнадо или водяные смерчи) и наблюдение за ними является чрезвычайно важным для защиты жизни и имущества; см. [Международный атлас облаков](#) (ВМО-№ 407).

Смерч. Природное явление, обычно представляющее собой очень сильные вихри, проявляющиеся в виде облачного столба или перевернутого облачного конуса (воронкообразное облако), выступающего из нижней части кучево-дождевого облака или кучевого облака, и «бороды», состоящей из капель воды, поднятых с поверхности моря, или пыли, песка или мусора, поднятого с поверхности земли. Диаметр может варьироваться от нескольких метров до нескольких сотен метров. Воронкообразное облако считается сформировавшимся, если очень сильно вращающийся столб воздуха касается поверхности суши или воды. Полностью сформировавшимся воронкообразным облаком считается торнадо над поверхностью суши и водяной смерч над поверхностью воды. Наиболее сильные торнадо могут иметь соответствующую скорость ветра до 150 м с^{-1} .

Пыльный/песчаный вихрь (пыльная буря (англ. *dust devil*)). Скопление частиц пыли или песка, иногда сопровождаемое мелким мусором, поднимающееся с земли в виде вращающегося столба различной высоты с небольшим диаметром и приблизительно вертикальной осью. Диаметр пыльных или песчаных вихрей составляет всего несколько метров. Обычно по высоте они не достигают более 60—90 м (*dust devils*). Полностью сформировавшиеся пыльные/песчаные вихри в очень жарких пустынных регионах могут достигать 600 м.

Шквал. Неожиданное резкое усиление ветра, продолжающееся в течение нескольких минут, а затем его затухание. Шквалы часто связаны с прохождением холодных фронтов. В таких случаях они возникают один за другим и обычно сопровождаются резким понижением температуры, вращением ветра по часовой стрелке (в Северном полушарии) или левым вращением ветра (в Южном полушарии), повышением относительной влажности и образованием шквального ворота с горизонтальной осью (фронтальный шквал).

Определение грозы (см. [Международный метеорологический словарь](#) (ВМО-№ 182)) является примером отхода от описания исключительно на основе восприятия человека-наблюдателя. Явление следует считать грозой, когда слышен гром (даже если не наблюдается молния).

14.2.3.2 Приборы и измерительные устройства

Воронкообразные облака, или торнадо, можно часто обнаружить с помощью метеорологического радиолокатора (см. [том III](#), глава 7 настоящего Руководства). Современные доплеровские метеорологические радиолокаторы являются весьма эффективным средством обнаружения мезомасштабных циклонов, предоставляя более детальную информацию об этом опасном метеорологическом явлении с большей заблаговременностью, чем позволяют визуальные наблюдения.

Шквалы могут быть обнаружены на основе последовательных дискретных измерений скорости ветра. Если сигналы устройства, измеряющего скорость ветра, рассматривать совместно с сигналами датчиков направления ветра, температуры и влажности, то представляется возможным определить фронтальный шквал.

Грозы обнаруживаются, главным образом, с помощью использования грозоотметчика. Инструкции для наблюдателей, выпускаемые различными службами, предписывают

подсчитывать число вспышек молнии за определенный интервал времени, что в сочетании с данными о количестве осадков или скорости ветра позволяет определить слабые, умеренные или сильные грозы (см. [том III](#), глава 6 настоящего Руководства).

14.2.4 **Состояние неба**

14.2.4.1 **Объекты наблюдения**

Основные данные о состоянии неба используются для описания изменения состояния неба за определенный период времени. При этом должны учитываться изменения общего количества облаков, высоты нижней границы облаков и типа облачности.

14.2.4.2 **Приборы и измерительные устройства**

Характеристики количества облаков (общий облачный покров в октантах (баллах), высота нижней границы облаков и общий облачный покров на разных ярусах) могут быть определены на основе колебания высоты нижней границы облаков, измеренной с помощью оптической измерительной системы с применением статистических методов (см. также настоящий том, [глава 15](#)). Очевидно, что этот метод ограничен облачными слоями, находящимися в пределах вертикального диапазона системы измерения высоты нижней границы облаков (Персин, 1987; US NOAA, 1988; ZAMG, 1999).

14.3 **НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

14.3.1 **Объекты наблюдения**

Состояние поверхности земли относится к условиям, в которых находилась поверхность после недавних метеорологических явлений, с точки зрения количества влаги или твердых, содержащих или не содержащих воду частиц, покрывающих естественную поверхность. Наблюдения за состоянием поверхности земли (буквенные обозначения E и E') должны проводиться в соответствии с требованиями, содержащимися в [Наставлении по кодам](#) (ВМО-№ 306).

Предоставление информации о состоянии поверхности земли также является частью сводок о текущей погоде, и до недавнего времени обеспечивалось только наблюдателями. Автоматические измерения состояния поверхности земли все еще являются относительно новыми (см., например, Stacheder et al., 2008) и используются не очень широко.

14.3.2 **Приборы и измерительные устройства**

Исследования показали, что имеется возможность различать основные состояния почвы (сухая, влажная, увлажненная, покрытая снегом, изморозью или льдом), используя явления отражения и рассеяния (Gaumet et al., 1991). Используемые методы кратко описаны ниже.

Датчик рассеяния. Эти датчики имеют оптическую конструкцию, при которой используются отражательные и рассеивающие свойства поверхности. Могут использоваться различные источники света. Например, поток белого света, отраженный от соответствующей керамической поверхности, будет зависеть от состояния этой поверхности. Другие (дорожные) датчики анализируют отражение ИК-излучения от поверхности дороги. В данном случае длина волны отраженного света зависит от состояния поверхности. Не все эти датчики подходят для метеорологических целей, поскольку они могут быть разработаны для поверхностей, отличающихся от естественных. Датчики в настоящее время совершенствуются.

Емкостной датчик. В настоящее время разрабатывается и тестируется новый емкостной датчик. Опорная плита с соединительными печатными проводниками располагается на (естественной) поверхности. По существу, это конденсатор с использованием поверхности земли в качестве диэлектрика. Диэлектрическая постоянная для сухой и влажной почвы отличаются значительно. Емкость, таким образом, зависит от влажности поверхности, а состояние поверхности земли может быть определено при помощи измерения абсолютных величин и фазы испускаемых сигналов на двух частотах.

Комбинация датчиков. Комбинация датчиков может использоваться для определения состояния поверхности, особенно для дорожного покрытия. Например, с помощью оптического обнаружения можно определять вид покрытия поверхности; с помощью изменения электропроводности можно определять наличие химических веществ, температуру поверхности и температуру грунта и т. д. Все эти измерения в комбинации с атмосферными данными могут использоваться для определения дорожных условий. Однако состояние поверхности земли определяется как состояние естественной поверхности, и, таким образом, данный метод определяет не точное состояние поверхности земли, а определенные свойства.

Видеокамеры (и наблюдатель). Видеокамеры также используются для определения состояния поверхности земли. Они могут быть установлены на различных поверхностях, и наблюдатель/оператор определяет состояние поверхности земли. Поскольку данный метод, по сути, не является автоматическим, он в данном Руководстве не анализируется.

14.4 НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ОСОБЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ

14.4.1 Электрические явления

Электрометеоры либо соответствуют прерывистым электрическим разрядам (молния, гром), либо представляют собой более или менее непрерывные явления (коронный разряд, полярное сияние). Полное описание электрометеоров содержится в [Международном атласе облаков](#) (ВМО-№ 407).

Специальные сводки о молниях должны включать информацию относительно типа, интенсивности, частоты вспышек, диапазона по азимуту, в котором наблюдаются разряды; следует отмечать промежутки времени между молнией и соответствующим ей громом. Необходимо быть внимательным, чтобы не принять отражение вспышки молнии облаками и дымкой за настоящую вспышку молнии. Во многих странах в оперативной работе используются автоматические системы обнаружения и определения координат молнии. Более подробная информация по этой теме содержится в главе 6 [тома III](#), настоящего Руководства.

Необычное полярное сияние следует описывать подробно. По возможности следует применять светофильтры как средство увеличения чувствительности приборов при наблюдениях, а для повышения точности угловых измерений можно использовать теодолиты и клинометры (алидады).

14.4.2 Оптические явления

Фотометеор — это световое явление, возникающее в результате отражения, рефракции, дифракции или интерференции света, исходящего от Солнца или Луны. Фотометеоры можно наблюдать в условиях более или менее прозрачной атмосферы (мираж, мерцание, сцинтилляция, зеленый луч, оттенки сумерек) на облаках или внутри облаков (гало, солнечная корона, иризация, глория) и на определенных гидрометеорах или литометеорах, а также внутри них (глория, радуга, белая радуга, кольца Бишопы, сумеречные лучи).

Наблюдатели должны внимательно фиксировать любые оптические явления. По возможности письменное описание следует сопровождать рисунками и фотографиями. Полное описание этих явлений приводится в [Международном атласе облаков](#) (ВМО-№ 407). В ряде руководств для наблюдателей дается краткая инструкция по наблюдениям за наиболее часто встречающимися явлениями, например в публикации *United Kingdom Meteorological Office* (1982).

Для точных измерений наиболее подходящим прибором является теодолит. Однако, когда нет нужного прибора, можно использовать градуированный стержень, который следует держать на расстоянии вытянутой руки. Положение такого явления, как паргелий (ложное Солнце), можно установить по отношению к неподвижно закрепленным вехам. Диаметр короны определяют, принимая угловой диаметр Солнца или Луны приблизительно за полградуса.

ПРИЛОЖЕНИЕ. КРИТЕРИИ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СЛАБЫХ, УМЕРЕННЫХ И СИЛЬНЫХ ОСАДКОВ

Примечание: Рекомендовано совещанием Группы экспертов ВМО по автоматизации визуальных и субъективных наблюдений (Траппе/Париж, Франция, 14—16 мая 1997 г.) и Рабочей группы по приземным измерениям (Женева, Швейцария, 27—31 августа 2001 г.).

(Слабые, умеренные и сильные осадки определяются с учетом типа и интенсивности осадков, i)^a

Переменная	Диапазон	Интенсивность
Морось	$i \geq 0,1 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ $0,1 \leq i \leq 0,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ $i \geq 0,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$	слабая умеренная сильная
Дождь (включая ливни)	$i \geq 2,5 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ $2,5 \leq i \leq 10,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ $10,0 \leq i \leq 50,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ $i \geq 50,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$	слабая умеренная сильная очень сильная ^b
Снег (включая ливневый)	$i \geq 1,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ (водный эквивалент) $1,0 \leq i \leq 5,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ (водный эквивалент) $i \geq 5,0 \text{ мм} \cdot \text{ч}^{-1}$ (водный эквивалент)	слабая умеренная сильная

Примечания:

^a Значение интенсивности основаны на измерениях с интервалом 3 мин.

^b Термин «очень сильная» не соответствует другим категориям и вносит путаницу, поскольку он относится к скорости выпадения осадков. Возможно, лучше подойдет термин «интенсивные осадки» или «экстремальные осадки».

Критерии для определения других типов осадков

Смешанные осадки в виде дождя со снегом

То же, что и для снега (поскольку отношение дождь/снег не поддается никакому измерению, следует просто сделать выбор).

Град: то же, что и для дождя.

Ледяная крупа и снежная крупа: то же, что и для снега.

Переохлажденные явления: то же, что и для переохлажденных явлений.

Руководство для определения интенсивности снега

Слабая: снежные хлопья небольшого размера и разреженные; видимость, при отсутствии других ухудшающих ее явлений, обычно уменьшается, но составляет не менее 1000 м.

Умеренная: большее количество более крупных хлопьев, обычно видимость ухудшается до значений 400—1000 м.

Сильная: многочисленные хлопья всех размеров, при которых значения видимости, как правило, не превышают 400 м.

Ливни или кратковременные осадки

Автоматизированные системы должны предоставлять информацию о ливнях или кратковременных осадках. Кратковременные осадки могут быть определены в том случае, если осадки отсутствуют в течение 10 минут между двумя последовательными явлениями с осадками, т. е. если имеет место 10-минутный период отсутствия осадков при расчете 10-минутного скользящего среднего за последний час, следует сообщать о кратковременных осадках.

Репрезентативность явлений текущей погоды

Явление текущей погоды хорошо определяется за 3-минутный период наблюдений. В текущей погоде следует сообщать наибольшее значение скользящего 3-минутного среднего за 10-минутный период.

СПРАВОЧНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Bellot, H.; Trouvilliez, A.; Naaïm-Bouvet, F.; et al. Present Weather-Sensor Tests for Measuring Drifting Snow. *Annals of Glaciology* **2011**, 52 (58), 176–184. <https://doi.org/10.3189/172756411797252356>.
- Bespalov, S. M. et al. Osnovnyye voprosy razrabotki setevoy avtomaticheskoy gidrometeorologicheskoy stancii [Main Aspects of Designing a Network of Automatic Hydrometeorological Stations]. *Trudy GGO* **1983**, 473, 3–12.
- Bloemink, H. I. *Precipitation Type Detection – Present Weather Sensor: Final Report*; KNMI TR-259; De Bilt, 2004. <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR259.pdf>.
- Bloemink, H. I.; Lanzinger, E. Precipitation Type from the Thies Disdrometer. Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2005), Bucharest, 4–7 May 2005. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation* (WMO/TD-No. 1265). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 82; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2005.
- de Haij, M. J. *Automated Discrimination of Precipitation Type Using the FD12P Present Weather Sensor: Evaluation and Opportunities*; KNMI TR-297; De Bilt, 2007. <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/publicatie/automated-discrimination-of-precipitation-type-using-the-fd12p-present-weather-sensor-evaluation-and-opportunities>.
- de Haij M.; Wauben, W. Investigations into the Improvement of Automated Precipitation Type Observations at KNMI. Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2010), Helsinki, 30 August–1 September 2010. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2010)* (WMO/TD-No. 1546). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 104; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2010.
- Fehlmann, M.; Rohrer, M.; von Lerber, A.; et al. Automated Precipitation Monitoring with the Thies Disdrometer: Biases and Ways for Improvement. *Atmospheric Measurement Techniques* **2020**, 13 (9), 4683–4698. <https://doi.org/10.5194/amt-13-4683-2020>.
- Fikke, S.; Ronsten, G.; Heimo, A. et al. COST-727: Atmospheric Icing on Structures – Measurements and Data Collection on Icing: State of the Art; MeteoSwiss No. 752007; MeteoSwiss, 2007.
- Gaumet, J. L.; Salomon P.; Paillisse, R. Automatic Observations of the State of the Soil for Meteorological Applications. In *Preprints of the Seventh Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation: Special Sessions on Laser Atmospheric Studies*, New Orleans, 13–18 January 1991, American Meteorological Society: 1991; J191–J193.
- Goskomgidromet. Opređelenije atmosferych javlenij po dannym avtomaticheskich stancij, soveqanije gruppy ekspertov GMS/MS socialisticheskich stran po teme 9.1. KR GMS/MS [Identification of Atmospheric Phenomena from the Data from Automatic Weather Stations: Meeting of the Panel of Socialist Countries HMS/MS on Theme 9.1.], Obninsk, 24–28 August 1984; Moscow, 1984.
- Gunn, R.; Kinzer, G. D. The Terminal Velocity of Fall for Water Droplets in Stagnant Air, *J Meteorol* **1949**, 6, 243–248.
- Heyn, K.; Lönnqvist, J.; Linna, T. Uncertainty Sources that Limit the Precipitation Identification / Quantification and Extinction Coefficient Determination Capabilities of Optical Present Weather and Visibility Sensors. Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2018), Amsterdam, 8–11 October 2018. In *The 2018 WMO/CIMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (CIMO TECO-2018)*. Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 132; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2018.
- Lanza, L. G.; Leroy, M.; Alexandropoulos, C. et al. *WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges: Trappes (France) – Genoa (Italy) – De Bilt (Netherlands) September 2004–September 2005* (WMO/TD-No. 1304). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 84; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2006.

- Lanzinger, E.; Theel, M.; Windolph, H. Rainfall Amount and Intensity Measured by the Thies Laser Precipitation Monitor. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)*, Geneva, 4–6 December 2006. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2006)* (WMO/TD-No. 1354). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 94; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2006.
- Leroy, M.; Bellevaux, C.; Jacob, J. P. *WMO Intercomparison of Present Weather Sensors/Systems – Canada and France, 1993–1995: Final Report* (WMO/TD-No. 887). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 73; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1998.
- Liu, X. C.; Gao, T. C.; Liu, L. A Video Precipitation Sensor for Imaging and Velocimetry of Hydrometeors. *Atmospheric Measurement Techniques* **2014**, 7, 2037–2046. <https://doi.org/10.5194/amt-7-2037-2014>.
- Loeffler-Mang, M. HARE – A New Intelligent Hail Recorder for Networks and Field Campaigns. In *Proceedings of the Fifth European Conference on Severe Storms*, Landshut, Germany, 12–16 October 2009. <http://www.essl.org/ECSS/2009/preprints/P09-06-loefflermang.pdf>.
- Lyth, D. Results from UK Met Office Investigations into New Technology Present Weather Sensors. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2008)*, St. Petersburg, 27–29 November 2008. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2008)* (WMO/TD-No. 1462). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 96; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2008.
- McRobbie, S. G.; Molyneux, M. J.; Shearn, P. D. Improvements to Automated Present Weather Reporting in the Met Office. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002)*, Bratislava, 23–25 September 2002. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2002)* (WMO/TD-No. 1123). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 75; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2002.
- Mezősi, M.; Simon, A.; Hanák, P. et al. Algorithms for Automatic Coding of the Present and Past Weather by Unmanned Meteorological Stations. Presented at the *Third WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-III)*, Ottawa, 8–12 July 1985. In *Papers Presented at the Third WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECIMO-III)* (WMO/TD-No. 50). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 22; World Meteorological Organization: Geneva, 1985.
- Parry, R. N.; Gifford, M. D. ASOS Blowing Snow Algorithm. In *Proceedings of the Second International Conference on Experiences with Automatic Weather Stations – ICEAWS-1999*, Vienna, 27–29 September 1999.
- Persin, S. M. Izmerrenije vysoty niznej granicy oblakov i charakteristika oblacnosti kak zadaca paspoznavanija obrazov [Measuring Cloud Ceiling and Characterizing Cloudiness as a Task of Image Identification]. *Trudy GGO* **1987**, 512, 49–91.
- Peters, G.; Fischer, B.; Andersson, T. Rain Observations with a Vertically Looking Micro Rain Radar (MRR). *Boreal Environment Research* **2002**, 7, 353–362.
- Praz, C.; Roulet, Y.-A.; Berne, A. Solid Hydrometeor Classification and Riming Degree Estimation from Pictures Collected with a Multi-angle Snowflake Camera. *Atmospheric Measurement Techniques* **2017**, 10, 1335–1357. <http://doi.org/10.5194/amt-10-1335-2017>.
- Salmi, A.; Ikonen, J. Piezoelectric Precipitation Sensor from Vaisala. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2005)*, Bucharest, 4–7 May 2005. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation* (WMO/TD-No. 1265). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 82; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2005.
- Schönhuber, M.; Lammer, G.; Randeu, W. L. One Decade of Imaging Precipitation Measurement by 2D-Video-distrometer. *Advances in Geosciences* **2007**, 10, 85–90. <https://doi.org/10.5194/adgeo-10-85-2007>.
- Sheppard, B. E.; Joe, P. I. Automated Precipitation Detection and Typing in Winter: A Two-year Study. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **2000**, 17(11), 1493–1507. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<1493:APDATI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<1493:APDATI>2.0.CO;2).

- Stacheder, M.; Koeniger, F.; Schuhmann, R. et al. New Sensor for the Automatic Detection of the State of Ground. *Near Surface Geophysics* **2008**, 6 (1), 61–70. <https://doi.org/10.3997/1873-0604.2007032>.
- Starr, K. M.; van Cauwenberghe R. The Development of a Freezing Rain Sensor for Automated Surface Observing Systems. In *Preprints of the Seventh Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation: Special Sessions on Laser Atmospheric Studies*, New Orleans, 13–18 January 1991, American Meteorological Society: 1991; 338–343.
- Trouvilliez, A.; Naaïm-Bouvet, F.; Bellot, H. et al. Evaluation of the FlowCapt Acoustic Sensor for the Aeolian Transport of Snow. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* **2015**, 32 (9), 1630–1641. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00104.1>.
- United Kingdom Meteorological Office. *Observer's Handbook*. Her Majesty's Stationery Office: London, 1982.
- United States National Oceanic and Atmospheric Administration (US NOAA). *Federal Standard Algorithms for Automated Weather Observing Systems Used for Aviation Purposes*; FCM-S5-1988; Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, United States Department of Commerce: Washington, DC, 1988.
- United States National Oceanic and Atmospheric Administration (US NOAA). *Automated Surface Observing System (ASOS) User's Guide*. Department of Defense, Federal Aviation Administration, United States Navy: 1998. <https://www.weather.gov/media/asos/aum-toc.pdf>.
- Upton, G.; Brawn, D. An Investigation of Factors Affecting the Accuracy of Thies Disdrometers. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2008)*, St. Petersburg, 27–29 November 2008. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2008)* (WMO/TD-No. 1462). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 96; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2008.
- van der Meulen, J. P. A Comparison of Two Present Weather Systems with Human Observations. Presented at the *WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)*, Geneva, 28 February–2 March 1994. In *Papers Presented at the WMO Technical Conference on Instruments and Methods of Observation (TECO-94)* (WMO/TD-No. 588). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 57; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 1994.
- van der Meulen, J. P., Present Weather – Science: Exploratory Actions on Automatic Present Weather Observations. Final Report; E-PWS-SCI; Royal Netherlands Meteorological Institute: de Bilt, 2003.
- Vuerich, E.; Monesi, C.; Lanza, L. G. et al. *WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges (Vigna di Valle, Italy), October 2007–April 2009* (WMO/TD-No. 1504). Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 99. World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2009.
- Wade, C. G. Detecting Ice Pellets, Snow Pellets and Hail on ASOS Using an Acoustic Sensor. In the *Proceedings of the Twelfth AMS Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, Long Beach, CA, 8–13 February 2003.
- Wauben, W. Automation of Visual Observations at KNMI; (I) Comparison of Present Weather. In *Proceedings of the Symposium on Observations, Data Assimilation, and Probabilistic Prediction*, Orlando, FL, 13–17 January 2002; American Meteorological Society, 2002.
- Wauben, W.; Mathijssen, T.; Oudshoorn, C. Field Evaluation of Sensors for Precipitation Type Discrimination. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2016)*, Madrid, 27–30 September 2016. In *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (CIMO TECO-2016)*. Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 125; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2016.
- Wauben, W.; Tukker, K.; Knoop, S. et al. Specification and Evaluation of Present Weather Sensors. Presented at the *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2018)*, Amsterdam, 8–11 October 2018. In *The 2018 WMO/CIMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (CIMO TECO-2018)*. Instruments and Observing Methods (IOM) Report No. 132; World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2018.
- World Meteorological Organization (WMO). *International Meteorological Vocabulary* (WMO-No. 182). Geneva, 1992.

- World Meteorological Organization (WMO). *International Cloud Atlas* (WMO-No. 407). Geneva, 2017.
- World Meteorological Organization (WMO). *Manual on Codes* (WMO-No. 306), Volume I.1. Geneva, 2019.
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). Present Weather Sensors and Manual Observations. In *Proceedings of the Second International Conference on Experiences with Automatic Weather Stations – ICEAWS-1999*, Vienna, 27–29 September 1999; *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik* **1999**, 20.
-