

Сложности при переходе с традиционных метеорологических наблюдательных сетей на автоматические для длительных климатических наблюдений

Издание 2017 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1202

Сложности при переходе с традиционных метеорологических наблюдательных сетей на автоматические для длительных климатических наблюдений

Издание 2017 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1202

РЕДАКТОРСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: <https://public.wmo.int/ru/meteoterm>.

Читателям, копирующим гиперссылки, выделяя их в тексте, следует учесть, что могут появиться дополнительные пробелы, непосредственно следующие за <http://>, <https://>, <ftp://>, <mailto:>, а также за наклонными чертами (/), дефисами (-), точками (.) и неразрывными последовательностями символов (букв и цифр). Эти пробелы должны быть удалены из вставленного URL. Правильный URL отображается на экране, если навести курсор на ссылку или нажать на нее, а затем скопировать ее из браузера.

ВМО-№ 1202

© Всемирная метеорологическая организация, 2017

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания источника в полном объеме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации следует направлять по адресу:

Chair, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix
P.O. Box 2300
CH-1211 Geneva 2, Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 84 03
Факс: +41 (0) 22 730 81 17
Э-почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-41202-7

ПРИМЕЧАНИЕ

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

ТАБЛИЦА РЕГИСТРАЦИИ ВНЕСЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

[illegible]

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ	vii
1. ВВЕДЕНИЕ.....	1
2. ОБЩИЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ДЛЯ КАЖДОГО ЭЛЕМЕНТА АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ.....	2
2.1 Общие аспекты	2
2.1.1 Полнота данных	2
2.1.2 Различия в видах ошибок между традиционными и автоматическими измерениями	3
2.1.3 Согласованность практик, применяемых в традиционных и автоматических системах	4
2.1.4 Техническое обслуживание, калибровка и проверка допусков ..	5
2.1.5 Фильтрация выбросов, временная выборка и прочие алгоритмы	6
2.2 Отдельные метеорологические элементы	6
2.2.1 Температура	6
2.2.2 Осадки	10
2.2.3 Атмосферная влажность (влажность воздуха, температура точки росы и упругость водяного пара)	13
2.2.4 Прочие элементы	14
3. ПРИМЕРЫ ДОКУМЕНТАЛЬНО ПОДТВЕРЖДЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В СВЯЗИ С ПЕРЕХОДОМ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ	15
3.1 Введение.....	15
3.2 Температура	16
3.3 Осадки	17
3.4 Прочие элементы	18
4. РУКОВОДСТВО ПО УПРАВЛЕНИЮ ПЕРЕХОДОМ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ	18
4.1 Параллельные измерения в традиционных и автоматических системах ..	18
4.2 Тестирование перед развертыванием оперативных автоматических метеорологических станций	19
4.3 Репрезентативность периода параллельных наблюдений.	19
4.4 Что произойдет в случае отсутствия практически применимого периода параллельных наблюдений?	21
4.5 Управление данными при переходе от традиционных наблюдений к автоматическим	23
5. ССЫЛКИ.....	23

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Мы благодарим г-на Блэра Тревина, Бюро метеорологии, Австралия за его выдающийся вклад в подготовку этой публикации.

1. ВВЕДЕНИЕ

Примечание: в данной директивной записке обсуждается однородность длительных климатических наблюдений на этапе перехода от традиционных метеорологических наблюдательных сетей к автоматическим, а также приводятся примеры и рекомендации в этой связи.

Автоматические метеорологические станции (АМС) играют все возрастающую роль в функционировании метеорологических наблюдательных сетей как в развитых, так и в развивающихся странах. Они обладают многочисленными преимуществами в метеорологических применениях, позволяя получать данные наблюдений с высоким временным разрешением в реальном масштабе времени и при относительно низких текущих затратах после первоначальных капитальных затрат на установку. Во многих местах, где раньше наблюдения производились всего лишь несколько раз в сутки, теперь имеется непрерывный поток данных в ежеминутном режиме. Эти АМС также позволяют производить наблюдения в районах, где нет постоянно проживающего населения, и в местах труднодоступных для наблюдателей (например, в центральных зонах аэропортов). С другой стороны, они, как правило, требуют более частого и более специализированного обслуживания по сравнению с неавтоматическими системами, что в некоторых местах, особенно в странах с ограниченными ресурсами, может создавать значительную нагрузку на систему управления сетью. Они также создают сложности в отношении программ наблюдений за климатом из-за проблем, связанных с переходом от традиционных измерений к автоматическим, а также из-за некоторых особенностей автоматических измерений, таких как различная частота нарушений нормальной работы приборов.

Некоторые страны либо полностью перевели свои синоптические сети на АМС, либо заявили о своем намерении сделать это (например, Германия планирует перейти на полностью автоматизированную сеть к 2020 году; Claussnitzer et al., 2015), в то время как в некоторых развивающихся странах внедрение АМС было использовано для содействия масштабному расширению до того редких сетей.

Термин «автоматическая метеорологическая станция» может охватывать широкий спектр типов станций. На элементарном конце спектра станции, измеряющие относительно узкий диапазон переменных с ограниченной, но приемлемой степенью точности, могут быть приобретены за несколько сотен долларов по обычным коммерческим каналам и широко используются частными лицами и небольшими организациями во многих странах. На высокотехнологическом конце спектра профессиональные станции, соответствующие эксплуатационным стандартам ВМО, могут стоить десятки тысяч долларов; помимо основных переменных, таких как температура, влажность воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление и осадки, они могут включать в себя датчики для таких параметров, как метеорологическая видимость, количество и тип облаков, погода в настоящее время. В некоторых странах национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) используют только данные с АМС, принадлежащих НМГС, в то время как в других странах НМГС включают в свою продукцию и аналитические выкладки также данные с АМС, принадлежащих другим организациям или частным лицам. Для целей настоящей директивной записки будет считаться, что АМС не включают в себя самопишущие приборы, такие как барографы или анемографы, которые ведут непрерывную запись, но требуют ручного вмешательства для считывания информации с диаграммы или аналогичного документа; однако они включают в себя устройства, производящие выходную продукцию в цифровом виде, которая требует ручного вмешательства для ее передачи в более широкую сеть передачи данных.

Руководящие принципы по организационным изменениям в программах наблюдений с набором рекомендуемых практик, с помощью которых такими изменениями можно управлять (WMO, 2007), уже были опубликованы. В данной директивной записке внимание будет заострено на тех АМС, которые, скорее всего, станут частью длительных климатических наблюдений. Обычно такие станции будут принадлежать НМГС или ассоциированным агентствам, а иногда третьим сторонам (таким как, учреждения в областях авиации, сельского хозяйства или автомобильного транспорта) в соответствии со стандартами, одобренными НМГС. Опыт показывает, что частные АМС могут быть полезны для некоторых климатических целей (таких как предоставление информации

об отдельных экстремальных явлениях местного масштаба), но редко характеризуются длительностью наблюдений, точностью или стандартами размещения приборов, или долгосрочной стабильностью пункта наблюдений и контрольно-измерительных приборов, чтобы иметь большую ценность для мониторинга во временных масштабах десятилетия или более длительных сроков.

Автоматизация наблюдательной сети несет в себе много преимуществ, однако она также создает сложности в отношении долгосрочного мониторинга климата. Любое изменение в системе наблюдений вносит потенциальную неоднородность в климатические наблюдения, которую необходимо оценить, и на которую, если потребуется, необходимо сделать поправку. Оценка неоднородности в пункте наблюдений особенно затруднительна в том случае, когда аналогичные изменения происходят в большом количестве пунктов (которые при иных обстоятельствах могли бы стать опорными климатологическими станциями) в течение короткого промежутка времени, как обсуждается в главе 4. Во многих случаях внедрение АМС также будет сопровождаться передислокацией пунктов наблюдений. Кроме того, в результате внедрения может произойти потеря данных наблюдений за переменными, которые с трудом поддаются измерению в автоматическом режиме (или в тех случаях, когда автоматические измерения не могут быть напрямую сопоставимы с наблюдениями в ручном режиме), такими как облачность, высота снежного покрова или эвапориметрический показатель. После того как АМС получают широкое распространение в сети, также могут возникать сложности с обеспечением единообразия типов контрольно-измерительных приборов из-за политики в области конкурсных торгов или закупок в некоторых странах.

Данная директивная записка подлежит прочтению вместе с другими публикациями ВМО, включая *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО, 2014 г.; далее «Руководство КПМН от 2014 г.») Комиссии по приборам и методам наблюдений (КПМН). В частности, в Руководстве КПМН от 2014 года содержится подробное руководство (часть II, глава 1) в отношении использования АМС. В данной записке акцент будет сделан на те аспекты АМС, которые имеют отношение к долгосрочным климатическим измерениям; читателям рекомендуется обращаться к Руководству КПМН от 2014 года за подробной информацией общего характера об АМС. В *Руководстве по климатологическим практикам* (ВМО, 2011 г.) аспекты АМС обсуждаются в главе 2 (Климатические наблюдения, станции и сети), и в нем дается ссылка на общие принципы мониторинга климата, установленные в рамках Глобальной системы наблюдений за климатом ВМО. В публикации «*Guidelines on Climate Metadata and Homogenization*» (Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечению однородности данных) (ВМО, 2003) обсуждаются методы проведения теста на однородность и обеспечение однородности и содержится соответствующее руководство (на момент написания данной записки ожидается появление документа в обновленной редакции).

2. ОБЩИЕ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ДЛЯ КАЖДОГО ЭЛЕМЕНТА АСПЕКТЫ ПЕРЕХОДА ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ

2.1 Общие аспекты

2.1.1 Полнота данных

При оптимальном режиме работы АМС способны обеспечить потоки данных с непрерывностью и временным разрешением, намного превосходящими возможности даже самых прилежных наблюдателей. Они могут предоставлять данные с разрешением в 1 мин или менее, и функционировать ночью и в выходные дни так же эффективно, как и в течение обычной рабочей недели.

Как традиционные, так и автоматические наблюдения могут страдать от разрывов в данных, однако то, каким образом эти разрывы происходят, может принимать различные формы. В случае традиционных наблюдений наиболее распространенной причиной

отсутствия данных наблюдений является отсутствие наблюдателя, как запланированное (например, отсутствие наблюдений в выходные дни), так и незапланированное (например, по причине болезни). Также возможны длительные периоды отсутствия данных или даже полное прекращение производства наблюдений в том случае, если наблюдатель покидает свой пост (например, по причине увольнения, болезни или смерти), а замена ему не может быть быстро найдена — это представляет особый риск в отдаленных районах с небольшим местным населением. Неисправности или сбои в работе контрольно-измерительных приборов иногда приводят к отсутствию данных в случае традиционных наблюдений, однако сбои в работе системы связи редко имеют такие последствия, поскольку данные обычно могут быть сохранены для последующей передачи.

Автоматические системы не нуждаются в присутствии наблюдателя. Тем не менее, электронные системы, как правило, в большей степени подвержены сбоям, чем традиционные (особенно те компоненты традиционных систем, в которых отсутствуют движущиеся части, например, термометры и дождемеры), и могут быть уязвимыми для таких проблем, как удары молнии (которым особенно подвержены анемометры, поскольку они расположены на высоких мачтах) или перебои в электроснабжении (будь то электрическая сеть, аккумулятор или солнечная энергия). На автоматические наблюдения также могут влиять сбои в работе системы связи. Они могут происходить на станции, в точке ввода данных в базу данных или в системе телесвязи между ними. Степень восстанавливаемости пострадавших данных зависит от таких факторов, как методы, используемые для передачи данных, а также от того, осуществлялся ли ввод данных в месте производства наблюдений (и если да, то в течение какого времени). Для устранения неисправностей в работе контрольно-измерительных приборов или систем связи часто требуются специальные технические знания, тогда как, например, разбитый термометр можно заменить запасным, хранящимся в пункте наблюдений или отправленным на станцию в течение нескольких дней. Это может приводить к длительным остановкам в работе в случае отсутствия таких экспертных знаний на месте, особенно в отдаленных районах. Опыт работы с австралийскими данными после внедрения АМС показывает, что общий процент отсутствующих данных одинаков на традиционных и автоматических станциях, однако средняя продолжительность остановок в работе на автоматических станциях более длительная. Данные из Австралии и Испании свидетельствуют о том, что периодические кратковременные остановки в работе, повторяющиеся в течение длительного промежутка времени, являются еще одним режимом отказов, который может происходить на АМС. Эти остановки могут оказывать влияние на данные суточных наблюдений и, следовательно, на итоговые и средние показатели за более длительные периоды времени.

2.1.2 ***Различия в видах ошибок между традиционными и автоматическими измерениями***

Традиционные наблюдения подвержены широкому спектру ошибок со стороны человека, которые устраняются в автоматических системах. Примеры таких ошибок включают:

- a) ошибки при считывании показаний приборов (например, считывание показаний не с того конца шкалы термометра или считывание значения с ошибкой на 5 ° или 10 °);
- b) ошибки в транскрипции и при вводе данных (например, неправильный ввод данных при переносе информации с бумажного носителя в базу данных);
- c) ошибки при расчете (например, преобразование значения давления на уровне станции в среднее значение давления на уровне моря, когда это производится вручную или с помощью таблиц преобразования, что характерно для исторических данных).

В случае некоторых метеорологических элементов традиционные наблюдения также будут неизбежно зависеть от суждений наблюдателя, которые могут варьироваться в зависимости от квалификации, опыта и усердия наблюдателя. Очевидным примером является определение количества, типа и высоты облаков, что требует от наблюдателя

проявления значительной степени суждения, и смена наблюдателя является распространенной причиной возникновения неоднородности данных (Jovanovic et al., 2010). Другие примеры включают оценки метеорологической видимости и данные наблюдений за ветром, выводимые из оценок по шкале Бофорта.

Хотя источники вышеупомянутых ошибок в значительной или полной мере устраняются в случае АМС, АМС могут производить ошибочные данные по другим причинам, включая неисправности в работе электронного или механического оборудования. Особенно часто встречающийся вид ошибок в случае АМС связан с очень быстрыми изменениями значений наблюдаемой переменной («выбросы»), часто достигающими совершенно нереалистичных уровней (рис. 1). Они часто возникают по причине скачков напряжения или электрических помех, возникающих на каком-либо участке системы. В сетях высокотехнологических АМС эта проблема становится менее актуальной, поскольку для отсеивания сомнительных данных применяются алгоритмы (см. ниже), однако это остается большой проблемой для АМС более ранних поколений или более низкого уровня технической сложности, которые иногда встречаются в развивающихся странах или на ранних этапах использования АМС в более развитых странах. Ошибки могут также возникать во внутренних системах АМС, таких как алгоритмы, используемые для преобразования сигналов приборов в значения метеорологических переменных. Их выявление и исправление может быть особо проблематичным в том случае, если программное обеспечение АМС представляет собой «черный ящик», который был предоставлен производителем и не является непосредственно доступным для НМГС.

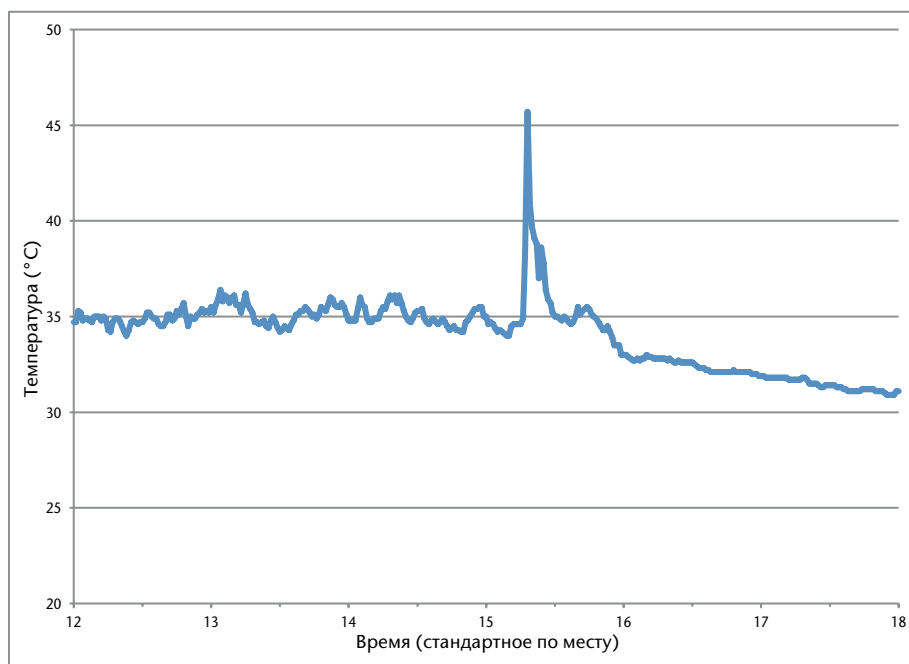


Рисунок 1. Пример выброса данных: температура по сухому ртутному термометру в Булмане, Австралия 5 мая 2016 г.

2.1.3 **Согласованность практик, применяемых в традиционных и автоматических системах**

В целом, желательно определять климатологические переменные, измеряемые автоматическими станциями, таким образом, чтобы они как можно в большей степени соответствовали эквивалентным переменным, измеряемым традиционными станциями.

Это особенно необходимо в отношении переменных, определяемых в течение суток. Поэтому важную роль играет способ расчета суточных переменных из потоков данных АМС (которые часто имеют разрешение 1 мин или менее).

Более высокое временное разрешение автоматических станций и их функционирование в любое время суток могут открывать возможности для производства измерений, которых не существует в случае традиционных станций. Ниже приводится два примера:

- a) автоматическая станция может с легкостью определять климатологический день как заканчивающийся в полночь, тогда как в случае традиционной станции часто трудно найти наблюдателей, которые бы смогли работать в полночь, и поэтому часто выбираются другие сроки наблюдений (например, 09:00);
- b) среднесуточное значение на автоматической станции (например, среднее давление на уровне моря) может рассчитываться непрерывно на основе данных всех наблюдений, тогда как на традиционных станциях можно использовать только данные небольшого количества наблюдений (например, данные четырех 6-часовых наблюдений).

В этих случаях, хотя использование дополнительных возможностей АМС может показаться «усовершенствованием», это может вносить потенциальные неоднородности в климатические записи. Несоответствия в рамках сети наблюдений также могут возникать в том случае, если, например, разные станции передают данные в разные периоды времени. Желательно, чтобы определения, используемые для переменных на АМС, насколько это возможно, совпадали с определениями, используемыми в случае традиционных станций.

2.1.4 **Техническое обслуживание, калибровка и проверка допусков**

ВМО рекомендует проводить инспекции всех синоптических наземных станций и основных климатологических станций не реже одного раза в два года (Руководство КПМН от 2014 г., часть I, раздел 1.3.5). Кроме того, в руководящих принципах ВМО говорится о необходимости проведения рекомендованных производителем проверок работы автоматических приборов (которые будут зависеть от конкретного прибора). Показания автоматических датчиков, в частности, тех, которые работают от электричества, могут дрейфовать в полевых условиях, и регулярные проверки допусков¹ являются важной частью обеспечения долгосрочной стабильности и однородности данных наблюдений. Проведение более тщательных калибровок датчиков с определённой периодичностью также имеет свои преимущества. В случае отсутствия таковых, возникает риск того, что дрейф показаний измерительных приборов может привести к возникновению ошибочных трендов в данных, которые будет трудно обнаружить, если они будут формироваться постепенно на протяжении длительного промежутка времени. Отсутствие проверок допусков или калибровок также снижает уровень прослеживаемости данных.

Помимо регулярных инспекций и технического обслуживания в полевых условиях, на АМС будут неизбежно происходить определенные неожиданные остановки в работе. Этот риск можно уменьшить за счет таких мер, как наличие нескольких резервных датчиков (на случай выхода из строя одного датчика), или наличие значительной мощности по вводу данных на станции, что позволяет восстановить данные в случае сбоя в работе системы связи (для этого требуется достаточное снабжение электроэнергией). Многие перебои в работе устраняются без необходимости прямого вмешательства со стороны оператора сети наблюдений, а некоторые могут быть устранены местным персоналом; однако некоторые из них потребуют вмешательства технического персонала.

Распространенной ситуацией является установка сети АМС в условиях, когда источник финансирования установки предоставляет ограниченное финансирование или не предоставляет никакого финансирования на цели текущего технического

¹ Проверку допусков в полевых условиях часто называют «калибровкой», но, строго говоря, термин «калибровка» ограничивается сравнением с контрольным эталоном.

обслуживания (планового или внепланового). К другим проблемам может относиться нехватка квалифицированного технического персонала, а также расположение пунктов наблюдений в таких местах, до которых техническому персоналу трудно быстро добраться (например, они находятся на большом расстоянии от штаб-квартиры НМГС или в труднодоступных местах, таких как высокие горы или на прибрежных островах).

Поэтому в странах, где техническая поддержка ограничена или отсутствует, некоторые АМС подвержены длительным остановкам в работе или иным проблемам, связанным с техническим обслуживанием (Page et al., 2004). Эта проблема стоит особенно остро в некоторых развивающихся странах, где размер финансирования (иногда предоставляемого донорами помощи или подобными организациями) ограничен, а также имеются ограниченные технические экспертные знания. В наихудших случаях сети АМС становились практически бездействующими в течение нескольких лет после их установки.

2.1.5 **Фильтрация выбросов, временная выборка и прочие алгоритмы**

Как отмечалось выше, распространенной проблемой качества данных в случае АМС является возникновение выбросов. При обработке данных для фильтрации таких выбросов в потоках данных все чаще применяются алгоритмы. Тем не менее, в климатическом анализе по-прежнему необходимо применять методы контроля качества данных для того, чтобы выявлять сомнительные значения и сигнализировать о них, особенно в отношении исторических данных. Это связано с тем, что нельзя исходить из того, что стандарты качества, применяемые в отношении текущих данных, также обязательно применяются и в отношении данных ранних лет использования АМС. Выбросы данных представляют собой особую проблему при анализе экстремальных климатических явлений, поскольку по своей природе они часто выходят за пределы стандартного диапазона наблюдений и, соответственно, если их не фильтровать, будут проявляться как ложные экстремальные значения.

На АМС используется широкий спектр программного и аппаратного обеспечения для преобразования сигналов контрольно-измерительных приборов (например, электрического сопротивления устройства измерения температуры или электрических сигналов, производимых при каждом обороте анемометра) в значения метеорологических переменных. Это процесс, который также будет включать в себя выбор временных интервалов для производства выборки переменных. В некоторых случаях изменения в программном обеспечении могут приводить к возникновению неоднородности значений одной или более климатических переменных. Поэтому важно, чтобы изменения в версиях программного обеспечения, а также изменения в любых компонентах внутреннего аппаратного комплекса (включая электронные модули интерфейса) включались в метаданные станции. Дополнительную проблему создает тот факт, что программное обеспечение АМС часто является коммерческим, и последствия изменений в версиях, вносимых производителями, могут быть скрыты от оператора сети или пользователей данных.

2.2 **Отдельные метеорологические элементы**

2.2.1 **Температура**

Температура — это переменная величина, которая подверглась наиболее тщательному анализу на предмет однородности. Исторически сложилось так, что существенные изменения в технологии производства наблюдений, в частности, изменения в защитных устройствах или метеорологических будках, используемых для защиты приборов от прямой или не прямой солнечной радиации, иногда приводили к возникновению значительных неоднородностей в данных измерения температуры. Например, внедрение стандартных метеорологических будок (метеорологических будок Стивенсона или подобных им приспособлений) во многих странах в конце XIX — начале XX века привело к

повсеместным сдвигам в значениях среднегодовой температуры на порядка 0,2 °C (Parker, 1994) и гораздо большим изменениям на некоторых отдельных станциях (например, Brunet et al., 2011; Ashcroft et al., 2012).

Отдельные проблемы, связанные с автоматическими измерениями температуры, включают в себя:

- a) изменения в контрольно-измерительных приборах (от жидкостных стеклянных термометров к электронным измерителям);
- b) изменения в метеорологических будках;
- c) изменения в алгоритмах обработки данных (например, частота наблюдений и определение среднесуточного значения);
- d) изменения в сроках наблюдений или иных практиках наблюдений;
- e) изменения местоположения пунктов наблюдений, связанные с внедрением АМС.

Фактическое изменение в контрольно-измерительных приборах иногда считается основным изменением, обусловленным внедрением АМС. Однако в хорошо отлаженных сетях наблюдений сама система измерений является хорошо откалиброванной (в смысле соответствия отдельных показаний лабораторному стандарту) в соответствии со стандартными метеорологическими процедурами (Bertiglia et al., 2015), и неоднородности в значениях температуры, относимые на счет внедрения АМС, возникают в основном по другим причинам, как это обсуждается ниже.

- a) изменения в контрольно-измерительных приборах

Внедрение АМС почти всегда связано с заменой контрольно-измерительных приборов, как правило, ручного жидкостного стеклянного термометра (ртутного или спиртового) на платиновый термометр сопротивления или аналогичный ему.

Наилучшей практикой является калибровка и тестирование приборов (ВМО, 2014 г.). В странах, где это происходит, появление какой-либо существенной разницы между мгновенными данными наблюдений, производимых с помощью ручных и автоматических приборов в контролируемых и стабильных лабораторных условиях, является необычным. Тем не менее даже если приборы выдают одинаковые мгновенные показания, они могут иметь разное время реагирования (время, необходимое для реакции на мгновенное изменение температуры воздуха). Как правило, нефильтрованные данные наблюдений, получаемые с помощью автоматического измерителя, имеют более быстрое время реагирования, чем жидкостный стеклянный термометр.

В некоторых случаях во время работы в полевых условиях автоматические измерители могут дрейфовать от эталонных значений, или это может происходить во время транспортировки. Такие дрейфы показаний будут вносить неоднородности в климатические записи. Для их предотвращения необходимо проведение регулярных инспекций пунктов наблюдений (по крайней мере, каждые 6 месяцев в случае АМС; ВМО, 2011 г.), а также проверок допусков и калибровок приборов по эталону. В некоторых странах имеется нехватка ресурсов для проведения частых инспекций, что повышает риск дрейфа показаний приборов.

- b) Изменения в метеорологических будках

Некоторые страны (например, Австралия и Канада) при появлении АМС оставили прежнюю конструкцию метеорологических будок, тогда как в других странах (например, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии) была сохранена прежняя форма и габариты будок, но вместо древесных материалов были использованы пластиковые. В британском примере Perry et al. (2007) было установлено, что разница в температурах между метеорологическими будками из пластмассы и дерева в среднем

составляет менее $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (и что разница между пластмассовыми и деревянными будками часто была меньше, чем между деревянными будками, расположенными на одном пункте наблюдений). Сохранение прежней конструкции метеорологической будки, если это возможно, является предпочтительным альтернативным вариантом, поскольку это устраняет потенциальный источник неоднородностей.

Однако во многих странах появились новые конструкции метеорологических будок, часто представляющие собой небольшие пластмассовые будки, которые дешевле и проще в обслуживании. Некоторые из этих новых конструкций метеорологических будок производят результаты, схожие (обычно в пределах $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) с результатами, получаемыми при использовании традиционных деревянных метеорологических будок Стивенсона (Brandsma and van der Meulen, 2008). Но в других случаях, таких как переход от метеорологических будок хлопководческого региона (МБХР) к различным другим моделям метеорологических будок в Соединенных Штатах Америки, воздействие на определенные температурные переменные составляет порядка нескольких десятых градуса. В отдельных случаях было установлено, что качество некоторых новых конструкций метеорологических будок может значительно ухудшаться со временем, оказывая влияние на показатели средней максимальной температуры до $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение пятилетнего периода (Lopardo et al., 2014). Такое ухудшение, если оно имеет место, с трудом поддается выявлению статистическими методами или путем осмотра на месте.

В некоторых случаях (например, опорная климатическая сеть в Соединенных Штатах Америки; Diamond et al., 2013) также были внедрены вентилируемые метеорологические будки, но в большинстве операционных сетей по-прежнему используются датчики с естественной вентиляцией.

Более подробная информация о соответствующих сравнениях приводится в разделе 3.2.

с) Изменения в алгоритмах обработки данных

Как отмечено в пункте (а) выше, автоматические измерители, используемые на АМС, обычно имеют характеристики времени реагирования, отличные от характеристик жидкостных стеклянных термометров. Чаще всего измерители имеют более быстрое время реагирования, что означает, что они в большей степени способны производить дискретные измерения очень кратковременных колебаний температуры, что приводит к более высоким максимальным и более низким минимальным значениям температуры по сравнению с жидкостными стеклянными термометрами. Это порождает отклонение в положительную сторону в диапазоне суточных температур.

Повышение максимальных и понижение минимальных значений температуры могут отчасти компенсировать друг друга в показателях средней температуры в тех странах, где суточные максимальные и минимальные температуры используются в качестве основы для расчета средних температур. Однако есть некоторые места (рис. 2), особенно в засушливых регионах, где колебания температуры на очень коротких временных шкалах (менее 1 мин) более сильные днем, чем ночью (из-за разной структуры пограничного слоя, который часто стабилен ночью и хорошо перемешан днем). Следовательно, в таких случаях производство более быстрых дискретных измерений будет приводить к сдвигу максимальных температур в положительную сторону, который будет более значительным, чем сдвиг минимальных температур в отрицательную сторону, и, таким образом, будет приводить к сдвигу в значениях средней температуры.

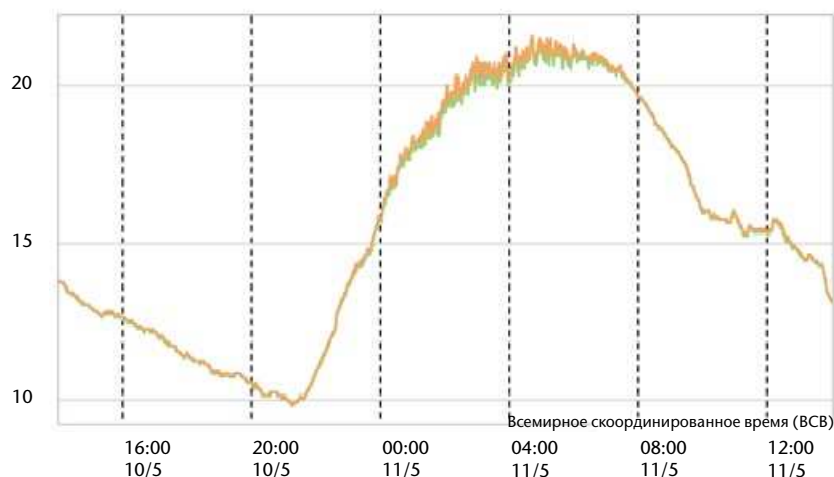


Рисунок 2. Показатели температуры (°C) в Бердсвилле, Австралия в промежутке с 14:00 ВСКВ 10 мая 2016 года до 14:00 ВСКВ 11 мая 2016 года (с 00:00 до 24:00 11 мая 2016 года по местному времени), демонстрирующие заметные ежеминутные колебания в промежутке с 00:00 до 07:00 ВСКВ (10:00 и 17:00 по местному времени) 11 мая 2016 года между самыми высокими (оранжевая линия) и самыми низкими (зеленая линия) значениями температуры в течение каждой минуты

Источник: Австралийское бюро метеорологии

Для выравнивания выходных данных автоматических измерителей по отношению к значениям времени реагирования, характерным для жидкостных стеклянных приборов, можно использовать фильтры в алгоритмах обработки данных. Однако нельзя считать, что такие процессы обеспечивают точное совпадение, и они могут не быть в наличии во всех случаях. Они также вряд ли смогут учесть изменения в тепловых свойствах метеорологической будки в случаях, когда конструкция метеорологической будки на автоматических станциях будет отличаться от конструкции будки на традиционных станциях.

d) Изменения в сроках наблюдений или других практиках наблюдений

Изменения сроков наблюдений являются хорошо известной причиной возникновения неоднородностей в наблюдениях за температурой (Menne et al., 2009; Vincent et al., 2009)². Хотя автоматизация сетей не обязательно приводит к изменению сроков наблюдений, она потенциально может способствовать таким изменениям. Например, тот факт, что присутствие наблюдателя больше не требуется, делает гораздо более практичным измерение значений максимальной и минимальной температур в течение календарных суток — от полуночи до полуночи. Как отмечалось ранее, несмотря на то что при переходе от традиционных станций к автоматическим желательно избегать изменения сроков наблюдений за суточными переменными, многие такие изменения происходили исторически.

Внедрение АМС может приводить к изменению точности данных. С одной стороны, наблюдатели, даже если они были проинструктированы считывать показания с точностью до 0,1 °, склонны округлять числа, в результате чего значения, оканчивающиеся на ,0 и, в меньшей степени, на ,5, встречаются чаще обычного (Trewin, 2002). Автоматические станции должны быть свободны от таких тенденций, но в некоторых случаях они сообщали значения, округленные до целых градусов (например, из-за ограничений в кодах передачи данных, в частности, в случае АМС ранних поколений), в странах, где стандартный эталон точности составляет 0,1 °. При условии, что любая тенденция к округлению не

² Хотя случай, рассмотренный Menne et al. (2009), лишь отчасти относится к внедрению АМС, он показывает, что изменение сроков наблюдений в большой части сети может приводить к значительным отклонениям в значениях — в данном случае систематический переход от послеполуденных наблюдений к утренним на многих станциях привел к отклонениям в отрицательную сторону значений средних температур.

порождает отклонений в сторону увеличения или уменьшения, округление должно оказывать ничтожно малое воздействие на средние величины, но может оказывать заметное воздействие на частоту превышений пороговых значений (например, дней, когда температура составляет 30 °C или выше) (Zhang et al., 2009; Trewin, 2012), а также может влиять на наблюдаемую изменчивость погоды.

е) Изменение местоположения пунктов наблюдений, связанное с внедрением АМС

Во многих случаях внедрение автоматических наблюдений сопровождается изменением местоположения пунктов наблюдений. Для этого есть несколько причин, однако распространенным сценарием является перемещение неавтоматизированной станции, долгое время располагавшейся в черте города (по историческим причинам или из-за наличия наблюдателей), на новое место в менее застроенном районе (часто на территории аэропорта или в аналогичном месте). Новое местоположение будет лучше соответствовать стандартным спецификациям наблюдений, определенным в Руководстве КПМН от 2014 г., и может подойти для производства наблюдений за такими переменными, как ветер, за которыми невозможно достаточно хорошо наблюдать в условиях большинства видов городской среды. Другим распространенным сценарием является перемещение пункта в определенное место, например, в центральную зону аэропорта, которое не является легкодоступным для наблюдателей, но которое является более репрезентативным для основных групп пользователей получаемой информации.

Хотя каждое изменение местоположения пункта наблюдений уникально в своем конкретном воздействии на температуру и другие переменные, хорошо известно, что в черте города температура обычно выше (особенно ночью), чем за его пределами. Следовательно, в отсутствие других факторов воздействия (таких как местные топографические особенности или влияние близлежащей береговой линии) перемещение пункта наблюдений из города за его пределы, что часто связано с установкой АМС, будет с высокой периодичностью приводить к искусственному снижению минимальных температур. В зависимости от точных характеристик старого и нового пунктов наблюдений возникновение неоднородностей в 1 °C и более в значениях минимальных температур в результате переноса местоположения за пределы города не является чем-то необычным. Также может возникать менее последовательное воздействие на значения максимальной и среднесуточной температур.

2.2.2 **Осадки**

Наиболее распространенным изменением в измерениях осадков, которое происходит при переходе от традиционных станций к АМС, является переход от неавтоматических накопительных осадкомеров (в случае которых дождевые осадки накапливаются в сосуде, показания которого считываются, и который затем опорожняется в установленное время) к автоматическим. Наиболее распространенным видом автоматического осадкомера является плювиограф с опрокидывающимся сосудом (когда вода поступает в измерительный прибор через приемное отверстие и накапливается в небольшом сосуде, который опрокидывается при заполнении, подавая сигнал для передачи), в то время как другим распространенным видом автоматического осадкомера является весовой осадкомер. Существуют как осадкомеры, измеряющие уровень воды в сосуде, так и осадкомеры без осадкоприемника, использующие такие инструменты, как измерение ударных воздействий, микроволновые радиолокаторы и лазеры. Осадкомеры без осадкоприемника чаще используются для измерений текущей погоды, чем для долгосрочных наблюдений за накоплением осадков (Vuerich et al., 2009).

Как и в случае с температурой, последствия перехода на автоматические измерения могут включать в себя эффект от изменений в контрольно-измерительных приборах, а также от изменений в размещении прибора или в условиях окружающей среды в пункте наблюдений. Как и в случае какого-либо изменения типа прибора, между традиционными и автоматическими приборами могут существовать систематические различия, характер которых будет зависеть от конкретных соответствующих приборов.

Основное воздействие местоположения проявляется в местах, где ветер достаточно сильный, чтобы вызывать занижение показаний количества осадков, поскольку ветер является хорошо известной причиной этого явления (Sieck et al., 2007). В этих случаях значительное изменение местной ветровой среды (которое может произойти в результате даже незначительного изменения местоположения пункта наблюдений) может оказать существенное влияние на размер занижения показаний количества осадков, и таким образом вызвать неоднородность в измеренных величинах осадков. Эта проблема особо ярко проявляется в местах, значительно подверженных внешним воздействиям, таких как вершины гор или береговые линии (например, на маяках). Она также особо заметна в местах, где значительная часть осадков выпадает в замерзшем виде. В условиях слабого ветра местоположение, как правило, играет меньшую роль.

2.2.2.1 Воздействие остановок в работе на данные об осадках

Хотя операторы метеорологических сетей стараются свести к минимуму потерю данных, некоторый уровень остановок неизбежен в работе любой сети наблюдений. Остановки в работе представляют собой особую проблему для аддитивных элементов, среди которых осадки занимают наиболее видное место. Это связано с тем, что потеря любой части данных наблюдений, произведенных в течение одних суток, приводит к потере месячного (годового) итогового значения за месяц (год), если только данные за пропущенный период не определяются путем приблизительной оценки, например, с помощью близлежащих станций. (В отличие от этого, потеря одних суток наблюдений за температурой в течение месяца обычно вносит лишь незначительную неопределенность в среднемесячную величину). Эта проблема наиболее остро стоит в случае плувиографов с опрокидывающимся сосудом, когда требуется непрерывный учет, и менее актуальна для весовых осадкомеров в зависимости от настроек системы усваивания данных.

Отсутствие данных об осадках с автоматической станции на протяжении определенного периода может привести к тому, что соответствующее суточное значение будет установлено на отсутствующее, или оно может быть записано как (возможно, ложное) значение, равное 0, в зависимости от того, как структурирован порядок ввода данных в базу данных. В последнем случае это создаст отклонение в отрицательную сторону в показателях регистрируемых осадков, степень которого зависит от частоты остановок в работе и обстоятельств, при которых они происходят. (Можно предположить, что остановки в работе могут чаще происходить во время штормов, которые также, скорее всего, являются периодами, отличающимися выпадением большого количества осадков, хотя ничего не известно о том, что данное предположение подвергалось объективной проверке).

В условиях традиционных наблюдений, в случае отсутствия данных суточных наблюдений все равно (обычно) есть возможность получить итоговое значение за несколько суток, что может привести к потере данных суточных наблюдений, но, как правило, не данных наблюдений за месяц и год. Тем не менее, на данные традиционных наблюдений иногда может влиять переполнение осадкомеров в условиях повышенной влажности, что приводит к занижению или полной потере данных об экстремально большом количестве дождевых осадков — такой режим отказов гораздо менее вероятен в случае автоматических приборов.

2.2.2.2 Регистрация небольших количеств осадков

При регистрации небольших количеств осадков с помощью традиционных и автоматических приборов существует потенциальная возможность возникновения отклонений. Это создает возможность для возникновения отклонений в отношении частоты выпадения таких небольших количеств при переходе от традиционных станций к автоматическим.

Опыт работы с неавтоматизированными пунктами наблюдений показывает, что относительно часто небольшие количества (менее 2 мм и особенно менее 1 мм) не

регистрируются, особенно на пунктах наблюдений, где нет квалифицированных наблюдателей. Анализ австралийских данных о количестве осадков, полученных в ручном режиме, показал, что свыше 50 процентов всего количества суточных дождевых осадков менее 1 мм по всей сети не были зарегистрированы (Trewin, 2001). Хотя влияние этого на месячные и годовые итоговые величины невелико (поскольку небольшое количество осадков обычно остается в осадкомере и прибавляется к следующему, более сильному дождю), такое занижение данных о небольших количествах будет оказывать влияние на число наблюдаемых дождливых дней и индексы, основанные на них³.

Со своей стороны, автоматические дождемеры не могут уверенно отличать дождь от росы или заморозка, что может приводить к завышению числа дней с небольшим количеством осадков, если только они не будут удалены вручную. Плувиографы с опрокидывающимся сосудом также подвержены ложным показаниям из-за опрокидываний, регистрируемых в результате возникновения помех в работе осадкомера, попадания в осадкомер посторонних предметов⁴ или подобных происшествий.

Известно, что для неавтоматизированных осадкомеров характерно занижение данных из-за потерь на смачивание при небольших количествах осадков (это может происходить и с некоторыми автоматическими системами). Эта проблема наиболее остро стоит в местах, где происходит большое количество выпадений очень легких осадков, особенно когда эти осадки выпадают в замерзшем виде. В Канаде, согласно оценкам, общая потеря на смачивание в некоторых местах может достигать порядка 15—20 процентов (Goodison et al., 1998). Такой характер осадков типичен для районов с очень холодным климатом, где следовые количества также могут вносить значительный вклад в общее количество осадков.

2.2.2.3 Замерзшие осадки

Измерение замерзших осадков давно представляет собой особую проблему. Занижение количества снега является проблемой даже при слабом ветре, также как и проведение различия между падающим снегом и снежной низовой метелью, поднятой с земли. Нет ничего необычного в том, что различные методы измерения замерзших осадков дают результаты, различающиеся в 2 раза и более, причем при высоких скоростях ветра различия становятся еще более значительными (Goodison et al., 1998; Wolff et al., 2014).

В 1986—1993 годах ВМО провела масштабное исследование по взаимному сравнению, в значительной степени основанное на данных традиционных наблюдений (Goodison et al., 1998). В рамках второго взаимного сравнения (Эксперимент ВМО по взаимному сравнению измерений твердых осадков) наблюдения производились в период с 2012 по 2015 год.

Многие проблемы, связанные с измерением количества замерзших осадков, являются общими для традиционных и автоматических приборов. В частности, влияние ветра на измерения количества замерзших осадков (как в отношении занижения количества падающего снега, так и в случае снежной низовой метели) будет зависеть от положения (высоты и расположения) и размера приемного отверстия осадкомера, а также от степени его защищенности от ветра. Метод измерения количества замерзших осадков после их попадания в осадкомер не должен оказывать какого-либо влияния.

Плувиографы с опрокидывающимся сосудом обычно предназначены для измерения жидкостей. Обычное устройство работы прибора состоит в подогревании приемного отверстия осадкомера для растапливания любых замерзших осадков, попадающих в него, что позволяет осадкомеру измерять эквиваленты жидкости (с небольшой задержкой по

³ Это явление отчасти объясняет, почему Экспертная группа по обнаружению и индексам изменения климата использует в своих индексах осадков пороговое значение дождливого дня в 1 мм.

⁴ Случай ложного показания 0,2 мм на пункте наблюдений в северной Австралии произошел в 2009 году в день, когда в радиусе нескольких сотен километров не было ни одного облака. Это было вызвано попаданием в приемное отверстие осадкомера инородных предметов, вылетевших из-под проезжающей мимо газонокосилки.

времени). Это может быть эффективным способом измерения количества замерзших осадков, хотя он зависит от надлежащего функционирования системы подогрева. Следовательно, в случае неисправности этой системы подогрева прибор выйдет из строя⁵, и даже при надлежащем функционировании он может показывать систематические отклонения (например, из-за испарения в приемном отверстии осадкомера). Если такая система подогрева не предусмотрена (скорее всего, в местах, где замерзшие осадки выпадают относительно редко), в осадкомере может происходить накапливание снега, измерение которого будет возможно только после того, как он растает. Это может приводить к тому, что осадки будут измеряться намного позднее времени их выпадения, даже если общее количество было приблизительно правильным, и на него не повлияло, например, то, что приемное отверстие осадкомера было полностью заполнено снегом. Потери за счет испарения в результате использования подогреваемых осадкомеров могут быть значительными, поэтому Goodison et al. (1998) рекомендовали не использовать подогреваемые осадкомеры для измерения замерзших осадков в местах, где в течение продолжительных периодов наблюдались температуры ниже 0 °C.

Весовые осадкомеры, которые могут с легкостью измерять как жидкие, так и замерзшие осадки, обычно не зависят от системы подогрева. Исследования по взаимному сравнению показали, что они лучше подходят для климатических зон, в которых значительное количество осадков выпадает в замерзшем виде, хотя у них также могут возникать проблемы с качеством данных (Goodison et al., 1998).

В опросе КПМН (WMO, 2010) представлены результаты по девяти странам. Из них следует, что на тот момент 74 процента действующих автоматических пунктов наблюдений для измерения замерзших осадков использовали подогреваемые плевниографы с опрокидывающимся сосудом, а 23 процента — весовые осадкомеры.

2.2.3 ***Атмосферная влажность (влажность воздуха, температура точки росы и упругость водяного пара)***

Традиционные наблюдения за атмосферной влажностью обычно предполагают использование сухого и смоченного термометров. Их показания используются для выведения текущего значения упругости водяного пара и упругости насыщенного пара с помощью психрометрического метода; в дальнейшем они могут использоваться для расчета температуры точки росы и относительной влажности.

На автоматических станциях обычно применяется один из двух видов технологий: смоченный измеритель, который эксплуатируется в условиях, аналогичных обычному смоченному термометру, или устройство измерения относительной влажности, которое измеряет изменение емкости тонкой пленки, величина которой зависит от относительной влажности воздуха.

Оба типа приборов имеют потенциальные систематические расхождения с данными измерений, получаемыми с помощью обычных приборов (Lucas, 2010). В случае методов, основанных на температуре по смоченному термометру, уравнение, используемое для вывода величины упругости водяного пара из значений температуры по сухому и смоченному термометрам, включает в себя величину *A*, психрометрическую постоянную. «Реальная» величина *A* зависит от таких факторов, как вентиляция приборов, форма смоченного прибора, длина и чистота фитиля. На практике величина *A*, используемая в рабочем порядке, обычно является постоянной в рамках всей национальной сети, и поэтому изменение типа прибора, влияющее на базовую «истинную» величину *A*, без изменения значения, применяемого в рабочем порядке, приведет к возникновению неоднородности в показателях упругости пара и связанных с ним элементов.

Устройства измерения влажности чаще всего устанавливаются в местах, где нет постоянных наблюдателей, или где температура регулярно опускается ниже точки

⁵ Опыт эксплуатации показывает, что системы подогрева осадкомеров часто испытывают проблемы с надежностью и имеют высокую потребность в электроэнергии.

замерзания. Они предназначены для наиболее эффективной работы в определенном диапазоне относительной влажности воздуха и могут быть менее надежными за пределами этого диапазона. Это может приводить к возникновению потенциальных отклонений при экстремально высоких или низких величинах влажности воздуха. Наблюдаемые изменения в возникновении экстремально низкой влажности могут иметь последствия для таких применений, как пожароопасная погода, для которой экстремально низкая атмосферная влажность является существенным фактором риска. Наблюдения за экстремально высокой влажностью воздуха важны для выявления тумана и дымки, которые играют особо важную роль в областях авиации и судоходства.

Смоченные измерители требуют периодического долива воды в соответствующий резервуар (так же, как и в случае смоченных термометров). В случае высыхания такого резервуара смоченный измеритель начинает вести себя как сухой, что приводит к ложным высоким значениям температуры точки росы и показаниям влажности воздуха, приближенным к 100 процентам. Этот режим отказов может наступать в случае как традиционных, так и автоматических смоченных приборов для измерения температуры. Однако в пунктах наблюдений, где приборы проходят регулярную проверку (как это происходит в случае производства наблюдений наблюдателем), вероятность того, что опустевший резервуар будет замечен до того, как он станет достаточно сухим, чтобы повлиять на данные наблюдений, предположительно будет выше.

Связь между упругостью насыщенного пара и температурой (и, следовательно, между наблюдаемой упругостью пара и температурой точки росы) является в высшей степени нелинейной. При температуре точки росы ниже 0 °C относительно небольшое абсолютное изменение значения упругости водяного пара (или температуры по смоченному термометру) может оказать существенное воздействие на температуру точки росы. Например, снижение упругости пара на 1 гПа приведет к снижению температуры точки росы на 0,7 °C при температуре точки росы 20 °C, на 2,4 °C — при 0 °C и на 5,3 °C — при -10 °C. Следствием этого является то, что любые отклонения между различными типами приборов чаще всего оказывают наибольшее влияние на данные наблюдений в условиях экстремально низкой влажности воздуха. Примером этого может служить Аделаида, Австралия, где среднее количество дней в году, когда точка росы в 09:00 по местному времени была -5 °C или ниже, составляло 0,2 дня в году в период с 1978 по 1995 год при использовании обычного смоченного термометра, но уже 1,5 дня в году в период с 1997 по 2015 год при использовании автоматического смоченного измерителя. Между тем, на соседнем пункте Парафилд, где устройство влажности воздуха используется с 1990 года, средняя частота составила 0,5 дней в году⁶.

2.2.4 Прочие элементы

Некоторые элементы, которые обычно наблюдались на многих традиционных станциях: либо вообще не могут быть измерены автоматическими приборами; либо являются элементами, автоматические наблюдения за которыми в настоящее время находятся на ранней стадии развития; либо могут быть измерены некоторым образом с помощью автоматических приборов, но не таким образом, который был бы совместим с данными традиционных наблюдений (даже с учетом поправок на однородность); либо в случае которых использование автоматических приборов все еще является в значительной степени экспериментальным. К ним относятся: количество, высота и тип облаков; эвапориметрический показатель; текущая погода; метеорологическая видимость и высота снежного покрова.

Переход от традиционных измерений к автоматическим обычно приводит к прекращению производства наблюдений за этими элементами. В странах, где значительная часть сети была автоматизирована или находится в процессе автоматизации, это может приводить к снижению способности сети производить наблюдения за этими элементами до уровня ниже того, который необходим для проведения эффективного анализа на

⁶ Подробное обсуждение перехода от традиционных измерений температуры точки росы к автоматическим в Австралии см. в разделе 3.4.

национальном уровне. (Например, обновление австралийского комплекта данных об общем количестве облаков было приостановлено в конце 2015 года из-за недостаточного количества содействующих станций; Jovanovic et al., 2010) В некоторых случаях могут существовать альтернативы традиционным данным. Например, существует потенциал для проведения долгосрочных анализов количества облаков путем объединения современных данных со спутников с более старыми данными наблюдений со станций, а данные о солнечной радиации, если таковые имеются, могут быть использованы для оценки продолжительности солнечного сияния.

Внедрение автоматических наблюдений обычно влечет за собой изменение в типе приборов для наблюдений за ветром (или переход от осуществления оценок ветра наблюдателем с использованием шкалы Бофорта или аналогичной шкалы к инструментальным измерениям). Любое изменение в типе прибора вносит потенциальную неоднородность в записи, природа которой будет зависеть от конкретных задействованных приборов и конкретных алгоритмов, используемых для преобразования выходных данных приборов (например, скорость вращения чашек анемометра) в соответствующее измерение.

Другая существенная проблема в области наблюдений за ветром связана с тем, что внедрение автоматических наблюдений также предполагает перемещение пунктов наблюдений. Во многих случаях это будет перемещением из городской местности в аэропорт или аналогичный объект. Наблюдения за ветром очень чувствительны к наличию препятствий для воздушного потока в непосредственной близости от пункта наблюдений. (В Руководстве КПМН от 2014 года содержится рекомендация о том, что приборы для наблюдения за ветром должны располагаться на участках местности, на которых расстояние между анемометром и любым препятствием равно не менее чем десятикратной высоте препятствия). Следовательно, перемещение на более открытую площадку, даже без изменения прибора, предположительно приведет к увеличению наблюдаемой скорости ветра.

3. **ПРИМЕРЫ ДОКУМЕНТАЛЬНО ПОДТВЕРЖДЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В СВЯЗИ С ПЕРЕХОДОМ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ**

3.1 **Введение**

Многие страны уже имеют опыт перехода от традиционных наблюдений к автоматическим. Результаты этого перехода тщательно задокументированы, хотя и не всегда в легкодоступной форме (например, многие результаты полевых испытаний НМГС документально отражены только во внутренних отчетах, доступ к которым для внешних пользователей зачастую затруднен, хотя такие материалы становятся все более доступными в системе Интернет).

Цель данной главы — привести несколько примеров, показывающих пользователям приблизительный характер и тип различий между традиционными и автоматическими наблюдениями в отношении ряда переменных, а не проводить исчерпывающий обзор литературы, посвященной теме неоднородностей.

Научная группа по параллельным наблюдениям (ПОСТ) Международной инициативы по приповерхностным температурам (Venema et al., 2016) проводит (на момент составления данной записки) оценку результатов тематических исследований о параллельных измерениях данных традиционных и автоматических наблюдений за температурой и осадками по большому количеству стран. Ниже приводятся предварительные выводы по результатам работы ПОСТ.

3.2 Температура

Предварительные результаты ПОСТ (Aguilar et al., 2015) по 10 странам показали, что в большинстве исследований среднее отклонение средних значений температур, обусловленное переходом от традиционных наблюдений к автоматическим, было отрицательным (то есть автоматические наблюдения показывали более пониженные температуры). Средние отклонения колебались от $+0,19$ °C в Перу до $-0,36$ °C в Аргентине, хотя на некоторых отдельных станциях наблюдались существенно большие величины. Величины отклонений были значительно больше для диапазона суточных температур, поскольку в некоторых странах были получены контрастные результаты максимальных и минимальных температур. Например, в Испании и Швеции были обнаружены отклонения в положительную сторону максимальной температуры и отклонения в отрицательную сторону минимальной температуры, в то время как в случае Соединенных Штатов Америки (рассматривается ниже) обнаруженное среднее отклонение составило $-0,50$ °C в отношении максимальной температуры, но было близко к нулю в отношении минимальной температуры. Следует отметить, что в представленных результатах не проводится систематического разграничения между изменениями приборов и связанных с ними перемещениями пунктов наблюдений или изменениями в метеорологических будках; в некоторых странах они оказывают систематическое воздействие сами по себе (например, в Австралии некоторые автоматические метеорологические установки были также связаны с перемещением пунктов наблюдений из мест, расположенных в черте города, в места за пределами городов, что предположительно приводило бы к возникновению отклонения в сторону более пониженных температур).

Один досконально изученный переход от традиционных приборов к автоматическим произошел в США, где в период с 1984 по 1988 год около 60 процентов станций сети сотрудничества по наблюдению за температурой перешли от традиционных приборов (в деревянной будке прямоугольной формы) к автоматическим (в многопластинчатой будке)⁷. Первоначальный анализ, основанный на сравнении рабочих станций (Quayle et al., 1991), определил среднее влияние этого перехода в $-0,4$ °C в отношении максимальной температуры и $+0,3$ °C в отношении минимальной температуры. Результаты специальных сравнений в полевых условиях на экспериментальном пункте наблюдений (Wendland and Armstrong, 1993; Doesken, 2005) подтвердили этот вывод в отношении максимальной температуры, а также показали, что различия были наибольшими в условиях слабого ветра и сильной солнечной радиации. Было обнаружено мало доказательств существования какой-либо значительной разницы в отношении минимальной температуры, что говорит о том, что разница между значениями минимальной температуры, наблюдаемая Quayle et al. (1991), возможно, являлась артефактом изменений местоположения пунктов наблюдений, связанных с переходом (например, установка автоматических пунктов наблюдений в большей близости к зданиям, чем традиционные пункты наблюдений, которые они заменили, с целью уменьшения длины необходимой кабельной проводки). Hubbard and Lin (2006) подтвердили это, установив, что, хотя общие воздействия на всю сеть Соединенных Штатов Америки, указанные Quayle et al. (1991), были достоверными, воздействия в отдельных местах в значительной мере зависели от каждого конкретного пункта наблюдений.

Исследования, охватывающие другие части сети Соединенных Штатов Америки (автоматизированная система приземных наблюдений (АСПН), используемая в крупных аэропортах, и опорная сеть климатических наблюдений (ОСКН), в обеих из которых использовались конструкции метеорологических будок, отличные от MMTS), также выявили различия порядка нескольких десятых градуса между MMTS, с одной стороны, и АСПН и ОСКН, с другой (Hubbard et al., 2004; Sun et al., 2005). Однако Guttman and Baker (1996) обнаружили, что различия между АСПН и другими системами зависели от конкретного пункта наблюдений даже в тех случаях, когда обе системы были установлены в пределах одного и того же аэропорта. Leeper et al. (2015) обнаружили, что вентилируемые метеорологические будки, используемые в ОСКН, показывали более

⁷ Эти системы широко известны как система CRS и система максимальной минимальной температуры (MMTS), соответственно. MMTS не является полностью автоматической в том смысле, что она передает данные в цифровом виде на терминал (обычно расположенный в помещении наблюдателя), но для передачи данных в более широкую сеть связи требуется ручное вмешательство.

низкие максимальные температуры (среднее значение — 0,48 °C) и более высокие минимальные температуры (+0,36 °C), чем MMTS. При оценке перехода от традиционных измерений температуры к автоматическим эти результаты подтвердили проблематичность разграничения воздействий, связанных с самими датчиками, воздействий, обусловленных типом метеорологической будки, и воздействий, вызванных другими сопутствующими изменениями, такими как передислокация пункта наблюдений.

Данные параллельных наблюдений, полученные с традиционных и новых автоматических станций Campbell Scientific со стандартными конфигурациями, были изучены в 22 местах по всей Канаде для поддержания непрерывности долгосрочных климатических наблюдений. Во-первых, в случае некоторых пар станций выявилось совпадение временных промежутков для производства наблюдений за суточными максимальными и минимальными температурами. Во-вторых, был произведен расчет значений отклонений, которые были использованы для корректировки временных рядов автоматических станций. Для анализа отклонений использовались двух- и пятилетние параллельные периоды. Была обнаружена средняя абсолютная разность между парами станций, которая достигала 0,7 °C и 1,4 °C в отношении значений максимальной и минимальной температур, соответственно (Milewska and Vincent, 2016).

3.3 Осадки

Предварительные результаты ПОСТ (Stepanek et al., 2015) по девяти странам показали, что в большинстве исследований автоматические наблюдения регистрировали меньшее количество осадков, чем традиционные наблюдения. Средняя величина отклонения в сторону занижения влажности была небольшой (менее 5 процентов в большинстве стран, в которых проводились исследования), однако данные, полученные от различных станций, колебались в широких пределах, и значительное число станций показало отклонения свыше +20 процентов или менее –20 процентов. Предварительные выводы показали, что отклонения были более значительными в отношении замерзших, чем жидких осадков, и более существенными в случае АМС ранних поколений по сравнению с более современными приборами. Что касается температуры, представленные результаты также учли влияние сопутствующих перемещений пунктов наблюдений, и большая часть разбросов в результатах ПОСТ, вероятно, была обусловлена этими перемещениями пунктов наблюдений, а не изменениями в контрольно-измерительных приборах (особенно в случае замерзших осадков, учитывая влияние скорости ветра на занижение количества осадков и чувствительность значений скорости ветра к местным условиям окружающей среды вокруг пункта наблюдений).

Хотя традиционные измерения не входили в сферу охвата сравнения, существуют проекты ВМО по взаимному сравнению с привлечением широкого спектра осадкомеров, проводимых как в лабораторных (Lanza et al., 2006; Sevruk et al., 2009), так и в полевых условиях (Vuerich et al., 2009). В ходе этих проектов было установлено, что неоткорректированные плювиографы с опрокидывающимся сосудом, как правило, показывают большие отклонения в отрицательную сторону относительно эталона при очень высокой интенсивности дождя (обычно 15—20 процентов при интенсивности дождевых осадков 300 мм/ч), хотя отклонения были намного меньше при более низкой интенсивности (обычно менее 5 процентов при интенсивности 50 мм/ч или ниже). Эти результаты показали, что неоткорректированные плювиографы с опрокидывающимся сосудом, скорее всего, будут в значительной мере подвержены долгосрочным отклонениям в климатических условиях, где значительная часть годовых осадков выпадает в виде явлений высокой интенсивности, что характерно для многих районов тропиков и субтропиков. Исследование, проведенное Vuerich et al. (2009), показало в целом хорошие результаты в отношении плювиографов с опрокидывающимся сосудом при автоматическом применении поправочных коэффициентов в зависимости от интенсивности дождевых осадков. Твердые осадки не рассматривались в рамках этого взаимного сравнения.

3.4 Прочие элементы

В большинстве опубликованных исследований на тему перехода от традиционных измерений к автоматическим акцент делался на температуре и осадках, тогда как изучению других переменных посвящено меньшее число исследований.

Lucas (2010) и Gorman (2003) сообщили о сравнениях значений традиционных и автоматических измерений температуры точки росы/влажности в Австралии (Lucas с помощью регрессионного анализа, охватывающего традиционные и автоматические компоненты по всей сети, а Gorman в рамках полевых испытаний). Lucas (2010) обнаружил, что в австралийской сети автоматические смоченные измерители показывали среднее отклонение температуры точки росы $-0,5^{\circ}\text{C}$, а устройства измерения влажности показывали среднее отклонение температуры точки росы $-0,3^{\circ}\text{C}$ (хотя в последнем случае это в некоторой степени зависело от местоположения пункта наблюдений) по сравнению с традиционными смоченными термометрами. Gorman (2003) обнаружил существенные расхождения между значениями температуры точки росы, полученными с помощью смоченных термометров, и устройств измерения влажности воздуха при низких значениях температуры точки росы (обычно 3°C или более при температуре точки росы ниже -5°C), и объяснил это неприменимой величиной психрометрического коэффициента A (см. раздел 2.2.3). Эти результаты характерны для контрольно-измерительных приборов и методов наблюдений, применяемых в Австралии, и могут быть неприменимы к другим контрольно-измерительным приборам и сетям.

4. РУКОВОДСТВО ПО УПРАВЛЕНИЮ ПЕРЕХОДОМ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ К АВТОМАТИЧЕСКИМ

4.1 Параллельные измерения в традиционных и автоматических системах

С климатической точки зрения наиболее серьезной проблемой, возникающей при переходе от традиционных измерений к автоматическим, является обеспечение однородности данных по широкому спектру переменных, а также в отношении средних и экстремальных величин. Как обсуждалось ранее, и в отношении конкретных элементов в разделе 2.2, внедрение АМС, равно как и передислокация пунктов наблюдений, часто сопровождающая такой переход, могут приводить к возникновению потенциальных неоднородностей в любых временных рядах климатологических данных.

Рекомендуемая практика перехода от традиционных станций к АМС предусматривает производство параллельных наблюдений в двух системах на протяжении определенного промежутка времени. Руководящие указания ВМО в отношении оптимального периода параллельных наблюдений не вполне последовательны. В Руководстве КПМН от 2014 года предлагается минимальный срок продолжительностью 12 месяцев в отношении скорости и направления ветра, 24 месяца в отношении температуры, влажности воздуха, солнечного сияния и испарения и 60 месяцев в отношении осадков (в нем также отмечается, что «Полезным компромиссным вариантом был бы период перекрытия продолжительностью в 24 месяца»). В Руководстве по климатологическим практикам (ВМО, 2011 г.) рекомендуется период перекрытия продолжительностью по меньшей мере один год, а лучше два года или более. На практике необходимый период, скорее всего, будет зависеть от конкретного пункта наблюдений и не всегда может быть предугадан заранее. Двадцати четырех месяцев может быть достаточно для выявления наличия или отсутствия значительной неоднородности, но недостаточно для проведения полной количественной оценки неоднородности (включая влияние на экстремальные значения распределения, а также на среднюю величину). Риск возникновения существенной неоднородности тем выше, чем более масштабны изменения в системе; если устанавливаемая АМС находится в пределах той же самой огороженной площадки для приборов, которая используется для производства традиционных наблюдений, риск появления значительной неоднородности в отношении многих переменных незначителен. Однако, если также происходит кардинальное изменение местоположения

пункта наблюдений, риск появления существенной неоднородности возрастает. Поэтому предпочтительнее иметь возможность продлить период параллельных наблюдений в том случае, если анализ результатов первоначального периода параллельных наблюдений выявит наличие существенных различий.

Значительная часть комментариев в этой главе посвящена использованию данных параллельных наблюдений в целом и применима к использованию данных параллельных наблюдений в иных ситуациях, кроме как при переходе от традиционных наблюдений к автоматическим (например, передислокация пункта наблюдений без изменения типа контрольно-измерительных приборов).

Подробное руководство по выявлению неоднородностей в климатических данных и введению поправок на них представлено в публикации «Guidelines on Climate Metadata and Homogenization» (Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечению однородности данных) (WMO, 2003) и выходит за рамки данной записки.

4.2 **Тестирование перед развертыванием оперативных автоматических метеорологических станций**

В Руководстве КПМН от 2014 года содержится рекомендация о проведении испытаний новых приборов перед их оперативным развертыванием на АМС. Это включает в себя испытания на воздействие окружающей среды и калибровку в лабораторных условиях, а также испытания работоспособности в полевых условиях. Такие испытания позволяют определить степень соответствия датчиков стандарту (если таковой существует), а также рабочие характеристики развернутых на местах контрольно-измерительных приборов по отношению к эталонным показателям.

Полевые испытания обычно проводятся на одной или нескольких специальных экспериментальных площадках. При проведении полевых испытаний для содействия внедрению АМС, в сферу охвата полевых испытаний следует включать существующие приборы, используемые для производства традиционных наблюдений, с тем чтобы можно было произвести сравнение приборов в единообразных местных условиях. Программа проведения полевых испытаний должна охватывать как минимум один полный годовой цикл и быть направлена на вычленение отдельных компонентов изменения (например, путем сравнения показаний традиционного датчика и автоматического в пределах одной и той же метеорологической будки).

Проведение испытаний на воздействие окружающей среды и полевых испытаний не устраняет необходимости в производстве параллельных наблюдений в отдельных местах, где вместо традиционных станций были развернуты АМС, поскольку неоднородности могут быть характерными для каждого отдельного пункта наблюдений в зависимости от местных условий. Однако, если испытания на воздействие окружающей среды и полевые испытания покажут, что разница между ними в экспериментальных условиях незначительна, это снизит риск возникновения существенных различий на отдельных пунктах наблюдений (при условии отсутствия кардинальных изменений местоположения пункта наблюдений). Если, как это часто бывает, АМС были развернуты в значительной части сети за короткий промежуток времени, отсутствие систематических различий между автоматическими и традиционными системами также снижает риск возникновения отклонения по всей сети (см. раздел 4.4.1).

4.3 **Репрезентативность периода параллельных наблюдений**

Период параллельных наблюдений в двух системах наблюдений будет надежным показателем расхождений между этими системами тогда и только в том случае, когда период параллельных наблюдений является репрезентативным в отношении предшествующих и последующих периодов (то есть старая станция в течение периода параллельных наблюдений соответствует старой станции до начала периода параллельных наблюдений, а новая станция в течение периода параллельных наблюдений

является репрезентативной в отношении новой станции после окончания этого периода). Поэтому важно произвести проверку временных рядов отдельных пунктов наблюдений на наличие неоднородностей в течение периода параллельных наблюдений или незадолго до или вскоре после него. Также важно обеспечить надлежащее производство параллельных наблюдений; были случаи, когда данные «традиционных» наблюдений во время сравнения на самом деле снимались с автоматических приборов, что делало результаты сравнения малопригодными.

В течение периода параллельных наблюдений неоднородности могут возникать по многим причинам. Распространенным сценарием является принятие решения о перемещении станции из-за ухудшения размещения пункта наблюдений или возникновения неминуемой опасности такого ухудшения по причине городской застройки. В случае если такое изменение произойдет в течение периода параллельных наблюдений, вполне вероятно, что оно сделает старый пункт наблюдений нерепрезентативным по отношению к его прежним показателям, а значит период параллельных наблюдений будет нерепрезентативным.

Даже в отсутствие каких-либо неоднородностей в долгосрочной перспективе взаимосвязи между метеорологическими переменными в местах производства параллельных наблюдений могут быть подвержены межгодовой изменчивости. Например, влажность почвы и интенсивность окружающего растительного покрова с большей вероятностью будут оказывать воздействие на значения температуры в пункте наблюдений в сельском районе, чем в городском, и поэтому разница между значениями температуры в сельском и городском районах в необычно влажный (или сухой) год может не быть характерной для обычных условий. Многолетний период параллельных наблюдений сводит к минимуму риск того, что выборки в течение этого периода придется на необычную климатическую фазу, особенно в климатических условиях, находящихся под сильным влиянием явления Эль-Ниньо / Южное колебание или иным образом подверженных высокой межгодовой изменчивости.

Если период параллельных наблюдений длится достаточно долго, вопрос неоднородностей в течение периода параллельных наблюдений может быть решен путем отказа от использования нерепрезентативной части периода параллельных наблюдений. Пример приведен на рис. 3. В данном случае параллельные наблюдения в новом и старом пунктах наблюдений производились в период с 1992 по 2002 год. Тем не менее, неоднородности примерно в $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ были замечены в новом пункте в 1995 году (из-за изменения алгоритма осреднения данных в условиях новой версии АМС) и примерно в $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в старом пункте в 1999 году (из-за того, что участок становился все более заслоненным новыми зданиями). Поэтому для оценки долгосрочных различий между двумя пунктами наблюдений использовался только период с 1995 по 1998 год. В зависимости от продолжительности периода параллельных наблюдений и времени возникновения каких-либо неоднородностей такой подход может оказаться невозможным. В этом случае более оптимальные результаты могут быть получены путем игнорирования периода параллельных наблюдений и проведения оценки потенциальных неоднородностей другими способами, например, с помощью независимых опорных метеорологических станций в регионе (см. ниже).

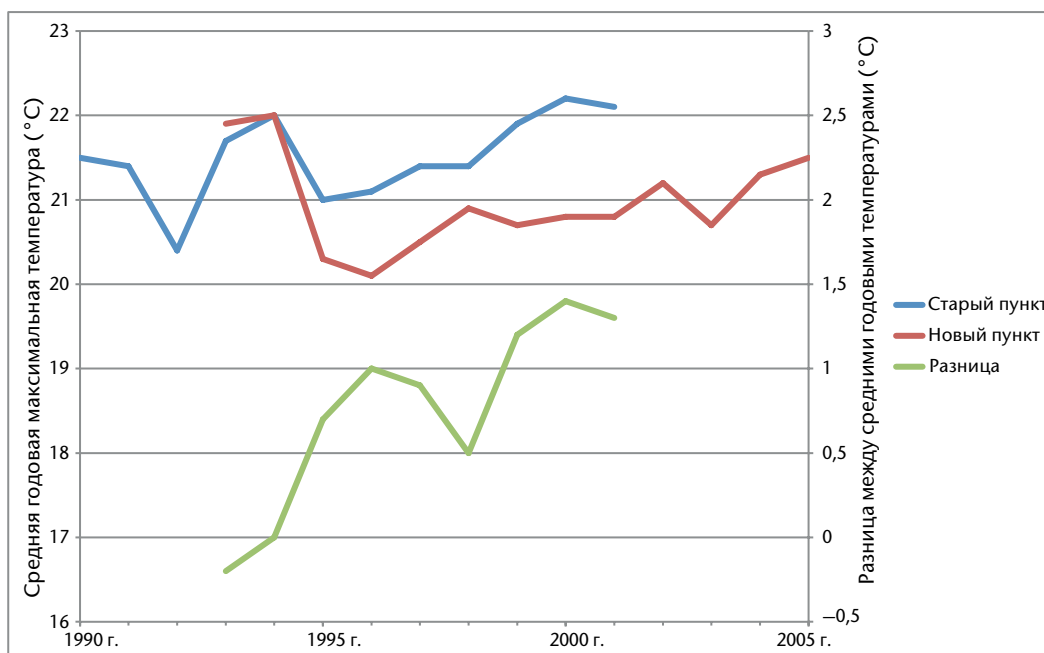


Рисунок 3. Среднегодовые максимальные температуры в Порт-Линкольне, Австралия примерно в течение периода параллельных наблюдений, производимых на традиционном пункте наблюдений в центре города («старый пункт») и автоматическом пункте наблюдений на территории аэропорта, расположенного в 14 км к северу («новый пункт»)

4.4 Что произойдет в случае отсутствия практически применимого периода параллельных наблюдений?

Тогда как планирование перехода от традиционных наблюдений к автоматическим должно предусматривать проведение полевых испытаний и параллельных наблюдений на этапе развертывания, существует множество ситуаций, когда практически применимый период параллельных наблюдений отсутствует. Некоторые из причин этого могут быть следующими:

- переход произошел какое-то время назад, и в то время никакой политики в отношении проведения параллельных наблюдений не существовало;
- параллельные наблюдения были произведены, однако охватывали лишь ограниченный круг переменных;
- период параллельных наблюдений оказался бесполезным из-за неоднородностей в записях данных традиционной или автоматической станции в течение этого периода времени или примерно в эти сроки;
- запланированный период параллельных наблюдений был досрочно прекращен из-за недоступности старого пункта наблюдений (например, если передислокация пункта была вызвана нагрузкой на старый участок, обусловленной факторами развития, землевладелец может решить не продлевать аренду участка земли, необходимого для производства наблюдений).

В любом из этих случаев оценка влияния перехода от традиционных измерений к автоматическим становится проблемой оценки размера неоднородности с помощью метаданных (при условии, что дата установки автоматической станции известна). В этот процесс обычно вовлекаются другие станции (опорные станции), расположенные поблизости.

Урегулирование ситуаций, когда изменения происходят в большей части сети примерно в одно и то же время

Обеспечение однородности климатических данных представляет особую сложность, когда изменения происходят в значительной части национальной сети примерно в одно и то же время. Это связано с тем, что наиболее точные методы обеспечения однородности основаны на использовании данных с опорных станций (станций, которые хорошо коррелируют со станцией-кандидатом, и чьи данные, полученные в течение нескольких лет до и после появления неоднородности, могут быть использованы для выявления неоднородности и оценки ее влияния). Однако, если затронута большая часть сети, многие потенциальные опорные станции также будут затронуты и, следовательно, не дадут истинного представления о масштабе влияния неоднородности. Еще одна проблема заключается в том, что неоднородность, затрагивающая большую часть национальной сети, может быть достаточно существенной, чтобы иметь значение в национальном масштабе, хотя она незначительна в масштабах отдельно взятой станции. Например, неоднородность температуры в $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорее всего, не будет заметна на отдельной станции, но она может быть значительной в национальном масштабе (в контексте трендов в масштабе столетий порядка $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в десятилетие).

Эта проблема встает особенно остро в тех случаях, когда изменения происходят одновременно, как это может случиться, например, при изменении сроков наблюдений на национальном уровне. Изменение сроков наблюдений в Канаде в 1961 году со дня, заканчивающегося в 00:00 ВСВ, на день, заканчивающийся в 06:00 ВСВ, привело к возникновению неоднородности в значениях минимальной температуры от $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на многих станциях в восточной части Канады (Vincent et al., 2002). Такие одновременные изменения происходят реже при переходе от традиционных сетей к автоматическим, поскольку не ожидается, что все АМС в сети будут введены в эксплуатацию в один и тот же день⁸. Однако распространенный сценарий связан с переходом большого числа станций в течение периода в несколько лет, что является достаточно коротким промежутком времени для того, чтобы оказать какое-либо существенное воздействие на практику обеспечения однородности.

В случае отсутствия подходящих данных параллельных наблюдений потенциальные стратегии решения этой проблемы включают следующее:

- a) использование в качестве опорных только тех станций, которые не затронуты изменениями — в данном контексте, станции, которые сохранили традиционные наблюдения в течение всего времени, или, возможно, автоматические станции, которые были установлены за несколько лет до наступления более широких изменений в масштабах всей сети;
- b) в случае отсутствия таких опорных станций (например, поскольку была затронута вся сеть) использование независимого комплекта данных, который неким образом связан с интересующей переменной. В случае значений температуры поверхности почвы это может включать в себя данные наблюдений в соседних странах, значения температуры верхней атмосферы (например, температура на уровне 850 гПа) или температуры поверхности моря в близлежащих океанах, а в случае измерения ветра (в средних и высоких широтах) в качестве полезного косвенного показателя могут использоваться значения геострофического ветра, выведенные из данных об атмосферном давлении. Такие комплекты данных вряд ли будут достаточно хорошо согласованы друг с другом для получения практически применимых результатов в отношении конкретной станции, но могут быть полезны для оценки воздействия в национальном или региональном масштабах;
- c) проведение ретроспективного полевого испытания (или использование результатов существующего полевого испытания), в рамках которого производится сравнение

⁸ Однако бывают случаи, когда АМС становятся основным инструментом одновременно; например, в тех австралийских основных пунктах наблюдений, где производились как традиционные, так и автоматические наблюдения, данные автоматических наблюдений стали основными показаниями в отношении большинства переменных 1 ноября 1996 года.

действующих автоматических станций с копией традиционных приборов, которые эксплуатировались ранее, для выявления и количественной оценки каких-либо различий в рабочих показателях, которые затем могут быть применены в отношении тех же самых типов АМС в других местах или экстраполированы на них. Этот подход был использован в ряде исследований, направленных на оценку характеристик метеорологических будок, использовавшихся для измерения температуры в XIX веке и ранее (Brunet et al., 2006, 2011; Böhm et al., 2010).

Там, где произошли такие изменения в масштабах всей сети, лучшей практикой считается проведение оценки общего воздействия таких изменений и введение поправки на него до осуществления попыток обеспечить однородность на уровне отдельных пунктов наблюдений (Milewska and Vincent, 2016; Vincent et al., 2017).

4.5 Управление данными при переходе от традиционных наблюдений к автоматическим

Переход от традиционных наблюдений к автоматическим сопряжен с рядом проблем в области управления данными.

Рекомендуется, чтобы после перехода станции на автоматический режим ей присваивался новый идентификатор, с тем чтобы сделать это изменение как можно более прозрачным для пользователей данных. (В случае производства параллельных наблюдений в соответствии с рекомендациями необходимость в новом идентификаторе возникнет в любом случае, поскольку традиционные и автоматические станции будут функционировать одновременно в течение определенного периода времени, если только база климатических данных не будет структурирована таким образом, чтобы она могла принимать данные от нескольких датчиков в одном и том же месте).

Признается, что изменение идентификатора будет создавать проблемы в отношении некоторых применений. Например, отсутствие достаточного периода осреднения может помешать расчету климатической нормы по автоматической станции с новым идентификатором, а для получения данных долгосрочных наблюдений необходимо будет объединять данные двух или более станций с индивидуальными идентификаторами с одним и тем же общим местоположением. Наиболее оптимальной практикой в таких случаях является разработка долгосрочного однородного комплекта данных для соответствующего места. Однако, если различия между традиционными и автоматическими станциями оказались незначительными, можно будет объединить ряды данных без введения поправки на определенные применения (например, информация для населения), хотя для применений, связанных с долгосрочным изменением климата, всегда следует использовать данные, обработанные для обеспечения полной однородности.

5. ССЫЛКИ

Всемирная метеорологическая организация, 2011: *Руководство по климатологическим практикам* (ВМО-№ 100), Женева.

———, 2014: *Руководство по приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8) Женева.

Aguilar, E., P. Stepanek, V. Venema, R. Auchmann, F.D. dos Santos Silva, E. Engström, A. Gilabert, Z. Kretova, J.A. Lopez-Díaz, Y.L. Rico, C.O. Rojas, M. Prohom, D. Rasilla, M. Salvador, G. Vetacnik, Y. Yosefi and M. de los Milagros Skansi, 2015: *Biases Found in Temperature Records by the Transition from Conventional to Automatic Measurements in European and American Parallel datasets*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.

Ashcroft, L., D. Karoly and J. Gergis, 2012: Temperature variations of south-eastern Australia, 1860–2011. *Australian Meteorological Oceanographic Journal*, 62:227–245.

Bertiglia, F., G. Lopardo, A. Merlone, G. Roggero, D. Cat Berro, L. Mercalli, A. Gilabert and M. Brunet, 2015: Traceability of ground-based air-temperature measurements: a case study on the meteorological observatory of Moncalieri (Italy). *International Journal of Thermophysics*, 36:589–601, doi:10.1007/s10765-014-1806-y.

- Böhm, R., P.D. Jones, J. Hiebl, D. Frank, M. Brunetti and M. Maugeri, 2010: The early instrumental warm-bias: a solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change*, 101:41–67.
- Brandsma, T. and J.P. van der Meulen, 2008: Thermometer screen intercomparison in De Bilt (the Netherlands) – Part II: description and modelling of mean temperature differences and extremes. *International Journal of Climatology*, 28:389–400.
- Brunet, M., J. Asin, J. Sigró, M. Bañón, F. García, E. Aguilar, J.E. Palenzuela, T.C. Peterson and P. Jones: 2011. The minimisation of the screen bias from ancient Western Mediterranean air temperature records: an exploratory statistical analysis. *International Journal of Climatology*, 31:1879–1895, doi:10.1002/joc.2192.
- Brunet, M., O. Saladié, P. Jones, J. Sigró, E. Aguilar, A. Moberg, D. Lister, A. Walther, D. Lopeza and C. Almaraz, 2006: The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS) (1850–2003). *International Journal of Climatology*, 26:1777–1802.
- Claussnitzer, A., F. Maier and R. Spengler, 2015: *QualiMET2.0, the New Quality Control System of Deutscher Wetterdienst*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.
- Diamond, H.J., T.R. Karl, M.A. Palecki, C.B. Baker, J.E. Bell, R.D. Leeper, D.R. Easterling, J.H. Lawrimore, T.P. Meyers, M.R. Helfert, G. Goodge and P.W. Thorne, 2013: U.S. Climate Reference Network after one decade of operations: status and assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94:424–448, doi:10.1175/BAMS-D-12-00170.1.
- Doesken, N.J., 2005: *The National Weather Service MMTS (Maximum-Minimum Temperature System) – 20 Years After*. Thirteenth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation held at San Diego, 9–13 January 2005.
- Goodison, B.E., P.Y.T. Louie and D. Yang, 1998: *WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison (WMO/TD-No. 872)*. Geneva, World Meteorological Organization.
- Gorman, J., 2003: *AWS Determination of Dew Point in the Field*. Technical Note 2003-0001. Melbourne, Bureau of Meteorology.
- Guttman, N.B. and C.B. Baker, 1996: Exploratory analysis of the difference between temperature observations recorded by ASOS and conventional methods. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77:2865–2873.
- Hubbard, K.G. and X. Lin, 2006: Re-examination of instrument change effects in the U.S. Historical Climatology Network. *Geophysical Research Letters*, 33:L15710, doi:10.1029/2006GL027069.
- Hubbard, K.G., X. Lin, C.B. Baker and B. Sun, 2004: Air temperature comparison between the MMTS and the USCRN temperature systems. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21:1590–1597.
- Jovanovic, B., D. Collins, K. Braganza, D. Jakob and D.A. Jones, 2010: A high-quality monthly total cloud amount dataset for Australia. *Climatic Change*, 108:485–517.
- Lanza, L., M. Leroy, C. Alexandropoulos, L. Stagi and W. Wauben, 2006: *WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges (WMO/TD-No. 1304)*. Geneva, World Meteorological Organization.
- Leeper, R.D., J. Rennie and M.A. Palecki, 2015: Observational perspectives from U.S. Climate Reference Network (USCRN) and Cooperative Observer Program (COOP) Network: temperature and precipitation comparison. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 32:703–721, doi:10.1175/JTECH-D-14-00172.1.
- Lopardo, G., F. Bertiglia, S. Curci, G. Roggero and A. Merlone, 2014: Comparative analysis of the influence of solar radiation screen ageing on temperature measurements by means of weather stations. *International Journal of Climatology*, 34:1297–1310, doi:10.1002/joc.3765.
- Lucas, C., 2010: *A High-quality Historical Humidity Database for Australia*. CAWCR Technical Report 24. Melbourne, Centre for Australian Weather and Climate Research.
- Menne, M.J., C.N. Williams and R.S. Vose, 2009: The U.S. Historical Climatology Network monthly temperature data, version 2. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90:993–1007.
- Milewska, E.J. and L.A. Vincent, 2016: Preserving continuity of long-term daily maximum and minimum temperature observations with automation of reference climate stations using overlapping data and meteorological conditions. *Atmosphere-Ocean*, 54(1):32–47, doi:10.1080/07055900.2015.1135784.
- Page, C.M., N. Nicholls, N. Plummer, B. Trewin, M. Manton, L. Alexander, L.E. Chambers, Y. Choi, D.A. Collins, A. Gosai, P. Della-Marta, M.R. Haylock, K. Inape, V. Laurent, L. Maitrepierre, E.E.P. Makmur, H. Nakamigawa, N. Ouprasitwong, S. McGree, J. Pahalad, M.J. Salinger, L. Tibig, T.D. Tran, K. Vediapan and P. Zhai, 2004: Data rescue in the southeast Asia and south Pacific region: challenges and opportunities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85:1483–1489.
- Parker, D.E., 1994: Effects of changing exposure of thermometers at land stations. *International Journal of Climatology*, 14:1–31, doi:10.1002/joc.3370140102.

- Perry, M.C., M.J. Prior and D.E. Parker, 2007: An assessment of the suitability of a plastic thermometer screen for climatic data collection. *International Journal of Climatology*, 27:267–276.
- Quayle, R.G., D.R. Easterling, T.R. Karl and P.Y. Hughes, 1991: Effects of recent thermometer changes in the cooperative station network. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 72:1718–1723.
- Sevruk, B., M. Ondras and B. Chvila, 2009: The WMO precipitation measurement intercomparisons. *Atmospheric Research*, 92:376–380.
- Sieck, L.C., S.J. Burges and M. Steiner, 2007. Challenges in obtaining reliable measurements of point rainfall. *Water Resources Research*, 43:W01420.
- Stepanek, P., E. Aguilar, V. Venema, R. Auchmann, F.D. dos Santos Silva, E. Engström, A. Gilabert, Z. Kretova, J.A. Lopez-Díaz, Y.L. Rico, C.O. Rojas, M. Prohom, D. Rasilla, M. Salvador, G. Vetacnik, Y. Yosefi and M. de los Milagros Skansi, 2015: *Biases in Precipitation Records Found in Parallel Measurements*. EUMETNET Data Management Workshop held at St. Gallen, Switzerland, 28–30 October 2015.
- Sun, B., C.B. Baker, T.R. Karl and M.D. Gifford, 2005: A comparative study of ASOS and USCRN temperature measurements. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 22:679–686.
- Trewin, B.C., 2001: *The Under-reporting of Small Daily Rainfall Amounts*. Australia-New Zealand Climate Forum held at Darwin, Australia, 18–21 September 2001.
- Trewin, B.C., 2002: Extreme temperature events in Australia. PhD Thesis, *School of Earth Sciences, University of Melbourne, Australia*.
- Trewin, B.C., 2012: *Techniques Involved in Developing the Australian Climate Observations Network – Surface Air Temperature (ACORN-SAT) Dataset*. CAWCR Technical Report 49. Melbourne, Centre for Australian Weather and Climate Research.
- Venema, V., R. Auchmann, E. Aguilar, I. Auer, C. Azorin-Molina, T. Brandsma, M. Brunetti, M. Dienst, P. Domonkos, A. Gilabert, J. Lindén, E. Milewska, O. Nordli, M. Prohom, J. Rennie, P. Stepanek, B. Trewin, L. Vincent, K. Willett and M. Wolff, 2016. *A Global Database with Parallel Measurements to Study Non-climatic Changes*. European Geosciences Union General Assembly held at Vienna, Austria, 17–22 April 2016.
- Vincent, L.A., E.J. Milewska, R. Hopkinson and L. Malone, 2009: Bias in minimum temperature introduced by a redefinition of the climatological day at the Canadian synoptic stations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48:2160–2168, doi:10.1175/2009JAMC2191.1.
- Vincent, L.A., E.J. Milewska, X.L. Wang and M.M. Hartwell, 2017: Uncertainty in homogenized daily temperatures and derived indices of extremes illustrated using parallel observations in Canada. *International Journal of Climatology*, doi:10.1002/joc.5203.
- Vincent, L.A., X. Zhang, B.R. Bonsal and W.D. Hogg, 2002: Homogenization of daily temperatures over Canada. *Journal of Climate*, 15:1322–1334.
- Vuerich, E., C. Monesi, L.G. Lanza, L. Stagi and E. Lanzinger, 2009: *WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges* (WMO/TD-No. 1504). Geneva, World Meteorological Organization.
- Wendland, W.M. and W. Armstrong, 1993: Comparison of maximum-minimum resistance and liquid-in-glass thermometer records. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 10:233–237.
- Wolff, M.A., K. Iskasen, K. Ødemark, R. Brækken and A. Petersen-Øverleir, 2014: *How Much Snow is not being Measured?* WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation held at St. Petersburg, Russian Federation, 7–9 July 2014.
- World Meteorological Organization, 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-No. 1186). Geneva.
- , 2007: *Guidelines for Managing Changes in Climate Observation Programmes* (WMO/TD-No. 1378). Geneva.
- , 2010. *CIMO Survey on National Summaries of Methods and Instruments for Solid Precipitation Measurement at Automatic Weather Stations* (WMO/TD-No. 1544). Geneva.
- Zhang, X., F.W. Zwiers and G. Hegerl, 2009: The influences of data precision on the calculation of temperature percentile indices. *International Journal of Climatology*, 29:321–327.

За дополнительной информацией просьба обращаться:

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

Communication and Public Affairs Office

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14/15 – Факс: +41 (0) 22 730 80 27

Электронная почта: cra@wmo.int

public.wmo.int