

Руководящие принципы ВМО по выработке определенного набора национальной продукции климатического мониторинга

Издание 2017 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1204

Руководящие принципы ВМО по выработке определенного набора национальной продукции климатического мониторинга

Издание 2017 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1204

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-№ 1204

© 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
Эл. почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-41204-1

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.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ	vi
ВВЕДЕНИЕ	1
1. НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	3
1.1 Базовый период	3
1.2 Усреднение по площади	3
1.3 НПКМ 1: аномалия средней температуры	3
1.3.1 Основное определение	3
1.3.2 Обсуждение	3
1.4 НПКМ 2: аномалия общего количества осадков	4
1.4.1 Основное определение	4
1.4.2 Обсуждение	4
1.5 НПКМ 3: стандартизированный индекс осадков	4
1.5.1 Основное определение	4
1.5.2 Обсуждение	4
1.6 НПКМ 4: теплые дни	5
1.6.1 Основное определение	5
1.6.2 Обсуждение	5
1.7 НПКМ 5: холодные ночи	5
1.7.1 Основное определение	5
1.7.2 Обсуждение	5
1.8 НПКМ 6: ряды данных температуры и осадков	6
1.8.1 Основное определение	6
1.8.2 Обсуждение	6
1.9 Сильные стороны, условия и ограничения национальной продукции климатического мониторинга	6
2. НАЦИОНАЛЬНЫЕ КООРДИНАТОРЫ ПО НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	7
3. СОЗДАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	7
3.1 Проведение контроля качества	8
3.2 Обеспечение однородности (гомогенизация)	8
3.3 Расчет индексов по станциям	9
3.4 Расчет вариограммы	9
3.5 Интерполяция данных	11
3.6 Усреднение индексов	12
3.7 Страны с одной станцией или ограниченной сетью	12
3.8 Неприлегающие страны или страны с заморскими территориями	13
3.9 НПКМ 6: ряды температуры и осадков	13
3.10 Результат национальной продукции климатического мониторинга	14
4. ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	14
4.1 Первичная продукция	14
4.2 Ежегодные обновления	14
4.3 Ежемесячные или сезонные обновления	14
4.4 Нерегулярные обновления	15
4.5 Передаваемые данные	15
4.6 Вспомогательные данные	15
4.7 Распространение информации	16
ПРИЛОЖЕНИЕ. СПЕЦИФИКАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА	17
ССЫЛКИ	25

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Выражаем благодарность за выдающийся вклад в подготовку этой публикации:

Джону Кеннеди, Метеобюро, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии
Люси Винсент, Министерство окружающей среды и изменения климата Канады, Канада
Ладислаусу Чанге, Метеорологическое агентство Танзании, Объединенная Республика Танзания
Джессике Бланден, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы, Соединенные Штаты Америки
Карлу Браганзе, Австралийское бюро метеорологии, Австралия
Аяко Такеути, Японское метеорологическое агентство, Япония
Кендзи Камигути, Японское метеорологическое агентство, Япония
Акихико Симпо, Японское метеорологическое агентство, Япония
Андреа Рамос, Национальный метеорологический институт, Бразилия
Фатиме Дриуэш, Национальная метеорологическая служба, Марокко

Также внесли вклад в разработку концепции национальной продукции климатического мониторинга или помогли проверять настоящую публикацию:

Дерек Арндт, Соединенные Штаты Америки
Омар Баддур, ВМО
Притхивирадж Буниди, Маврикий
Ольга Булыгина, Российская Федерация
Месут Демиркан, Турция
Пер Хехлер, ВМО
Томас Петерсон, Соединенные Штаты Америки
Штефан Резнер, Германия
Мохамед Семави, Иордания
Эндрю Уоткинс, Австралия

ВВЕДЕНИЕ

В связи с воздействием изменчивых и изменяющихся климатических условий на общество и экосистемы страны всего мира разработали разнообразные виды продукции климатического мониторинга в различных пространственно-временных масштабах. Национальная продукция климатического мониторинга (НПКМ) — это продукция, которая определенным образом суммирует климатические условия в национальном масштабе и показывает, как текущие условия соотносятся с прошлыми.

Эта НПКМ обеспечивает регулярное предоставление последовательной и сопоставимой информации о состоянии климата. Она приносит пользу в масштабах отдельных стран, т. к. повышает уровень информированности и понимания последствий изменчивости и изменения климата, а также важности национальных служб и сетей мониторинга климата. Она может помочь установить связь между изменениями климата (будь то естественные или антропогенные) и их воздействием, помещая в контекст текущие явления, пока они все еще свежи в памяти каждого. Мониторинг может также служить средством выявления более долгосрочных аномалий, таких как засуха, по мере их возникновения. Кроме того, продукция климатического мониторинга полезна для понимания сезонных прогнозов, поскольку она задает отправную точку для развития условий в следующем сезоне.

На региональном и международном уровнях НПКМ содействуют синтезу поступающей из различных стран информации и обеспечивает более широкое региональное или глобальное представление об изменчивости и изменении климата. Такие резюме регулярно публикуются в таких резонансных ежегодных публикациях, как [Заявление ВМО о состоянии глобального климата](#), и в [докладах о состоянии климата Бюллетеня Американского метеорологического общества \(БАМС\)](#). Стандартизированные индексы изменения климата также использовались в [оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата](#). Страны, которые регулярно производят стандартную продукцию мониторинга климата, имеют готовую платформу для укрепления своего национального потенциала и более широкого понимания своего климата.

Во всем мире производится широкий спектр продукции мониторинга климата, и существует множество несоответствий между методами, используемыми в разных странах. Несогласованность затрудняет или делает невозможным проведение сравнений между видами продукции и, следовательно, между странами и регионами. Это ограничивает их полезность.

Для решения проблем несогласованности и предоставления инструментов, с помощью которых страны с менее развитым потенциалом могли бы воспользоваться преимуществами регулярного национального мониторинга климата, Комиссия ВМО по климатологии разработала короткий список основных, четко определенных видов НПКМ. Они приведены в главе 1 ниже.

Целью данной публикации является предоставление спецификации для короткого списка НПКМ, который может быть подготовлен последовательно и легко большинством стран. Четко определив НПКМ, страны с ограниченными ресурсами должны иметь возможность сосредоточить свои усилия на небольшом количестве продуктов, которые имеют широкую применимость и интерес.

Глава 1 настоящих руководящих принципов описывает каждый из видов НПКМ, дает их базовые определения и обеспечивает основу, необходимую для их понимания. В главе 2 описывается важная роль, которую играют координаторы по НПКМ, отвечающие на национальном уровне за обеспечение расчета и распространения НПКМ. В главе 3 представлен предлагаемый стандартный способ расчета НПКМ. В главе 4 подробно говорится о том, как и в какой форме НПКМ должны производиться и распространяться. Подробные спецификации программного обеспечения, включая форматы передачи

НПКМ, приведены в дополнении, в котором описаны все шаги, необходимые для расчета НПКМ, что позволит национальным метеорологическим и гидрологическим службам разрабатывать собственное программное обеспечение.

1. **НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

1.1 **Базовый период**

Для обеспечения сопоставимости национальной продукции климатического мониторинга (НПКМ) между странами необходимо иметь единый базовый период. Базовый период также может облегчить расчеты НПКМ и обеспечить фиксированный период, в течение которого можно оценивать изменения климата.

Такой базовый период часто называют климатической нормой. Для оперативного мониторинга климата в руководящих указаниях ВМО по расчету стандартных климатических норм рекомендуется скользящий 30-летний период, обновляемый каждые 10 лет (ВМО, 2017). На момент написания настоящей публикации самым последним является период 1981—2010 годов, за которым с 2021 года последует период 1991—2020 годов и так далее. Стандартная климатологическая норма принята для расчета НПКМ и далее в тексте называется «базовый период».

В настоящих руководящих принципах часто используется термин «аномалия». Аномалия — это разница между измерением и средним значением базового периода.

1.2 **Усреднение по площади**

В приведенных ниже определениях осредненные по площади значения предполагается основывать на значениях, сопоставимых с индексами, рассчитанными на уровне станции. Например, в методе, описанном в главе 3, индексы рассчитываются для каждой станции, а затем значения индексов интерполируются на обычную сетку, которая затем используется для расчета среднего значения этого индекса по стране.

1.3 **НПКМ 1: аномалия средней температуры**

1.3.1 **Основное определение**

НПКМ 1 — это аномалия средней температуры. Это аномалия средней температуры для каждого месяца и года, усредненная по стране. Единицы — градусы Цельсия.

1.3.2 **Обсуждение**

Аномалия средней температуры является мерой общей теплоты или холода по отношению к нормальным условиям. Это стандартный показатель, используемый для мониторинга изменения климата и широко применяемый в отчетах по мониторингу. Аномалия глобальной средней температуры, представляющая собой совокупность местных и региональных температурных аномалий, является одним из наиболее широко используемых и узнаваемых показателей климатологии. Национальный мониторинг аномалии средней температуры важен для понимания относительной значимости межгодовой изменчивости и долгосрочных изменений, вызванных деятельностью человека.

Экспертная группа по национальным видам продукции климатического мониторинга Комиссии ВМО по климатологии провела опрос с целью оценки возможностей стран по производству НПКМ. Большинство стран регулярно проводят измерение и контроль качества (КК) данных о температуре. Карты и временные ряды температурных аномалий также составляются многими странами и обычно указываются в сводных докладах, таких как [доклады о состоянии климата БАМС](#), [Заявление ВМО о состоянии глобального климата](#) и [оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата](#).

Изменения средней температуры не позволяют провести различия между изменчивостью максимальных температур и изменчивостью минимальных температур. Изменчивость

аномалий средней температуры также варьируется в зависимости от месторасположения, а в некоторых местах, от сезона. Например, в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии изменчивость температуры в зимние месяцы обычно выше, чем в летние.

1.4 **НПКМ 2: аномалия общего количества осадков**

1.4.1 **Основное определение**

НПКМ 2 — это аномалия количества осадков для каждого месяца и года, рассчитываемая двумя способами: а) как простое отклонение от среднего значения за базовый период, усредненного по стране, и б) как простое отклонение от среднего значения за базовый период, выраженное в процентах от среднего значения базового периода, усредненного по стране. Единицы — миллиметры и проценты.

1.4.2 **Обсуждение**

Оба типа аномалий осадков являются стандартными показателями для мониторинга изменчивости и изменения климата. Экстремальное количество осадков может привести к засухе или наводнению. Даже менее экстремальные случаи колебания осадков могут повлиять на сельское хозяйство, здравоохранение, туризм и другие важные отрасли. Аномалии осадков широко используются в отчетах по мониторингу. Национальный мониторинг аномалий осадков важен для понимания относительной значимости межгодовой изменчивости и более долгосрочных изменений.

Большинство стран регулярно проводят [измерение и контроль качества данных об осадках](#). Карты и временные ряды также составляются многими странами и обычно указываются в сводных отчетах, таких как [доклады о состоянии климата БАМС](#), [Заявление ВМО о состоянии глобального климата](#) и [оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата](#).

В районах, где среднее количество осадков невелико, на отдельных станциях могут быть зарегистрированы высокие процентные показатели, вызванные чрезмерно локализованным выпадением осадков. Хотя метод, используемый для интерполяции данных, частично учитывает неравномерность пространственной выборки, в странах с разрозненными сетями измерений могут возникнуть проблемы. Данная трудность может быть частично компенсирована путем включения в отчет НПКМ средней аномалии, выраженной в виде простой разницы.

1.5 **НПКМ 3: стандартизированный индекс осадков**

1.5.1 **Основное определение**

НПКМ 3 — это стандартизированный индекс осадков (СИО). Это основанная на процентиле мера стандартизированной аномалии осадков для каждого месяца и года, усредненная по стране. НПКМ 3 является безразмерной, и поэтому не имеет единиц измерения.

1.5.2 **Обсуждение**

Этот индекс является стандартным показателем, используемым для мониторинга осадков и засухи. Экстремальное количество осадков может привести к засухе или наводнению. Даже менее экстремальные случаи колебания осадков могут повлиять на сельское хозяйство, здравоохранение, туризм и другие важные отрасли. Стандартизация означает, что СИО адаптирован к климатическим условиям на конкретной станции. Это способ сравнения «необычности» осадков на станциях из разных климатических зон

внутри страны и между странами, где среднее значение и изменчивость осадков могут существенно различаться. Например, показатель СИО, равный 2 или выше, означает, что такое количество осадков выпадает примерно в 5 % случаев, независимо от местных условий. В *Справочнике по показателям и индексам засушливости* (ВМО/ПГП, 2016) этот индекс, указывающий на периоды необычно низкого количества осадков для региона, определен в качестве отправной точки для метеорологического мониторинга засухи.

Измерения осадков используются для расчета СИО. Большинство стран регулярно проводят [измерение и контроль качества данных об осадках](#). Карты СИО также составляются многими странами и используются в сводных отчетах, таких как [доклады о состоянии климата БАМС](#), [Заявление ВМО о состоянии глобального климата](#) и [оценочные доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата](#).

1.6 **НПКМ 4: теплые дни**

1.6.1 **Основное определение**

НПКМ 4 — это индекс теплых дней. Это показатель процента дней в каждом месяце и году, которые превысили девяностый перцентиль распределения за базовый период для максимальных температур за день в среднем по стране. Единица — процент дней.

1.6.2 **Обсуждение**

Количество теплых дней чувствительно к событиям с высоким воздействием, таким как волны тепла, и имеет отношение к сезонно меняющимся климатическим условиям на каждой станции. Это способ сравнения станций из разных климатических зон внутри страны и между странами. Данная НПКМ запечатлевает некоторую информацию об умеренных экстремальных температурных явлениях на значительной части территории страны. Это стандартный индекс, производимый программным индексом «RCLIMDEX» (созданным Экспертной группой по обнаружению и индексам изменения климата (ЭГОИИК)). Индексы «RCLIMDEX» широко используются в научных отчетах, включая доклады МГЭИК. Они обеспечивают последовательный способ мониторинга возникновения и изменения частоты умеренных экстремальных явлений.

1.7 **НПКМ 5: холодные ночи**

1.7.1 **Основное определение**

НПКМ 5 — индекс холодных ночей. Это показатель процента дней в каждом месяце и году, которые опускаются ниже десятого перцентиле распределения минимальных температур за день за базовый период в среднем по стране. Единица — процент дней.

1.7.2 **Обсуждение**

Количество холодных дней чувствительно к событиям с высоким воздействием, таким как волны холода, и имеет отношение к сезонно меняющимся климатическим условиям на каждой станции. Это способ сравнения станций из разных климатических зон внутри страны и между странами. Это стандартный индекс, производимый программным индексом «RCLIMDEX» (созданный ЭГОИИК). Индексы «RCLIMDEX» широко используются в научных отчетах, включая доклады МГЭИК. Они обеспечивают последовательный способ мониторинга возникновения и изменения частоты умеренных экстремальных явлений.

1.8 **НПКМ 6: ряды данных температуры и осадков**

1.8.1 **Основное определение**

НПКМ 6 предоставляет простой подсчет количества станций с продолжительностью рядов более 30 лет, которые содержат данные о самой высокой зарегистрированной дневной максимальной температуре, самой низкой зарегистрированной дневной минимальной температуре и самой высокой зарегистрированной дневной сумме осадков за каждый месяц и год. Ряды для каждого элемента рассчитываются отдельно.

1.8.2 **Обсуждение**

Цель — отметить исключительные события, то есть события, которые часто имеют экстремальные последствия. Как высокие, так и низкие экстремальные температуры могут привести к целому ряду проблем со здоровьем, а в самых тяжелых случаях — к смерти. Большое количество осадков может привести к наводнениям и связанным с ними последствиям, включая повреждение урожая, разрушение инфраструктуры, а также переселение и гибель людей. Подобные экстремальные явления могут быть очень локализованными, поэтому данный НПКМ основан на записях на станциях без агрегирования.

НПКМ 6 не может охарактеризовать или определить весь спектр экстремальных явлений, которые влияют на страны и людей во всем мире, включая тропические штормы, торнадо, град, молнии, наводнения, пыльные бури, ветровые бури, порывы ветра или тепловой стресс. Выбор был сделан в пользу экстремальных значений температуры и осадков, поскольку они широко измеряются.

1.9 **Сильные стороны, условия и ограничения национальной продукции климатического мониторинга**

НПКМ, предоставляющие информацию на уровне страны, характеризуются некоторыми очевидными ограничениями и сильными сторонами. Наиболее очевидным ограничением является то, что многие страны охватывают несколько климатических зон. Климат в пределах одной страны может различаться, и порой в значительной степени. Таким образом, при расчете НПКМ будет потеряна информация о конкретном регионе, особенно в случае усреднения осадков на крупных территориях. Это уравнивается тем фактом, что через усреднение местных колебаний температуры и осадков, НПКМ увеличивает соотношение сигнал — шум для обнаружения изменений климата во времени, хотя это более актуально для температуры, чем для осадков. Для понимания этих изменений важны длинные ряды исторических данных, которые обеспечивают контекст для текущих условий. Кроме того, агрегирование информации на большой территории способно снизить влияние ошибки измерения (которая присутствует даже в самой совершенной сети измерений) и обеспечить надежную основу для понимания долгосрочных изменений.

Хотя страна не всегда является целостной климатической единицей, она обычно является целостной психологической или административной единицей. Представители всех слоев общества привыкли размышлять на этом уровне по многим другим показателям; валовой внутренний продукт, производство сельскохозяйственных культур, изменение численности населения и другие показатели регулярно рассчитываются и с большим интересом обсуждаются на национальном уровне. Настоящие руководящие принципы могут быть легко адаптированы для предоставления информации для различных климатических зон в пределах страны с целью более полного понимания, а также создания НПКМ.

Особые трудности возникают при расчете НПКМ для небольших стран и малых островных государств, где количество станций и охват могут быть ограничены. С учетом этого в настоящем руководстве представлены специальные положения для небольших стран или островных государств (см. раздел 3.7).

2. **НАЦИОНАЛЬНЫЕ КООРДИНАТОРЫ ПО НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Национальные координаторы по НПКМ отвечают за содействие при расчете НПКМ на национальном уровне и за распространение НПКМ. Членам ВМО было предложено назначить координатора по НПКМ в соответствии со следующим кругом ведения:

- сотрудничество по выявлению существующих национальных источников для различных видов продукции климатического мониторинга и связанных с ними возможностей, а также связанных с ними потребностей в области подготовки кадров и наращивания потенциала;
- повышение осведомленности персонала национальных метеорологических и гидрологических служб и других заинтересованных сторон о необходимости и важности НПКМ;
- помощь в расчете НПКМ, включая их распространение по согласованным протоколам;
- подготовка и предоставление обратной связи о сложностях и потребностях в совершенствовании на основании подготовки и распространения НПКМ.

Координаторы по НПКМ, как ожидается, должны обладать знаниями о национальных климатических данных и деятельности в области мониторинга климата. Базовые знания статистики будут полезны, но не являются обязательным условием. Желательно, чтобы координаторы были ознакомлены с руководящими принципами, изложенными в данной публикации и в приложении, касающемся расчета НПКМ.

3. **СОЗДАНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Процедура, подробно описанная в данной главе и в приложении, была разработана для обеспечения последовательного способа расчета НПКМ, определенных в главе 1.

Следует отметить, что данный метод не является единственным способом, позволяющим создать НПКМ, соответствующие основным определениям, приведенным в главе 1. Некоторые страны, возможно, уже располагают средствами для расчета НПКМ, соответствующих упомянутым определениям, или имеют существующие системы, которые могут быть адаптированы для этого. В подобных случаях, принимая во внимание то, что внедрение новых систем может оказаться ненужным бременем или что расчет альтернативных индексов для одного и того же показателя может привести к путанице, использование существующих систем и методов может стать практичной альтернативой. Однако для целей отчетности и распространения информации во всех случаях необходимо придерживаться формата выходных данных, описанного в приложении.

Основная процедура, которая является общей для НПКМ 1—5, заключается в расчете набора месячных индексов для каждой станции, используемой в расчетах, после чего производится интерполяция значений станции для каждого месяца с помощью обычного кригинга (стандартный метод в геонауках; см., например, Cressie, 1993) для получения пространственно полного анализа на регулярной сетке. Затем пространственно полный анализ усредняется по территории, охватываемой страной, для расчета НПКМ за определенный месяц. Таким образом, месяц за месяцем выстраивается временной ряд, который может быть использован для изучения изменения климата во времени и добавления каждого месяца в исторический контекст.

Основными этапами расчета НПКМ 1—5 являются:

- 1) проведение КК ежедневных данных температуры и осадков по станции;

- 2) учет однородности данных на каждой станции;
- 3) формирование индексов на всех станциях за каждый месяц и год;
- 4) интерполяция данных по всем индексам для каждого месяца и года;
- 5) усреднение каждого индекса по стране с использованием интерполированных данных;
- 6) выведение результатов НПКМ.

НПКМ 6 просто сообщает о ежедневных рядах температуры и осадков и описывается отдельно.

Подробные инструкции по расчету индексов и выполнению интерполяции приведены в приложении. В следующих разделах описана процедура необходимой предварительной обработки, а затем приведены шаги 3—6 на примере осадков Австралии.

3.1 Проведение контроля качества

Выполнение КК является важной ступенью в процессе анализа данных. Цель состоит в том, чтобы убедиться, что данные не загрязнены ошибочными значениями и отвечают основным требованиям анализа.

Определение общих методов проведения КК выходит за рамки данного руководства. Тем не менее при расчете НПКМ рекомендуется проведение КК данных до их использования. (Дальнейшие указания см., например, ВМО, 1986, 1993, 2007, 2011, 2013, 2014).

Следует отметить, что ни одна процедура КК не является совершенной и что некоторые виды ошибок в данных не сразу заметны при первой обработке. Входные и выходные данные должны проверяться после каждого существенного этапа обработки.

3.2 Обеспечение однородности (гомогенизация)

Основная трудность точной оценки долгосрочных тенденций заключается в том, что инструментальные наблюдения, включая осадки и температуру, могут со временем подвергаться влиянию факторов, не связанных с климатом. Эти влияния, не связанные с климатом, включают перемещение станций наблюдений, изменение экспозиции из-за перемен в окружающей станции среде и новые методы наблюдений, такие как автоматизация наблюдений. Неучет данных изменений может привести к появлению неклиматических артефактов в данных и повлиять на ожидаемые долгосрочные тенденции. Процесс оценки и уменьшения влияния неклиматических изменений известен как процесс обеспечения однородности (гомогенизация).

Процесс гомогенизации является сложным и выходит за рамки данной публикации. (Дальнейшее руководство см., например, ВМО, 2003). Тем не менее при расчете НПКМ рекомендуется проведение КК данных до их использования. Альтернативой является оценка однородности каждой станции и использование только тех участков данных станции, которые не содержат неоднородностей. Программное обеспечение RH-test (ВМО, 2003), разработанное ЭГОИИК и используемое на семинарах ЭГОИИК, может быть использовано для оценки однородности данных станции, однако существует множество других методов.

Если данные были гомогенизированы, это должно быть отмечено в метаданных НПКМ путем установки соответствующего флажка гомогенизации на 1 (см. раздел 4.5 ниже). В случае если данные не были гомогенизированы, соответствующий флажок гомогенизации устанавливается на 0. Необходимо наличие отдельных флажков для данных о температуре и данных об осадках.

3.3 Расчет индексов по станциям

Индексы формируют основу для следующих этапов. Необходим расчет шести различных индексов (аномалия средней температуры, аномалия осадков в процентах, аномалия осадков, СИО, процент теплых дней и процент холодных ночей). Каждый индекс необходимо рассчитывать отдельно для каждой станции. В австралийском примере станции, используемые для иллюстрации этапов расчета НПКМ, изображены на рисунке 1. Данные с этих станций уже прошли КК и были гомогенизированы.

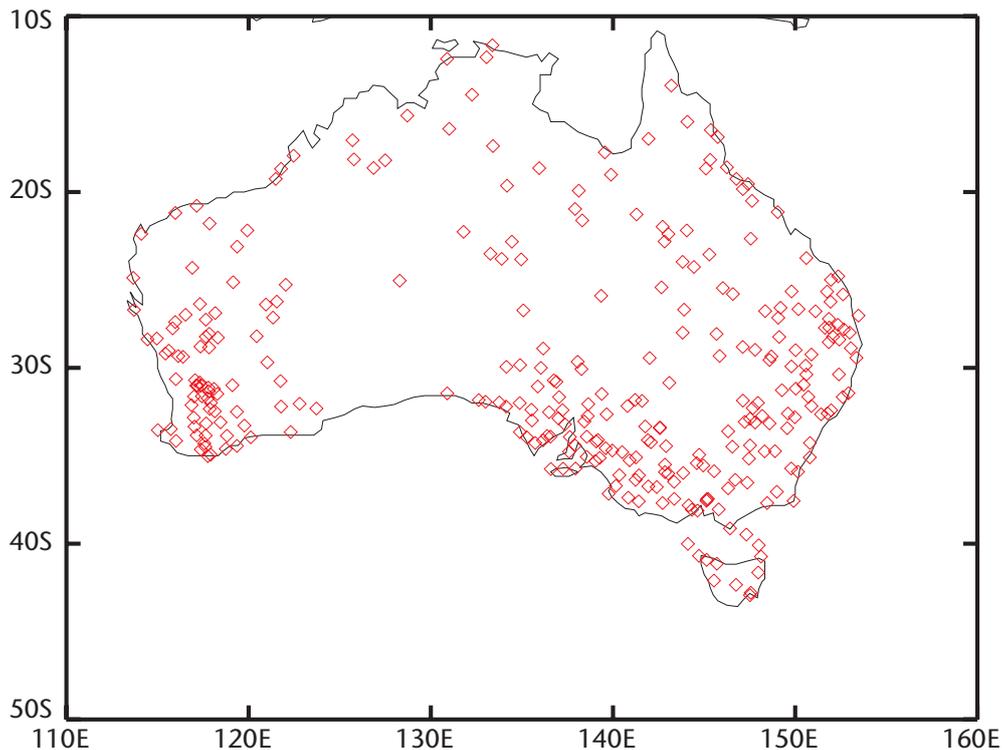


Рисунок 1. Расположение станций, использованных для иллюстрации расчета НПКМ (красные ромбы) в Австралии

Источник: Метеобюро, СК, используемые данные получены Австралийским бюро метеорологии

3.4 Расчет вариограммы

Вариограмма описывает, насколько ожидаемо изменение показателя (например, аномалия средней температуры) при удалении от места (Cressie, 1993). Она отражает логику, согласно которой погодные условия в точках, расположенных близко друг к другу, более тесно связаны между собой, чем условия в точках, расположенных далеко друг от друга.

Вариограмма получается путем построения графика половины квадрата разности в показателе на всех парах станций как функции расстояния между ними и последующего усреднения разностей по регулярным участкам. Это называется эмпирической вариограммой. Она всегда положительна и обычно небольшая при малой удаленности и крупная при большой удаленности. Схематичный пример показан на рисунке 2.

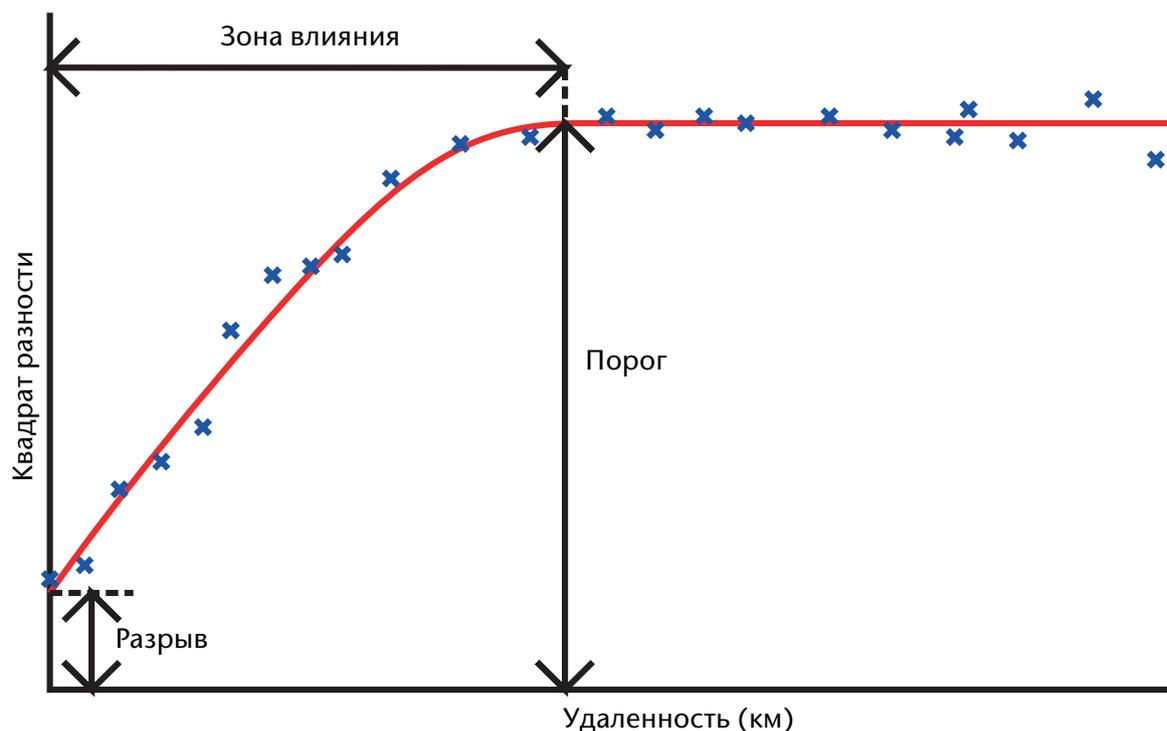


Рисунок 2. Схематическая вариограмма с указанием зоны влияния, разрыва и порога

Источник: Метеобюро, СК

Эмпирическая вариограмма часто интерпретируется с помощью трех параметров: разрыв, зона влияния и порог. Разрыв — это значение вариограммы при нулевом удалении. Он представляет собой влияние ошибки в измерениях на различия между значениями на станциях. Порог представляет собой дисперсию разницы между значениями станций на расстояниях, которые достаточно велики, чтобы значения были эффективно несвязаны или некоррелированы. Зона влияния — это показатель расстояния удаления, при котором квадрат разности впервые достигает порога. Этот показатель также связан с масштабом длины корреляции. Примеры эмпирических вариограмм для станций, представленных на рисунке 1, отмечены черным цветом на рисунке 3.

Для выполнения интерполяции необходима функция, которая может представить возможный вид вариограммы при любом удалении. Это определяется путем подбора определенной функциональной модели вариограммы к эмпирической вариограмме. Функциональные вариограммы, подобранные к данным, изображены на рисунке 3 в виде красных линий. Для каждого показателя, а также для каждого календарного месяца и для года в целом должна быть рассчитана отдельная модель вариограммы. 12 панелей на рисунке 3 соответствуют 12 календарным месяцам. 12-месячные вариограммы демонстрируют, что изменчивость осадков меняется в зависимости от сезона. Эмпирическая вариограмма (черным цветом) часто начинает опускаться при большой удаленности станций, например, между апрелем и ноябрем в показанном примере. Это нормально, и только первая часть вариограммы, представленная подъемом и плато, моделируется функциональной вариограммой (красным цветом).

Надежная модель вариограммы, как правило, может быть рассчитана только при наличии более 10 станций. В большинстве случаев странам с менее чем 10 станциями придется либо использовать предварительно рассчитанную вариограмму, либо использовать общие данные из соседних стран, если таковые имеются. Для стран с одной станцией или ограниченной сетью см. раздел 3.7. Может случиться и так, что в вариограмме нет четкой закономерности, даже если станций более 10. Подобное может произойти, если в данных присутствуют резко отклоняющиеся значения, или станции настолько удалены друг от друга, что климатические условия на каждой из них некоррелированы. В таких случаях также рекомендуется использование предварительно рассчитанной вариограммы.

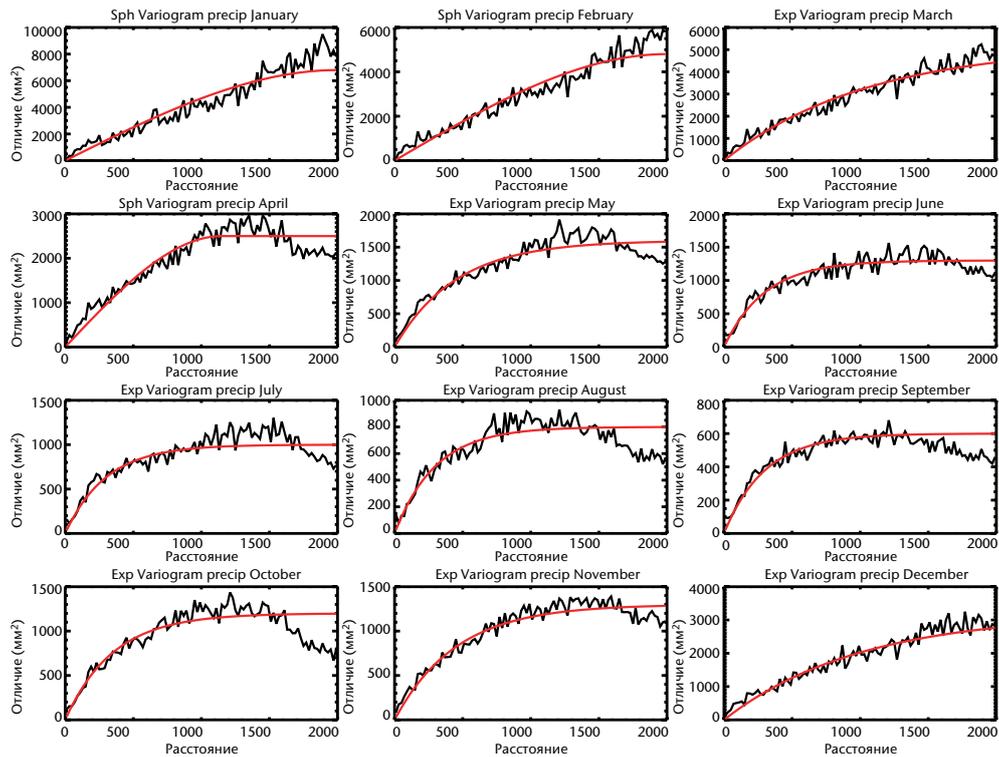


Рисунок 3. Выборочные вариограммы осадков на территории Австралии для каждого месяца с января (вверху слева) по декабрь (внизу справа). Черные линии — эмпирические вариограммы. Красные линии — функциональные вариограммы. Средние различия обычно остаются небольшими при малом расстоянии между станциями и возрастают по мере увеличения данного расстояния.

Источник: Метеобюро, СК, используемые данные получены Австралийским бюро метеорологии

3.5 Интерполяция данных

Метод оценки среднего национального индекса (например, аномалии средней температуры) представляет собой пространственную интерполяцию индексов, полученных на станциях по всей стране. Интерполированная карта индекса полезна для понимания того, как связаны колебания на местном и национальном уровнях, а также для выявления районов внутри страны, где условия были более экстремальными. Это может быть полезно, например, при составлении карты территории, пострадавшей от аномальной жары или сильного дождя.

Метод интерполяции, предложенный в этих рекомендациях, называется обычным кригингом (Cressie, 1993) и широко используется в геостатистике. Этот метод естественным образом учитывает неравномерное распределение станций и дает разумную, хотя и не идеальную, оценку того, каким был бы индекс в промежуточных точках. Здесь используется обычный кригинг для оценки значения индекса в точках на регулярной сетке широта-долгота, охватывающей страну. Разрешение сетки должно быть достаточно высоким для того, чтобы границы и береговые линии страны были достаточно четко очерчены.

На рисунке 4 показан пример интерполированного поля аномалий осадков на территории Австралии в январе 2010 года. Интерполированные поля в целом несколько более гладкие, чем можно было бы ожидать, учитывая записи отдельных станций. Использовалась сетка с разрешением $0,1^\circ$ по широте и $0,1^\circ$ по долготу. Обратите внимание, как сетка четко следует очертаниям береговой линии. Использование слишком грубой сетки приводит к ошибкам в оценке средней площади из-за сложности решения вопросов о том, следует ли отнести ячейку сетки к суше или морю или о том, расположена ли она внутри или вне границ страны.

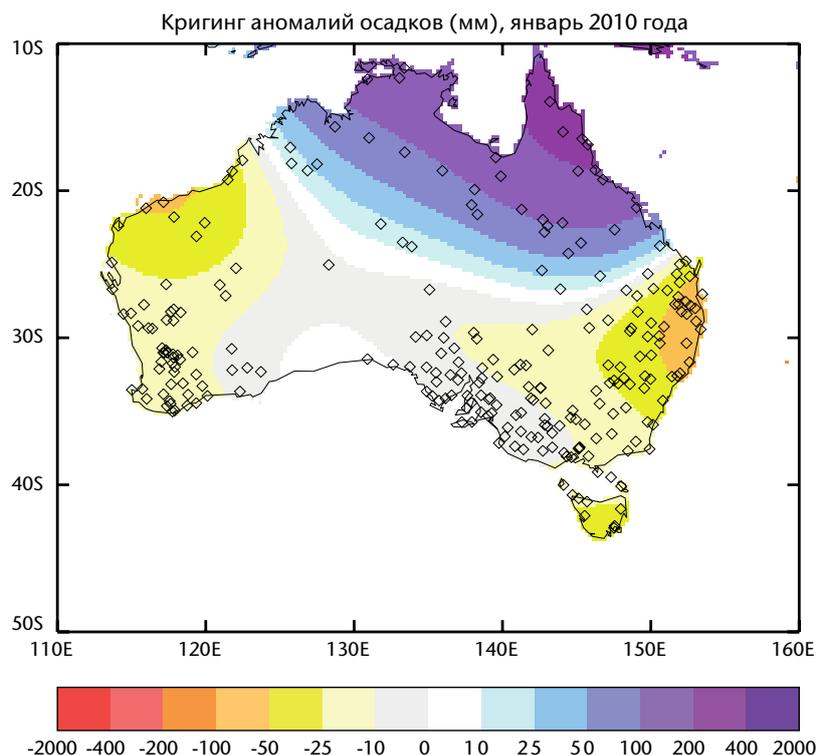


Рисунок 4. Расположение станций (черные ромбы) и интерполированные аномалии осадков (в мм) на территории Австралии в январе 2010 г.

Источник: Метеобюро, СК, используемые данные получены Австралийским бюро метеорологии

3.6 Усреднение индексов

Последним шагом в расчете НПКМ является расчет среднего значения по району. Последнее достигается путем исключения всех ячеек сетки, которые находятся за пределами границ страны с последующим вычислением средневзвешенного по площади среднего значения оставшихся ячеек. В примере, показанном на рисунке 4, на севере за пределами Австралии существуют районы, для которых были рассчитаны интерполированные значения. Данные значения были исключены перед расчетом австралийской НПКМ. Этапы интерполяции и усреднения должны быть повторены для каждого месяца и года с имеющимися данными хотя бы одной станции. Таким образом, можно построить временной ряд НПКМ, подобный показанному на рисунке 5.

3.7 Страны с одной станцией или ограниченной сетью

Для стран с ограниченной сетью станций существует несколько возможных способов расчета НПКМ. В случае если необходимые данные доступны на станциях соседних стран, они могут быть использованы для дополнения сети станций внутри страны. (Даже страны с высокой плотностью сети станций могут извлечь пользу от использования станций в соседних странах. Использование данных из соседних стран поможет улучшить процесс интерполяции полей вдоль границ). Расчет вариограммы и интерполяции будет происходить, как описано выше. Альтернативой является использование стандартных форм функциональной вариограммы.

Если в стране имеется одна станция и использование данных с соседних станций невозможно, то среднее значение по территории страны за определенный месяц, сезон или год будет равно значению индекса на станции за тот же период.

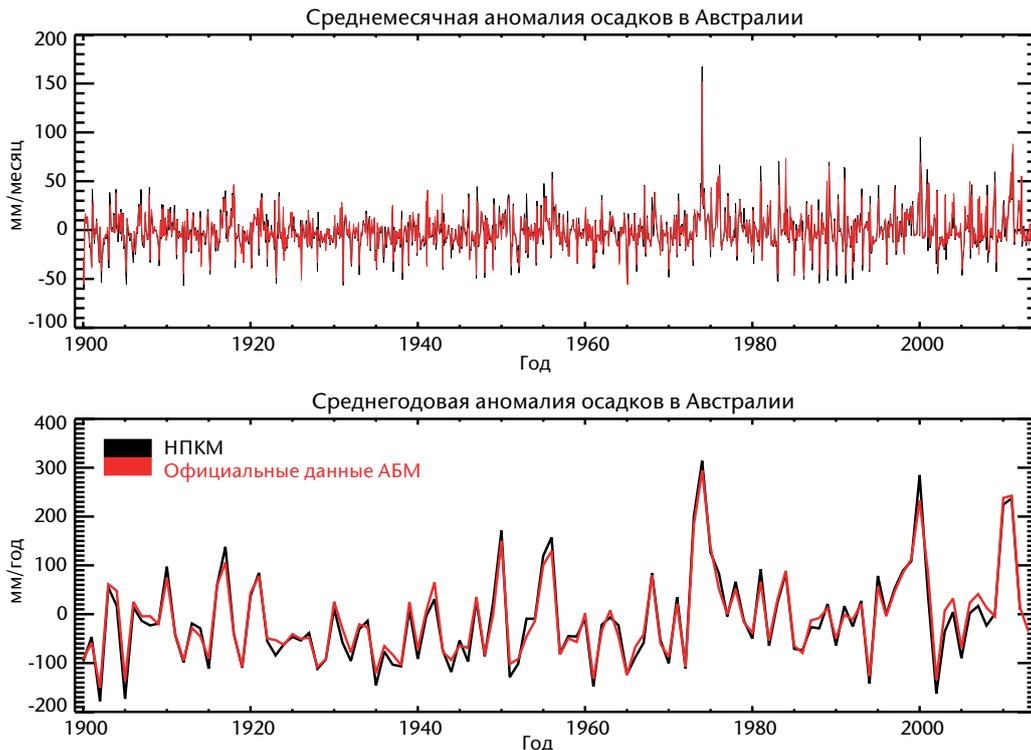


Рисунок 5. Временные ряды аномалий среднего по стране количества осадков (в мм) на территории Австралии в примере НПКМ 2. Месячный ряд показан на верхней панели черным цветом, а годовой ряд — на нижней панели черным цветом. Официальные ряды Австралийского бюро метеорологии (АБМ) представлены красным цветом для сравнения.

Источник: Метеобюро, СК, используемые данные получены Австралийским бюро метеорологии

3.8 **Неприлегающие страны или страны с заморскими территориями**

Некоторые страны, например, Соединенные Штаты Америки, являются неприлегающими. Это означает, что эта страна не состоит из единого, непрерывного массива суши. США включает в себя Аляску, отделенную от остальной части страны Канадой, а также острова, такие как Гавайи. В подобных случаях однозначное руководство может отсутствовать, и решение о том, какое сочетание элементов суши формирует значимый средний показатель, остается на усмотрение координатора НПКМ. В случае США статистические данные обычно приводятся отдельно для прилегающей части страны и Аляски.

3.9 **НПКМ 6: ряды температуры и осадков**

НПКМ 6 предназначена для регистрации некоторых экстремальных явлений, происходящих в течение определенного месяца или года. НПКМ 6 учитывает три пункта:

- 1) количество станций с продолжительностью рядов более 30 лет, на которых была зарегистрирована самая высокая суточная температура (максимальная температура, T_{max}) в течение данного периода по сравнению со всеми предыдущими эквивалентными периодами;
- 2) количество станций с продолжительностью рядов более 30 лет, на которых была зарегистрирована самая низкая суточная температура (минимальная температура, T_{min}) в течение данного периода по сравнению со всеми предыдущими эквивалентными периодами;

14 РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВМО ПО ВЫРАБОТКЕ ОПРЕДЕЛЕННОГО НАБОРА НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

- 3) количество станций с продолжительностью рядов более 30 лет, на которых было зарегистрировано наибольшее количество суточных осадков в течение данного периода по сравнению со всеми предыдущими эквивалентными периодами.

НПКМ 6 предназначена для указания факта наличия экстремальных явлений, однако сама по себе она не может предоставить развернутого отчета о том, что именно произошло. Координатор должен быть в состоянии предоставить дополнительный контекст этих явлений. В частности, координатор должен иметь доступ к названиям и местоположению станций, сообщающих о рекордных температурах или осадках, а также к дате рекордной отметки и ее обновленному значению.

3.10 **Результат национальной продукции климатического мониторинга**

После расчета НПКМ 1—5 необходимо вывести результаты в стандартном формате. Точный формат описан в приложении.

4. **ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Как на национальном, так и на международном уровне, НПКМ предназначена для сравнения и формирования основы для текущей деятельности по мониторингу климата.

4.1 **Первичная продукция**

При первом подсчете НПКМ необходимо рассчитать НПКМ каждого месяца, для которого имеются данные станции. После расчета НПКМ должна появиться возможность сохранить некоторые части обработанных данных (например, вариограммы) для ускорения производства регулярных обновлений. Расчет вариограмм производится только один раз, после чего они могут использоваться повторно, за исключением случаев внесения серьезных изменений в исторические данные, используемые для их расчета, включая обновление базового периода.

4.2 **Ежегодные обновления**

Предполагается, что первоначально НПКМ будут обновляться ежегодно, а по мере совершенствования опыта и повышения эффективности процесса перейдут к более своевременному графику обновления — ежемесячному или сезонному. Если в течение базового периода в данных станции или сети не произошло серьезных изменений, перерасчет вариограммы для регулярных обновлений не требуется.

При выполнении ежегодных обновлений необходима проверка отсутствия изменений в базовом периоде. На момент написания статьи базовым периодом считается промежуток с 1981 до 2010 года, а при наступлении периода с 1991 до 2020 года, НПКМ необходимо будет пересчитать с самого начала.

4.3 **Ежемесячные или сезонные обновления**

При реализации ежемесячных или сезонных обновлений необходимо проводить КК и обработку только ограниченного числа месяцев — как правило, тех, которые были добавлены с момента последнего обновления. Обычно это один месяц или сезон, но в случаях, когда обработка данных (например, проведение КК) занимает больше времени,

может потребоваться повторная обработка сразу нескольких месяцев. Если в течение базового периода в данных станции не произошло серьезных изменений, перерасчет вариограммы для регулярных обновлений не требуется.

4.4 Нерегулярные обновления

Обновления могут потребоваться в другие периоды, не упомянутые выше. Например, перерасчет НПКМ рекомендуется при внесении значительных изменений (пересмотр, добавление или удаление) в данные станции или сети, или при совершенствовании методов обеспечения однородности или КК. Необходима периодическая проверка однородности. Кроме того, со временем могут произойти обновления существующих рекомендаций или программного обеспечения, разработанного на их основе, что также потребует перерасчета НПКМ.

4.5 Передаваемые данные

Точный формат каждой НПКМ приведен в приложении. В нем содержится следующая информация, необходимая для понимания НПКМ:

- год;
- месяц;
- страна;
- значение НПКМ с указанием соответствующих единиц измерения;
- в случае НПКМ 6 необходимо указание количества станций, превышающих суточные рекорды;
- количество станций, сообщающих обо всех элементах, использованных в данном месяце для расчета НПКМ;
- флажок [0,1], указывающий на наличие однородности использованных данных станции;
- флажок [0,1] указывающий на факт проведения КК используемых данных станции;
- базовый период (на момент написания статьи актуальным для всех случаев является период с 1981 до 2010 года);
- версия программного обеспечения или руководства, использованного для расчета НПКМ.

4.6 Вспомогательные данные

В дополнение к основным данным, описанный выше метод позволит получить множество промежуточных продуктов, которые могут быть полезны как для координаторов НПКМ, так и для других его пользователей. Возможно, полезно будет рассмотреть реализацию вышеописанного метода в качестве способа предоставления инструментов общего назначения, которые используются для создания НПКМ, но в то же время могут быть адаптированы и для более широкого использования.

Актуальные наборы индексов станций могут являться простым результатом, представляющим интерес для тех, кто работает в климатологии, сфере предоставления обслуживания или других секторах. Пространственные карты индексов создаются на этапе интерполяции. Они могут быть использованы для оценки качества интерполированных полей и сохранены в соответствующем формате, например, NetCDF, или в качестве изображений в стандартном формате (png, eps или pdf). Расположение станций также представляет интерес. В сочетании с картами индексов расположение станций дает представление о пространственном смещении в охвате станций, местах расположения отклоняющихся значений и потенциально ошибочных данных, а также о пространственном масштабе необычных явлений.

4.7 **Распространение информации**

Рассчитанная НПКМ должна быть своевременно отправлена в ВМО (wcdmp@wmo.int) в виде вложения по электронной почте для включения в ежегодное Заявление ВМО о состоянии глобального климата. Крайний срок подачи материалов, как правило, назначается на конец января каждого года. Для более эффективного регулярного распространения информации будет разработано закодированное сообщение.

ПРИЛОЖЕНИЕ. СПЕЦИФИКАЦИИ ДЛЯ РАСЧЕТА НАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

В последующих спецификациях подробно описаны математические шаги, необходимые для расчета шести типов национальной продукции климатического мониторинга (НПКМ).

Спецификации разделены на четыре раздела: первый раздел посвящен расчету индексов для отдельных станций; второй раздел касается использования этих индексов для расчета средних показателей по территории, которые представляют собой НПКМ; в третьем разделе описывается расчет НПКМ 6; и четвертый раздел описывает формат выходных данных, которые должны быть переданы ВМО после завершения расчета.

1. **Расчет индексов на уровне станций, необходимых для производства шести типов национальной продукции климатического мониторинга**

Пусть $T_{x_{ij}}$ и $T_{n_{ij}}$ — это суточные максимальная и минимальная температуры в день i и период j соответственно, $T_{m_{ij}}$ — среднесуточная температура и среднее значение $T_{x_{ij}}$ и $T_{n_{ij}}$, когда оба из них доступны, а Pr_{ij} — суточное количество осадков в день i и период j . Температура указывается в градусах Цельсия, а количество осадков — в миллиметрах.

Проценти рассчитываются для каждого дня с использованием среднего значения за 5 дней базового периода. Индексы рассчитываются за каждый календарный месяц и за год в целом.

1.1 **Входные данные**

Используйте следующий формат входных данных:

- текстовый файл в формате ASCII, по одному файлу на станцию;
- столбцы: год, месяц, день, Pr_{ij} , $T_{x_{ij}}$, $T_{n_{ij}}$;
- пример: 1950 07 15 2.5 25.0 10.2;
- недостающие значения отмечаются как -99.9;
- записи должны соответствовать порядку календарных дат.

1.2 **НПКМ 1: аномалии средней температуры**

Произведите расчет следующих данных:

- среднемесячная и среднегодовая температура (TM_j): среднее значение $T_{m_{ij}}$ за месяц (год);
- климатология (CT_j): среднее значение TM_j за базовый период;
- среднемесячная и среднегодовая аномалия температуры (TMA_j): $TM_j - CT_j$.

1.3 **НПКМ 2: аномалия общего количества осадков**

Произведите расчет следующих данных:

- месячные и годовые суммарные осадки (PR_j): сумма Pr_{ij} за месяц (год);
- климатология (CP_j): среднее значение PR_j за 1981—2010 гг.;
- месячные и годовые аномалии, нормализованные по осадкам ($PRNA_j$): $100 \times (PR_j - CP_j) / CP_j$;
- месячные и годовые аномалии осадков (PRA_j): $(PR_j - CP_j)$.

1.4 **НПКМ 3: стандартизированный индекс осадков**

Выполните следующее:

- подготовьте 13 рядов осадков (по одному на каждый месяц и один годовой);
- рассчитайте долю месяцев в базовом периоде с нулевым показателем дождя и долю месяцев в том же периоде с ненулевым показателем дождя;
- подберите соответствующие гамма-распределения к ненулевым значениям в течение базового периода в каждой серии по отдельности;
- рассчитайте интегральную вероятность каждого ненулевого месячного (годового) значения, вычисленного на основе наблюдений;
- рассчитайте скорректированную интегральную вероятность, представляющую собой интегральную вероятность, умноженную на долю месяцев с ненулевым показателем дождя в сумме с долей месяцев с нулевым показателем дождя;
- преобразуйте скорректированную интегральную вероятность из месячных (годовых) значений для получения эквивалентного отклонения осадков от нормального распределения со средним значением 0 и стандартным отклонением 1.

1.5 **НПКМ 4: теплые дни**

Произведите расчет следующих данных:

- девяностый процентиль календарного дня, центрированный в период пяти суток для Tx_{ij} за базовый период (Tx_{in90});
- месячный и годовой процент дней, когда $Tx_{ij} > Tx_{in90}$ ($Tx90p$).

1.6 **НПКМ 5: холодные ночи**

Произведите расчет следующих данных:

- десятый процентиль календарного дня, центрированный в период пяти суток для Tn_{ij} за базовый период (Tn_{in10});
- месячный и годовой процент дней, когда $Tn_{ij} > Tn_{in10}$ ($Tn10p$).

1.7 **НПКМ 6: экстремальные температуры и осадки**

Произведите расчет следующих данных:

- месячный и годовой максимум Tx_{ij} (TX_{xj});
- месячный и годовой минимум Tn_{ij} (TN_{nj});
- месячный и годовой максимум Pr_{ij} ($RX1day$);
- дата и значение наибольшего TX_{xj} за каждый месяц и полный период;
- дата и значение наименьшего TN_{nj} за каждый месяц и полный период;
- дата и значение наибольшего TX_{xj} за каждый месяц и полный период;

1.8 **Выходные данные для расчета индекса**

Используйте следующий формат выходных данных:

- файл в формате csv, один для каждой станции и комбинации НПКМ;
- формат названия файла: [Наименование станции]_[Наименование индекса].csv;
- наименования индексов: TMA, PrA, PrAN, SPI, TX90p, TN10p;
- пример названия файла: Торонто_TX90p.csv;
- первая строка файла читается следующим образом:
"Year", "January", "February", "March", "April", "May", "June", "July",
"August", "September", "October", "November", "December", "Annual"
(Год, Январь, Февраль, Март, Апрель, Май, Июнь, Июль, Август, Сентябрь, Октябрь,
Ноябрь, Декабрь, Годовой).

- столбцы: год, значение индекса за январь, значение индекса за февраль, ..., значение индекса за декабрь, значение годового индекса;
- столбцы должны быть разделены одной запятой;
- значения должны быть указаны, по крайней мере, с двумя десятичными знаками, где это необходимо;
- пример строки выходных данных: 1950, -10.21, -5.62, 0.33, 2.53, 8.41, 12.27, 19.91, 19.01, 13.0, 11.0, 0.01, -3.01, 8.40;
- недостающие значения отмечаются как -99.9;
- пример строки выходных данных с недостающими значениями: 1950, -99.9, -99.9, 0.33, 2.53, 8.41, 12.27, 19.91, 19.01, 13.0, 11.0, 0.01, -3.01, 8.40.

2. Программирование расчета средних показателей по стране

НПКМ 1—5 определяются как средние значения различных индексов по стране. В данном разделе описывается расчет средних показателей по стране на основе ранее рассчитанных индексов станций.

Пусть N — это количество станций по стране, для которых имеются индексы станций в год u и месяц m , где $1 \leq m \leq 12$, при этом $m = 1$ соответствует январю, $m = 2$ соответствует февралю и т. д.

Значение индекса для НПКМ k , на станции i , в год u и месяц m равно I_{kiym} :

- для НПКМ 1 I_1 — это средняя аномалия температуры;
- для НПКМ 2, I_2 — это аномалия осадков, нормированная в процентах;
- для НПКМ 3 I_3 — это стандартизированный индекс осадков;
- для НПКМ 4, I_4 — это процент теплых дней;
- для НПКМ 5, I_5 — это процент холодных дней.

Разница в индексе между двумя станциями i и j равна Δ_{ijym} , а удаленность между станциями — D_{ij} . Удаленность предполагается в качестве неизменного во времени показателя.

2.1 Входные данные

Входными данными являются результаты расчетов индекса станции, описанные ранее.

2.2 Расчет вариограммы

Первым шагом является составление вариограммы, которая соотносит удаленность между двумя станциями с ожидаемой разницей. Для каждой НПКМ и каждого календарного месяца m рассчитывается одна вариограмма. Вариограммы рассчитываются только один раз для каждой НПКМ. Они могут быть сохранены и повторно использованы во всех будущих расчетах НПКМ. Однако, если в имеющиеся данные по станциям были внесены важные изменения, связанные с усовершенствованным контролем качества, обеспечением однородности, введением нового базового периода или значительным изменением количества станций, то вариограммы должны быть пересчитаны.

Вариограмма для месяца m рассчитывается следующим образом. Для каждой пары станций i и j , где $j > i$, и для каждого года u в климатологическом периоде необходимо рассчитать:

$$\Delta_{ijym} = I_{kiym} - I_{kjym}$$

Выберите максимальную величину удаленности, D_{max} , которая является наименьшей из следующих двух расстояний: максимальная удаленность между станциями ($\max(D_{ij})$) и 2000 км для индексов осадков и 3000 км для индексов температуры.

Разделите Δ_{ijym} на участки шириной w в зависимости от их удаленности D_{ij} . Обычно ширина участка равняется 20 км. Участок l содержит Δ_{ijym} , где:

$$lw D_{ij} < (l + 1)w$$

где $(l + 1)w < D_{max}$

В каждом участке l необходимо выполнить расчет среднего значения B_l , используя среднее арифметическое значение $(\Delta_{ijym})^2$ в этом участке:

$$B_l = \left[\sum (\Delta_{ijym})^2 \right] / n_l$$

где n_l — это количество Δ_{ijym} в участке l . Удаленность участка D_l представляется как:

$$D_l = lw - w / 2$$

График зависимости B_l от D_l для всех l . Данный график демонстрирует изменения разницы в индексе в зависимости от расстояния между двумя станциями. Цель состоит в том, чтобы найти такую функцию, которая аппроксимирует эту зависимость. Эта функция известна как функциональная вариограмма $V_m(D, n, r, s)$.

Функциональная вариограмма находится путем подбора функции V и параметров n, r и s , которые минимизируют среднеквадратичную ошибку (E):

$$E = \sum_l [B_l - V_m(D_l, n, r, s)]^2$$

Типичные примеры функций, используемых для V , приведены ниже. Подбор функции на глаз возможен, но обычно не рекомендуется. Необходима обязательная проверка допустимости выбранной функции. Если станций очень мало, вместо этого лучше минимизировать среднюю абсолютную ошибку (САО):

$$MAE = \sum_l |B_l - V_m(D_l, n, r, s)|$$

Аналогичный процесс должен быть повторен для нахождения функциональной вариограммы V_m и параметров n, r и s для каждого из 12 календарных месяцев и каждой НПКМ.

Примеры функций для вариограмм

В каждом случае n, r и s являются параметрами функции: n представляет собой дисперсию при нулевой удаленности, r — это параметр диапазона, контролирующий скорость изменения дисперсии при удалении, а s представляет собой дисперсию при большой удаленности.

Экспоненциальная:

$$V(D, n, r, s) = (s - n)[1 - \exp(-D / r)] + n$$

Сферическая:

$$V(D, n, r, s) = (s - n)(3D / 2r - D^3 / 2r^3) + n, \text{ for } D < r$$

$$V(D, n, r, s) = s, \text{ for } D > r$$

Гауссова:

$$V(D, n, r, s) = (s - n)[1 - \exp(-D^2 / r^2 a)] + n$$

2.3 Выходные данные для вариограмм

Используйте следующий формат выходных данных:

- файл в формате csv;
- формат названия файла: [страна]_[название индекса]_Variogram.csv;
- пример названия файла: Canada_PrA_Variogram.csv;
- в первой строке файла должны быть указаны: "Month", "Function", "n", "r", "s", "Mean Sq Err";
- столбцы: месяц, функция, n, r, s , среднеквадратичная ошибка;
- в ячейке «Месяц» в кавычках указывается название месяца или "Annual" (Годовой);

- название функции должно быть заключено в кавычки, например, "Spherical" (Сферическая);
- столбцы должны быть разделены одной запятой;
- значения должны быть указаны, по крайней мере, с двумя десятичными знаками;
- пример строки выходных данных: "February", "Gaussian", 1078.61, 966.35, 4347.32, 10443102.33.

Также было бы полезно представить график, демонстрирующий эмпирическую вариограмму и наилучшим образом подходящую функциональную вариограмму.

2.4 **Интерполяция на регулярную сетку**

Следующий шаг — оценка значения индекса для всех точек на регулярной сетке. Это производится с помощью обычного кригинга, который является стандартным методом в геостатистике.

Определите регулярную сетку по всей стране. Сетка должна иметь регулярные интервалы по широте и долготе, чтобы в границах страны было не менее 100 ячеек сетки. Для обозначения конкретной ячейки в пределах общего M количества ячеек сетки используется буква o . Площадь ячейки сетки o , входящей в границы страны, равна A_o .

Интерполированное значение ячейки сетки o для года u и месяца m рассчитывается следующим образом.

Создайте вектор данных d , содержащий индексы станций:

$$d_i = I_{kiym} \text{ для } 1 \leq i \leq N$$

$$d_{N+1} = 1$$

где N — это общее количество станций.

Затем создайте матрицу C с элементами $N + 1$ на $N + 1$:

$$C_{ij} = V_m(D_{ij}, n, r, s) \text{ for } 1 \leq i \leq N$$

$$C_{i,N+1} = 1 \text{ for } 1 \leq i \leq N$$

$$C_{N+1,j} = 1 \text{ for } 1 \leq j \leq N$$

$$C_{N+1,N+1} = 0$$

Наконец, создайте матрицу F с элементами $N + 1$ на 1:

$$F_{io} = V_m(D_{io}, n, r, s) \text{ for } 1 \leq i \leq N,$$

$$F_{N+1,o} = 1,$$

где D_{io} — это расстояние между станцией i и центром ячейки сетки o . Интерполированное значение индекса для ячейки сетки o задается следующим образом:

$$I_{koym} = d^T C^{-1} F.$$

Этот процесс повторяется для каждой ячейки сетки.

2.5 **Выходные данные для интерполяции на регулярную сетку**

Используйте следующий формат выходных данных:

- файл формата csv, содержащий значения индекса для каждой ячейки сетки в среднем за год u и месяц m ;
- формат названия файла: NCMP_[index name][year][month].csv (НПКМ_[название индекса][год][месяц].csv);
- пример названия файла: NCMP_TMA2015September.csv (НПКМ_TMA2015Сентябрь.csv);

- первая строка файла должна содержать: "Grid", "Lat", "Long", "Area", "Index" (Сетка, Шир, Долг, Площадь, Индекс);
- столбцы: номер сетки, широта в градусах, долгота в градусах, площадь в квадратных километрах, индекс в соответствующих единицах измерения;
- столбцы должны быть разделены одной запятой;
- значения должны быть указаны, по крайней мере, с двумя десятичными знаками;
- долгота в западном полушарии должна быть отрицательной, долгота в восточном полушарии — положительной; долгота должна располагаться в диапазоне [-180,00, 180,00];
- пример строки выходных данных: 9, 58.50, -136.00, 26203.23, 2.95;
- в файле должна присутствовать одна строка для каждой ячейки сетки в пределах границ страны;
- недостающих данных быть не должно.

2.6 **Расчет среднего значения по стране**

Среднее значение по стране для месяца m и года y рассчитывается с использованием средневзвешенного значения площади для всех ячеек сетки в пределах границ страны. Среднее значение по стране — это НПКМ за месяц m и год y :

$$NCMP_{kym} = (\sum_{o=1, M} A_o I_{koym}) / (\sum_{o=1, M} A_o)$$

2.7 **Выходные данные для средних показателей по стране**

Используйте следующий формат выходных данных:

- файл в формате csv;
- формат названия файла: [country name]_[index name]_Region_Avg.csv ([страна]_[название индекса]_Регион_Средн.csv);
- пример названия файла: Canada_TN10p_Region_Avg.csv (Канада_TN10p_Регион_Средн.csv);
- первая строка файла должна содержать: "Year", "Month", "Index", "No of Stns" («Год», «Месяц», «Индекс», «№ станций»);
- столбцы: год, месяц, НПКМ, количество станций;
- ячейки столбца «Месяц» должны содержать номер месяца: 1 для января, 2 для февраля и так далее; годовые значения обозначаются как месяц 13;
- столбцы должны быть разделены одной запятой;
- значения должны быть указаны, по крайней мере, с двумя десятичными знаками, где это необходимо;
- пример строки выходных данных: 1952, 8, 81.578, 15;
- в файле должна содержаться одна строка для каждого месяца и года, начиная с первого месяца, для которого можно рассчитать НПКМ, и заканчивая последним месяцем, для которого можно рассчитать НПКМ; годовое значение должно быть приведено после значений 12 месяцев и обозначено как месяц 13;
- недостающие значения отмечаются как -99.9;
- пример строки выходных данных с недостающими значениями: 1950, 1, -99.9, 0.

3. **НПКМ 6**

Расчет НПКМ 6 заключается в подсчете станций, которые побили свои суточные рекорды температуры и осадков за определенный период.

3.1 **Входные данные**

Входные данные представлены результатами расчетов индекса станции, описанными ранее:

- файл в формате csv, один файл на станцию, один файл на НПКМ;
- столбцы: year, January, February, ..., December, annual (год, январь, февраль, ..., декабрь, годовой);
- пример названия файла: Toronto_TMA.csv;
- пример форматирования: 1950 -10.2 -5.6 0.3 ... 8.4;
- недостающие значения отмечаются как -99.9.

3.2 **Количество станций регистрации**

Для каждой переменной k , которая включает TXx , TNn , Pr , выполните расчет C_k в 0 и расчет E_k в 0 соответствующей станции.

Для каждой станции i и переменной k определите длину записи L_{ik} этой станции.

Если продолжительность записи превышает 30 лет, прибавьте 1 к E_k .

Если продолжительность записи превышает 30 лет и значение переменной V для года u и месяца m , V_{ikym} является самым высоким показателем (TXx , $Precip$) в записи,

$$V_{ikym} \geq \max(V_{ikm})$$

или самым низким показателем в записи (TNn),

$$V_{ikym} \geq \min(V_{ikm})$$

то необходимо прибавить 1 к C_k .

3.3 **Выходные данные для НПКМ 6**

Используйте следующий формат входных данных:

- файл в формате csv;
- формат названия файла: [страна]_НПКМ6.csv;
- пример названия файла: Canada_NCMP6.csv;
- первая строка файла должна выглядеть следующим образом: Год, Месяц, Количество записей TXx , Количество станций, сообщивших $Tmax$, Количество записей TNn , Количество станций, сообщивших $Tmin$, Количество записей Pr , Количество станций, сообщивших Pr .
- столбцы: год, месяц, C_k , E_k для каждого k в (TXx , TNn , Pr) в данном порядке;
- столбцы должны быть разделены одной запятой;
- пример строки выходных данных: 1950, 12, 3, 170, 12, 170, 0, 250;
- в файле должна быть одна строка для каждого месяца, для которого был рассчитана НПКМ 6;
- недостающие значения отмечаются как -99.9;
- пример строки выходных данных с недостающими значениями: 1950, 12, 3, 180, 12, 17 0, -99.9, -99.9.

4. **Финальное форматирование всего набора национальной продукции климатического мониторинга**

Файлы, содержащие средние региональные показатели и НПКМ 6, должны быть объединены в единый файл наряду с метаданными, включая версию руководства, использованного для создания НПКМ, даты начала и окончания базового периода и флажки, указывающие на факт прохождения КК или процесса гомогенизации:

- файл в формате csv;
- формат названия файла: [country name]_NCMP_Summary.csv ([страна]_НПКМ_Резюме.csv);
- пример названия файла: Canada_NCMP_Summary.csv;

- первая строка файла должна содержать: "Year", "Month", "NCMP1", "No of Stns NCMP1" , "NCMP2", "No of Stns NCMP2" , "NCMP2b", "No of Stns NCMP2b" , "NCMP3", "No of Stns NCMP3" , "NCMP4", "No of Stns NCMP4" , "NCMP5", "No of Stns NCMP5" , "Tmax records", "No of Stns reporting Tmax", "Tmin records", "No of Stns reporting Tmin", "Precip records", "No of Stns reporting precip", "Temp QC flag", "Temp homogenisation flag" , "Precip QC flag", "Precip homogenisation flag", "Base period start", "Base period end", "Version" (Год, Месяц, НПКМ1, № станций НПКМ1, НПКМ2, № станций НПКМ2, НПКМ2b, № станций НПКМ2b, НПКМ3, № станций НПКМ3, НПКМ4, № станций НПКМ4, НПКМ5, № станций НПКМ5, значения Tmax, № станций, сообщающих Tmax, значения Tmin, № станций, сообщающих Tmin, Ряды осадков, № станций, сообщающих об осадках, Флажок КК температуры, Флажок гомогенизации температуры, Флажок КК осадков, Флажок гомогенизации осадков, Начало базового периода, Конец базового периода, Версия);
- столбцы:
 - год;
 - месяц;
 - среднее значение ТМА по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель ТМА;
 - среднее значение PrAn по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель PrAn;
 - среднее значение PrA по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель PrA;
 - среднее значение стандартизированного индекса осадков (СИО) по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель СИО;
 - среднее значение TX90p по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель TX90p;
 - среднее значение TN10p по стране;
 - количество станций, вносящих вклад в средний по стране показатель TN10p;
 - количество станций, сообщивших о рекордной наивысшей дневной температуре (максимальная температура; Tmax) в течение определенного месяца;
 - количество станций, сообщивших Tmax в течение месяца;
 - количество станций, сообщивших о рекордной наименьшей дневной температуре (минимальная температура; Tmin) в течение определенного месяца;
 - количество станций, сообщивших Tmin в течение месяца;
 - количество станций, на которых в определенном месяце были зарегистрированы осадки;
 - количество станций, сообщивших об осадках в течение месяца;
 - флажок, установленный на 1, в случае если температурные данные прошли КК, или на 0 в противном случае;
 - флажок, установленный на 1, если температурные данные были гомогенизированы, или на 0 в противном случае;
 - флажок, установленный на 1, если данные об осадках прошли КК, или на 0 в противном случае;
 - флажок, установленный на 1, если данные об осадках были гомогенизированы, или на 0 в противном случае;
 - начало базового периода, которым считается 1981 год;
 - конец базового периода, которым считается 2010 год;
 - версия используемого руководства.
- Столбцы должны быть разделены одной запятой;
- пример строки выходных данных: 1999,2,2.32,57,13.42,90,100.21,90,1.51,90,3,57,0,57,2,57,0,57,2,90,1,1,0,1981,2010,1.4;
- недостающие значения отмечаются как -99.9;
- пример строки выходных данных с недостающими значениями: 1999,2,-99.9,0,13.42,90,100.21,90,1.51,90,-99.9,0,-99.9,0,-99.9,0,-99.9,0,2,90,1,1,0,1981,2010,1.4.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 1986: *Руководство по контролю качества наземных климатологических данных* (ВМО/ТД-№ 111/ВКП-85). Женева.
- , 1993: *Руководство по Глобальной системе обработки данных* (ВМО-№ 305) Женева.
- , 2003: *Руководящие принципы по климатическим метаданным и обеспечению однородности* (ВМО/ТД-№ 1186) Женева.
- , 2007: *Руководящие принципы по управлению климатическими данными* (ВМО/ТД-№ 1376). Женева.
- , 2011: *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100). Женева.
- , 2013: *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488). Женева.
- , 2014: *Спецификации системы управления климатическими данными* (ВМО-№ 1131). Женева.
- , 2017: *Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм* (ВМО-№ 1203). Женева.
- Всемирная метеорологическая организация/Глобальное водное партнерство, 2016: *Справочник по показателям и индексам засушливости* (ВМО-№ 1173). Женева.
- Cressie, N., 1993: *Statistics for Spatial Data*. New York, Wiley.
-

За дополнительной информацией просьба обращаться:

World Meteorological Organization

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

Strategic Communications Office

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

Электронная почта: sra@wmo.int

public.wmo.int