

Руководство по климатологической практике

Издание 2018 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 100

Руководство по климатологической практике

Издание 2018 г.



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 100

РЕДАКТОРСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: <http://public.wmo.int/ru/ресурсы/«метеотерм»>.

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-№ 100

© Всемирная метеорологическая организация, 2018

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 978-92-63-40100-7

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.

ТАБЛИЦА РЕГИСТРАЦИИ ВНЕСЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ	iii
ПРЕДИСЛОВИЕ	ix
ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ	1
1.1 Цель и содержание Руководства	1
1.2 Климатология	1
1.2.1 История	2
1.2.2 Климатическая система	3
1.2.3 Области применения климатологической информации и данных научных исследований	7
1.3 Международные климатические программы	8
1.4 Глобальная и региональная деятельность в области климата	8
1.5 Национальная деятельность в области климата	10
1.6 Менеджмент качества	13
Ссылки	16
ГЛАВА 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ, СТАНЦИИ И СЕТИ	18
2.1 Введение	18
2.2 Климатические элементы	19
2.2.1 Поверхностные и подповерхностные элементы	20
2.2.2 Аэрологические элементы	24
2.2.3 Элементы, измеряемые посредством дистанционного зондирования	25
2.3 Приборное оснащение	26
2.3.1 Основное оборудование для приземных измерений	27
2.3.2 Аэрологические приборы	28
2.3.3 Наземное дистанционное зондирование	29
2.3.4 Дистанционное зондирование с борта воздушного судна и из космоса	30
2.3.5 Калибровка приборов	33
2.4 Размещение климатологических станций	34
2.5 Проектирование климатологических сетей	36
2.6 Функционирование станций и сетей	37
2.6.1 Сроки наблюдений	38
2.6.2 Регистрация и сообщение наблюдений	38
2.6.3 Управление качеством на местах	39
2.6.4 Общие обязанности наблюдателей	40
2.6.5 Обучение наблюдателей	40
2.6.6 Инспекции станций	41
2.6.7 Поддержание однородности данных	42
2.6.8 Мониторинг отчетов в центрах сбора	42
2.6.9 Документация и метаданные станций	43
Ссылки	45
ГЛАВА 3. УПРАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ	48
3.1 Введение	48
3.2 Значение и цель управления данными	49
3.2.1 Проектирование СУКД	50
3.2.2 Сбор данных СУКД	53
3.2.3 Документация, касающаяся данных СУКД	54
3.2.4 Хранение данных СУКД	55
3.2.5 Обеспечение доступа к данным СУКД и их извлечение	56
3.2.6 Архивы СУКД	56
3.2.7 Безопасность СУКД	57

3.2.8	Управление СУКД	57
3.2.9	Международные стандарты и руководящие принципы, касающиеся СУКД	58
3.3	Управление качеством	59
3.3.1	Процедуры контроля качества	60
3.3.2	Документы по контролю качества	62
3.3.3	Типы ошибок	62
3.3.4	Проверка формата	62
3.3.5	Проверка полноты	63
3.3.6	Проверка согласованности	63
3.3.7	Проверки допустимости	64
3.4	Обмен климатическими данными	65
3.5	Спасение данных	67
	Ссылки	70

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА ПО КОМПЛЕКТАМ ДАННЫХ .	71
4.1 Введение	71
4.2 Анализ комплекта данных	71
4.3 Визуальное отображение качественных характеристик данных	72
4.4 Количественные обобщенные дескрипторы данных	74
4.4.1 Моделирование данных по распределениям повторяемости	75
4.4.2 Меры центральной тенденции	81
4.4.3 Меры изменчивости	84
4.4.4 Мера симметрии	85
4.4.5 Мера островершинности распределения	85
4.4.6 Индексы	85
4.5 Корреляция	86
4.5.1 Таблицы сопряженности	86
4.5.2 Меры корреляции	87
4.6 Временные ряды	87
4.7 Интерпретация обобщенных характеристик климата	89
4.8 Нормы	90
4.8.1 Период расчёта	91
4.8.2 Станции, для которых рассчитываются нормы и средние значения	92
4.8.3 Однородность данных	92
4.8.4 Отсутствующие данные	93
4.8.5 Среднесуточная температура	93
4.8.6 Квинтили атмосферных осадков	94
Ссылки	95

ГЛАВА 5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА КОМПЛЕКТОВ ДАННЫХ	96
5.1 Введение	96
5.2 Обеспечение однородности (гомогенизация)	97
5.2.1 Оценка однородных данных	101
5.3 Подбор модели для оценки распределения данных	102
5.4 Преобразование данных	103
5.5 Анализ временных рядов	104
5.6 Мультивариационный анализ	105
5.7 Сравнительный анализ	107
5.8 Сглаживание	108
5.9 Оценивание данных	109
5.9.1 Методы математической оценки	110
5.9.2 Оценка на основе физических соотношений	110
5.9.3 Методы пространственной оценки	111
5.9.4 Оценка временных рядов	112
5.9.5 Валидация	113

Стр.

5.10	Анализ экстремальных значений	114
5.10.1	Подход с учетом периода повторяемости	114
5.10.2	Вероятный максимум осадков	115
5.11	Робастная статистика	116
5.12	Пакеты программ обработки статистических данных	116
5.13	Извлечение информации из данных	117
	Ссылки	118
ГЛАВА 6. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ И ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ		121
6.1	Общие руководящие принципы	121
6.1.1	Периодические издания с климатологическими данными	122
6.1.2	Разовые издания	123
6.1.3	Стандартная продукция	123
6.1.4	Специализированная продукция	124
6.1.5	Продукция мониторинга климата	125
6.1.6	Индексы	126
6.2	Данные в узлах координатной сетки	126
6.2.1	Комплекты данных в узлах координатной сетки на основе наблюдений	127
6.2.2	Комплекты данных в узлах координатной сетки, основанные на климатических моделях	131
6.2.3	Ретроспективные данные	132
6.2.4	Реанализ	133
6.3	Климатические модели и ориентировочные прогнозы климата	135
6.3.1	Продукция ориентировочных прогнозов климата	136
6.3.2	Предсказания и проекции климата	138
6.3.3	Климатические сценарии	139
6.3.4	Глобальные климатические модели	139
6.3.5	Даунскейлинг: региональные климатические модели	140
6.4	Примеры отображения продукции и данных	142
	Ссылки	149
ГЛАВА 7. ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ		151
7.1	Введение	151
7.2	Пользователи и использование климатологической информации	152
7.3	Взаимодействие с пользователями	155
7.4	Информация и распространение продукции и обслуживания	158
7.5	Вопросы маркетинга услуг и продукции	160
	Ссылки	162
ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА		163
	Ссылки	169

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одной из целей Всемирной метеорологической организации (ВМО), сформулированных в Конвенции ВМО, является содействие стандартизации метеорологических и связанных с ними наблюдений, в том числе наблюдений, которые применяются для климатологических исследований и практики. С этой целью Всемирный метеорологический конгресс время от времени утверждает Технический регламент, где сформулированы метеорологическая практика и процедуры, которым Члены Организации должны следовать. Технический регламент дополняется рядом Руководств, содержащих более подробное описание практики, процедур и спецификаций, которым, как ожидается, Члены будут следовать или которые они будут применять при организации и проведении своих мероприятий в соответствии с Техническим регламентом и в ходе прочей деятельности по развитию метеорологического и климатологического обслуживания. Одной из публикаций в этой серии является *Руководство по климатологической практике* (ВМО-№ 100), цель которого заключается в предоставлении в удобной форме всем сторонам, занимающимся климатологической практикой, информации, имеющей важнейшее значение для успешного выполнения их работы. Полное описание теоретических основ и спектра применения климатологических методов и приемов выходит за рамки данного Руководства, хотя в соответствующих случаях на такую документацию даются ссылки.

Первое издание *Руководства по климатологической практике* было опубликовано в 1960 году на основе материалов, подготовленных Комиссией по климатологии; оно было отредактировано специальной рабочей группой при содействии Секретариата. Второе издание Руководства получило начало на шестой сессии Комиссии по специальным применениям метеорологии и климатологии (1973 г.). Комиссия поручила рабочей группе, отвечающей за Руководство, принять меры по подготовке основательно переработанного издания с учетом прогресса, достигнутого за предыдущее десятилетие в области климатологии и в области использования климатологической информации и знаний в различных областях метеорологии и других дисциплинах. Седьмая сессия Комиссии (1978 г.) повторно учредила рабочую группу, которая продолжила работу над вторым изданием по главам, разработав версию, которая была в конечном итоге опубликована в 1983 году. За прошедшее с тех пор время связанная с климатом деятельность расширилась практически в каждой сфере жизнедеятельности человека, и особенно это касается науки и государственной политики. *Руководство по климатологической практике* является ключевым ресурсом, который разработан для того, чтобы помогать Членам обеспечивать непрерывный поток важнейшей информации для повседневной практики и оперативной деятельности в национальных метеорологических и гидрологических службах (НМГС).

Работа над третьим изданием Руководства началась в 1990 году, когда на совещании в Норчепинге, Швеция, Консультативная рабочая группа ККл одобрила его содержание и авторство. Впоследствии был создан Редакционный совет по Руководству, чтобы курировать работу отдельных ведущих авторов и редакторов глав. Однако ведущие авторы получили проект резюме для дальнейшей разработки текста Руководства только в 1999 году. В следующем году Редакционный совет провел совещание в Рединге, Соединенное Королевство, и согласовал содержание и дополнительную информацию для каждой главы. В 2001 году Комиссия по климатологии на ее тринадцатой сессии, постановила учредить Экспертную группу по *Руководству по климатологической практике* с четким кругом обязанностей для ускорения процесса разработки. Наряду с тем, что часть I публикации была размещена на сайте, понадобилось предпринять значительные усилия для завершения части II и представления информации о специальных требованиях к предоставлению климатического обслуживания. Четырнадцатая сессия Комиссии в 2005 году вновь учредила Экспертную группу и решила, что некоторые всеохватывающие виды деятельности будут относиться к обязанностям Группы управления. К их числу относились дальнейшая разработка части II Руководства и дополнительная работа над обзором и назначением региональных климатических центров (РКЦ). В том же году Экспертная группа провела совещание в Тулузе, Франция, и договорилась составить полный обобщенный проект текста третьего издания Руководства, включая приложения.

Благодаря коллективным усилиям, а также знаниям и опыту, привнесенным многими авторами, редакторами и внутренними и внешними рецензентами, текст третьего издания Руководства был окончательно утвержден президентом Комиссии по климатологии непосредственно перед пятнадцатой сессией Комиссии, которая состоялась в Анталии, Турция, в феврале 2010 года Комиссия на своей шестнадцатой сессии, проведенной в Гейдельберге, Германия, в июле 2014 года, приняла решение об учреждении Целевой группы по *Руководству по климатологической практике* для регулярного обновления этой публикации в целях обеспечения своевременного предоставления пользователям самых лучших научных знаний. Нынешняя версия Руководства, которая была одобрена Комиссией по климатологии на ее семнадцатой сессии, проведенной в Женеве в апреле 2018 года, является результатом работы этой Целевой группы.

Настоящее обновленное издание Руководства опубликовано на английском языке и будет постепенно переведено на другие официальные языки ВМО с целью максимального распространения знаний. Как и в случае предыдущих версий, Члены ВМО могут перевести данное Руководство на их национальные языки, по мере необходимости.

Я хотел бы с удовольствием выразить признательность Комиссии ВМО по климатологии за проявленную инициативу в обеспечении контроля над этим длительным процессом. От имени Всемирной метеорологической организации я также хотел бы поблагодарить всех, кто внес свой вклад в подготовку настоящей публикации. Особая признательность выражается д-ру Томасу К. Петерсону, бывшему президенту Комиссии по климатологии (2010—2018 гг.), который осуществлял руководство и контроль над подготовкой текста в ходе пятнадцатого и шестнадцатого межсессионных периодов Комиссии. Хотел бы также отметить значительный вклад д-ра Говиндараяла Шринивасана (Индия), руководителя Целевой группы по *Руководству по климатологической практике*, и д-ра Натаниэля Гуттмана (Соединенные Штаты Америки), ведущего научного редактора этой текущей версии публикации.



(Петтери Таалас)
Генеральный секретарь

ГЛАВА 1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РУКОВОДСТВА

Настоящая публикация предназначена для предоставления Членам Всемирной метеорологической организации (ВМО) руководящих указаний и оказания содействия в развитии национальной деятельности, связанной с климатической информацией и обслуживанием. До настоящего времени существовало два предыдущих издания Руководства: первоначальная публикация, которая вышла в свет в 1960 году, и второе издание, опубликованное в 1983 году. Несмотря на то, что многие фундаментальные основы климатологии и климатологической практики остались неизменными с течением времени, накопленные климатологические знания и научные достижения в области методов анализа данных, а также изменение технологий, компьютерных возможностей и инструментария привели к тому, что второе издание оказалось устаревшим.

В третьем издании приведено описание главных основных принципов и современной практики в области разработки и осуществления всех видов климатического обслуживания, и излагаются методы передовой практики в области климатологии. Издание представляет концепции и соображения, а также содержит ссылки на другие технические руководящие материалы и информационные источники, не претендуя на предоставление исчерпывающих сведений. Нынешняя версия была опубликована в 2011 году, при этом публикация будет регулярно пересматриваться, чтобы ее содержание оставалось актуальным.

Первая глава содержит информацию о климатологии и сфере ее применения, организации и функциях национальной климатической службы, а также о международных климатических программах. Остальная часть Руководства разделена на шесть глав (Климатические наблюдения, станции и сети; Управление климатическими данными; Определение характеристик климата по комплектам данных; Статистические методы анализа комплектов данных; Климатическая продукция и ее распространение; Предоставление обслуживания) и одно приложение (Международная деятельность в области климата).

Процедуры, описанные в Руководстве, были взяты, где это было возможно, из решений, связанных со стандартами и рекомендуемыми видами практики и процедурами. Основные практические решения в области климата содержатся в Техническом регламенте и наставлениях ВМО, а также в отчетах Всемирного метеорологического конгресса и Исполнительного совета, и вытекают в основном из рекомендаций Комиссии по климатологии. В ссылках в конце каждой главы содержатся списки соответствующих публикаций ВМО и других публикаций, представляющих особый интерес для тех, кто работает в области климатологии.

1.2 КЛИМАТОЛОГИЯ

Климатология — это наука, изучающая климат, внутренние механизмы климатической системы, его изменчивость и экстремальные проявления, а также его влияние на различную деятельность, в том числе, но отнюдь не ограничиваясь этим, связанную со здоровьем, безопасностью и благополучием человека. В узком смысле климат можно определить как усредненные метеорологические условия для конкретного места и за определенный промежуток времени. Климат можно охарактеризовать посредством статистических описаний основных тенденций и изменчивости соответствующих элементов, таких как температура, осадки, атмосферное давление, влажность и ветер, или комбинаций элементов, например, типов и явлений погоды, характерных для какой-либо местности или региона или же для всего мира за какой-либо промежуток

времени. Не ограничиваясь тем, что климат рассматривается как статистический элемент, он может также оцениваться как определяющий фактор и ресурс для человеческой жизнедеятельности, а также как потенциальная опасность для нее.

Климатология рассматривает как изменчивость климата, так и его изменение. Изменчивость климата означает изменения климатических условий за какой-либо временной масштаб (например, внутрисезонный, межгодовой и внутривековой). В общем плане изменчивость климата связана с изменениями состояния атмосферы, циркуляции океана и характеристик поверхности суши (например, влажности почвы) от внутрисезонного до внутривекового временных масштабов. Изменение климата, напротив, относится к систематическим изменениям в статистических свойствах климата (например, среднее значение и дисперсия) на протяжении длительного периода времени (например, от десятилетий до столетий), наблюдающихся в тенденциях к повышению или понижению, к примеру, значений экстремальных дождевых осадков. На протяжении большей части истории климата Земли систематические изменения климата происходили в силу естественных причин, таких как вариации расположения земной орбиты вокруг Солнца или колебания солнечного излучения, а также изменение связей между компонентами природной среды, образующими климатическую систему (см. 1.2.2). Однако в настоящее время отмечается растущее число данных о том, что люди и их деятельность составляют важный компонент климатической системы.

1.2.1 История

Древнейшие ссылки на погоду можно найти в поэмах, созданных в Древней Греции, и в Ветхом Завете, который является частью иудео-христианской Библии. Даже более ранние упоминания появляются в Ведах, наиболее древних писаниях индуизма, которые были созданы около 1800 г. до н. э. Конкретные записи на тему метеорологии и климатологии встречаются в трактате Гиппократ *О воздухах, водах и местностях*, датированном примерно 400 г. до н. э., а затем в сочинении Аристотеля *Метеорологика*, датированном примерно 350 г. до н. э. У древнегреческих философов климат означал «наклон», и при этом подразумевалась кривизна земной поверхности, которая приводит к изменчивости климата по широте вследствие изменения наклона солнечных лучей. Логические и надежные выводы, касающиеся климата, можно найти в работе александрийских философов Эратосфена и Аристарха.

С началом процесса широкомасштабных географических исследований в пятнадцатом веке начали появляться описания типов климата Земли и условий, приводящих к их формированию. Изобретение метеорологических приборов, таких как в 1593 году термометра Галилео Галилеем и в 1643 году барометра Эванджелистой Торричелли, еще больше способствовало установлению математических и физических взаимосвязей между различными характеристиками атмосферы. Это, в свою очередь, привело к установлению взаимосвязей, которые могли описать состояние климата в разное время и в различных местах.

Наблюдаемая модель циркуляции, связывающая тропики и субтропики, включая пассатные ветры, тропическую конвекцию и субтропические пустыни, была впервые объяснена Джорджем Гадлеем в 1735 году и впоследствии получила название ячейки Гадлея. Юлиус фон Ханн, опубликовавший первый из трех томов *Справочника по климатологии* в 1883 году, написал классическую работу по общей и региональной климатологии, в которую вошли данные и свидетельские описания погоды и климата. В 1918 году Владимир Кёппен составил первую подробную классификацию типов климата в мире на основе растительного покрова земли. За этим последовали более подробные изложения в описательной климатологии. Например, географ Е. Е. Федеров (1927 г.) предпринял попытку описать локальные типы климата на основе ежедневных метеорологических наблюдений. В течение первых тридцати лет двадцатого века тщательное комплексное использование глобальных наблюдений и математической теории для описания атмосферы привело к идентификации крупномасштабных

режимов циркуляции атмосферы. Известным ученым в этой области был сэр Гилберт Уокер, который провел детальное изучение индийских муссонов, Южного колебания, Североатлантического колебания и Северитихоокеанского колебания.

К числу других крупных работ по климатологии относятся работы Тора Бержерона (по динамической климатологии, опубликована в 1930 г.), а также Владимира Кёппена и Рудольфа Гейгера, которые выпустили справочник по климатологии в 1936 году. В 1927 году Гейгер впервые довольно подробно описал концепцию микроклиматологии, но данная область получила свое развитие только во время Второй мировой войны. В годы войны для целей планирования стала необходимой и была опробована концепция вероятности риска на основе использования данных о погоде на месяцы или даже годы вперед. В 1948 году Ч. У. Торнтвейт разработал классификацию типов климата на основе водного баланса и эвапотранспирации. В последующие десятилетия теории по климатологии получили значительное развитие.

В сентябре 1929 года в Копенгагене на совещании Конференции директоров Международной метеорологической организации (ММО) было достигнуто согласие о создании технической комиссии по климатологии «для изучения всех вопросов, касающихся этой отрасли науки». Создание ВМО в 1950 году (в качестве преемницы ММО, которая была основана в 1873 г.) заложило основу для системы сбора данных и привело к проведению систематического анализа климата и к выводам о природе климата. В последние десятилетия двадцатого века проблема изменения климата привлекла внимание к необходимости понимания климата как основной части глобальной системы взаимодействующих процессов с участием всех основных компонентов системы Земля (см. 1.2.2). Под изменением климата понимается статистически значимое изменение либо среднего состояния климата, либо его изменчивости, сохраняющееся на протяжении длительного периода, как правило, несколько десятилетий и больше. Изменение климата может быть следствием естественных внутренних процессов, внешних воздействий или продолжительных антропогенных (возникающих в результате деятельности человека) изменений в составе атмосферы или в землепользовании. Значительные национальные и международные усилия в настоящее время также направлены и на другие аспекты климатологии. Эти усилия включают в себя совершенствование измерения параметров и мониторинга климата, улучшение понимания причин и моделей естественной изменчивости, использование более надежных методов прогнозирования климата на сезоны и годы, а также улучшение понимания взаимосвязей между климатом и целым рядом видов общественной и экономической деятельности и экологическими изменениями.

Деятельность в области климата за последние годы была сформирована и определена главным образом решениями трех всемирных климатических конференций, которые ВМО организовала в сотрудничестве с другими учреждениями и программами Организации Объединенных Наций в 1979, 1990 и 2009 годах. Более подробная информация об этих трех конференциях приводится в приложении 1 «Международная деятельность в области климата».

1.2.2 Климатическая система

Климатическая система (рисунок 1.1) представляет собой сложную интерактивную систему, состоящую из атмосферы, поверхности суши, снежного покрова и льдов, океанов и других водных объектов, а также живых организмов. Атмосфера — газообразная оболочка, окружающая Землю. Сухая атмосфера почти полностью состоит из азота и кислорода, а также содержит небольшое количество аргона, гелия, диоксида углерода, озона, метана и многих других малых газовых примесей. Атмосфера также содержит водяной пар, конденсированные капли воды в виде облаков и аэрозоли. Гидросфера — часть климатической системы Земли, включающая в себя жидкую воду, распределенную на поверхности Земли и под ней в океанах, морях, реках, пресноводных озерах, подземных запасах воды и других водоемах. Криосфера в совокупности представляет элементы системы Земли, содержащие воду в замороженном состоянии, и включает в себя весь снег и лед (морской лед, озерный и речной лед, снежный покров, твердые осадки, ледники,

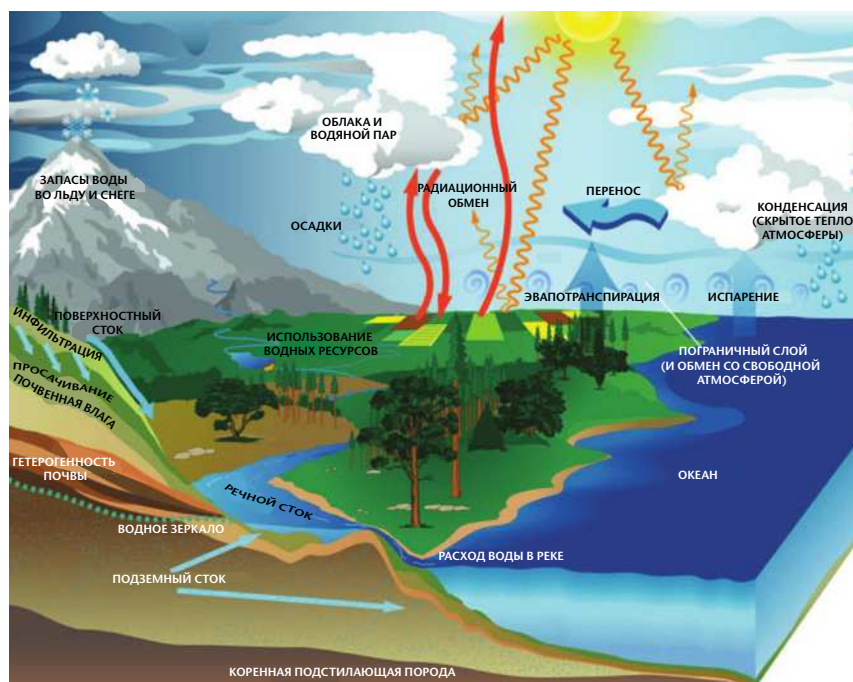


Рисунок 1.1 Климатическая система

ледовые купола, ледяные щиты, многолетняя мерзлота и сезонно-мерзлый грунт). Литосфера — верхний слой твердого тела Земли, включающий континентальную кору и морское дно. Биосфера включает в себя все экосистемы и живые организмы в атмосфере, на суше (биосфера суши) и в океанах (морская биосфера), в том числе производное мертвое органическое вещество, например, подстилку, почвенный органический материал и океанический детрит.

Под влиянием солнечной радиации и радиационных свойств поверхности климат Земли определяется взаимодействием между компонентами климатической системы. Взаимодействие атмосферы с другими компонентами играет доминирующую роль в формировании климата. Атмосфера получает энергию непосредственно от падающего солнечного излучения либо опосредованно через процессы с участием поверхности Земли. Эта энергия постоянно перераспределяется по вертикали и горизонтали посредством термодинамических процессов или крупномасштабных движений с недостижимой целью перехода системы в стабильное сбалансированное состояние. Водяной пар играет значительную роль в вертикальном перераспределении тепла за счет конденсации и переноса скрытого тепла. Океан, обладая огромной теплоемкостью, ограничивает темпы изменения температуры в атмосфере и поставляет в нее водяной пар и тепло. Распределение континентов влияет на океанские течения, а горы изменяют направление циркуляции атмосферы. Полярный, горный и морской лед отражает солнечное излучение обратно в космос. В высоких широтах морской лед действует как изолятор и защищает океан от быстрой потери энергии, которая поглощается более холодной атмосферой. Биосфера, в том числе деятельность человека, влияет на такие компоненты атмосферы, как диоксид углерода, а также на такие особенности земной поверхности, как влажность почвы и альбедо.

Взаимодействие между компонентами происходит во всех масштабах (рисунки 1.2 и 1.3). В пространственном отношении микромасштаб охватывает климатические характеристики небольших районов, например, над отдельными зданиями и растениями или полями. Изменение микроклимата может иметь большое значение, когда физические характеристики района меняются. Новые здания могут стать причиной более частой ветреной погоды, снижения воздухообмена, чрезмерного стока дождевой воды и увеличения загрязнения и тепла. Естественные колебания микроклимата, например, связанные с защищенным и незащищенным положением, солнечным освещением и

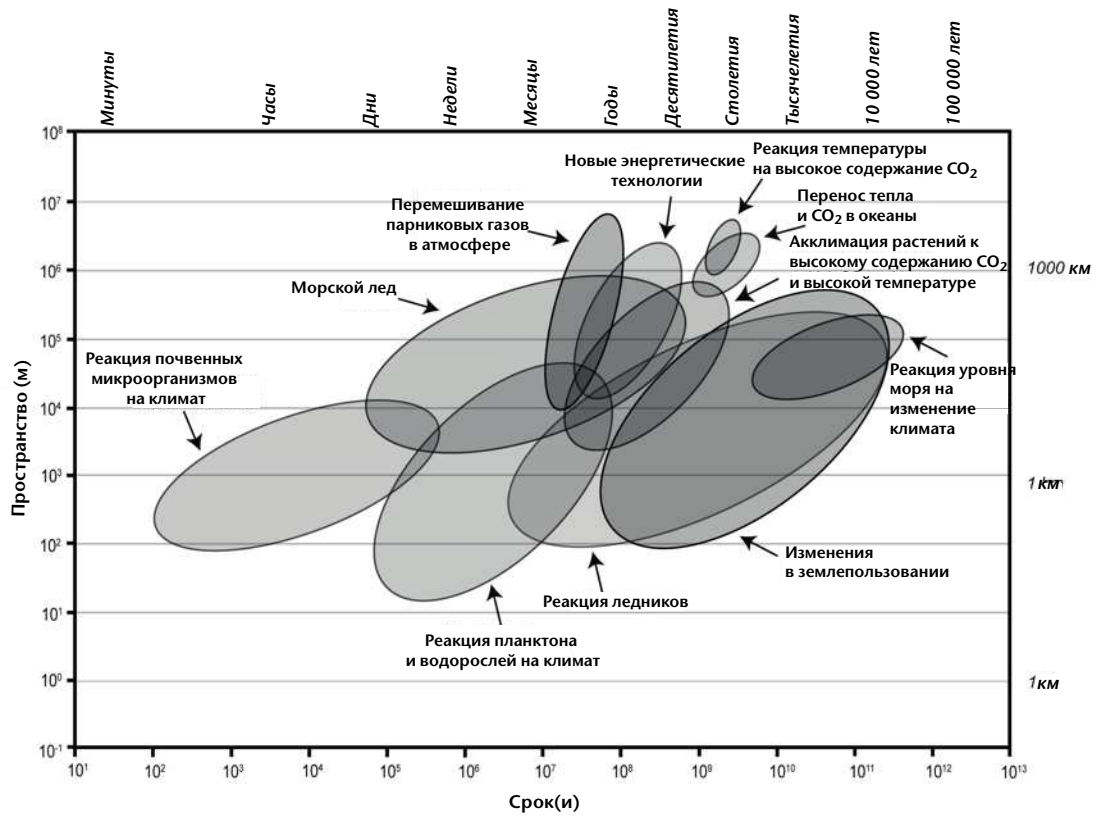


Рисунок 1.2 Временные и пространственные масштабы (с любезного разрешения Тодда Альберта, Соединенные Штаты Америки)

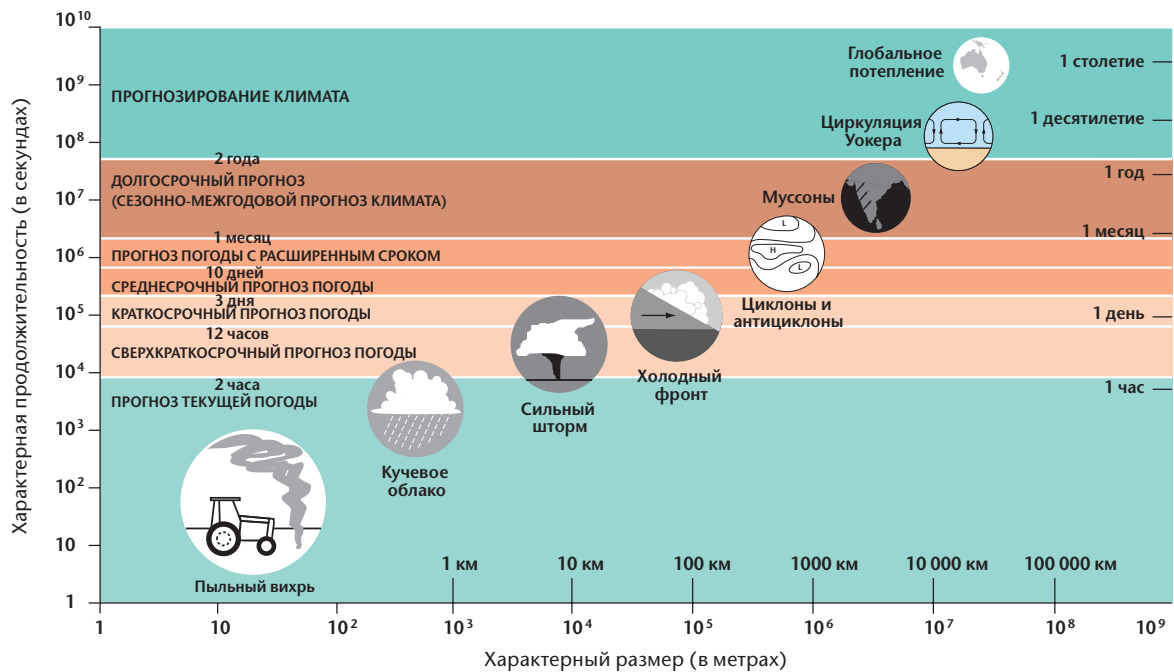


Рисунок 1.3. Продолжительность существования атмосферных явлений

Источник: Дж. У. Зиллман, Бюллетень ВМО, том 48(2), 1999 г.

тенью, также играют важную роль: они могут определять, например, какие растения будут лучше произрастать в определенном месте или какие меры безопасности необходимо предпринять для оперативной работы и проведения досуга. Мезомасштаб включает климат района ограниченной протяженности, например водосборного бассейна реки, долины, конурбации или леса. Мезомасштабная изменчивость играет важную роль в таких областях применения, как землепользование, орошение и возведение плотин, размещение объектов по использованию природных источников энергии и курортно-рекреационных комплексов. Макромасштаб включает климат крупных географических районов, континентов и земного шара. Он определяет национальные ресурсы и ограничения в отношении сельскохозяйственного производства и управления водными ресурсами, и, таким образом, связан с особенностями и уровнем здоровья и благополучия человека. Он также определяет и обуславливает влияние основных особенностей глобальной циркуляции, таких как Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК), муссоны и Североатлантическое колебание.

Временной масштаб — это интервал времени. Он может варьироваться в пределах от нескольких минут и часов до десятилетий, столетий и дольше. Характеристики какого-либо элемента окружающей среды в масштабе одного часа важны, например, при осуществлении сельскохозяйственных работ, таких как регулирование содержания пестицидов, и мониторинга энергопотребления для отопления и охлаждения. Характеристики элемента в масштабе одного дня могут определять деятельность человека, которую можно безопасно выполнять. Климат в масштабе нескольких месяцев или лет будет определять, например, культуры, которые можно выращивать, или наличие питьевой воды и пищи. Более длительные временные масштабы (десятилетия и столетия) имеют важное значение для изучения колебания климата, вызванного природными явлениями, например изменениями атмосферной и океанической циркуляции, и деятельностью человека.

Изменение климата стало одной из основных проблем для человеческого сообщества. Деятельность человека, особенно сжигание ископаемого топлива, привела к изменениям в составе глобальной атмосферы. Заметное повышение содержания диоксида углерода и метана в тропосфере в индустриальную эру наряду с выбросами аэрозолей и твердых частиц оказывают существенное воздействие на глобальный климат. Хлорфторуглероды, широко используемые в прошлом в качестве пропеллентов для аэрозольных смесей, очистительной жидкости и холодильных агентов, являются основной причиной истощения стратосферного озона. Более одной пятой части тропических лесов в мире было вырублено в период между 1960 и 2000 гг., что, скорее всего, привело к изменению сложных мезомасштабных и глобальных гидрологических циклов. Искусственные каньоны, образуемые в городах зданиями, вместе с поверхностью асфальтированных дорог увеличивают количество поглощаемого солнечного излучения и создают городские острова тепла. Ускоренный сток дождевой воды и вырубка деревьев и другой растительности снижают количество испаряемого водяного пара, который мог бы сделать температуру более умеренной. Загрязнение от транспортных средств и зданий накапливается, особенно в условиях безветрия, и вызывает много проблем со здоровьем человека и повреждение строений.

Осознавая растущую озабоченность во всем мире в связи с опасностью необратимых изменений, происходящих в природной среде, ВМО взяла на себя ведущую роль в проведении исследований изменений климатической системы и их влияния на человечество, мировую энергетику и производство продовольствия, а также запасы воды. В последние годы изменение климата и его возможные последствия, а также эффекты, которые уже наступили, стали ключевыми темами, волнующими лиц, принимающих решения, а в некоторых странах эти проблемы стоят на втором месте после вопросов экономики и обороны. Даже в этих двух областях вопросы климата учитываются при стратегическом планировании и принятии тактических решений. Много международных конференций проведено с целью обсуждения возможных способов снижения антропогенного воздействия на климат и разработки стратегий использования климатических условий для получения социально-экономической выгоды. К таким конференциям относятся Всемирные климатические конференции в Женеве в 1979, 1990 и 2009 годах, Конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и

развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году и Всемирный саммит по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в 2002 году. Создание Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Межправительственного переговорного комитета для Рамочной конвенции об изменении климата также стали важными вехами в решении проблем, связанных с изменением климата в результате деятельности человека.

1.2.3 **Области применения климатологической информации и данных научных исследований**

Климатология превратилась в динамичную отрасль науки с широким набором функций и применений. Разрабатываются новые методы и проводятся исследования с целью изучения применения климатической информации во многих областях, включая сельское хозяйство, лесное хозяйство, экосистемы, энергетику, промышленность, производство и распределение товаров, техническое проектирование и строительство, благосостояние человека, транспорт, туризм, страхование, управление водными ресурсами, обеспечение готовности к бедствиям и ликвидация их последствий, рыбное хозяйство и освоение прибрежных зон. Крайне необходимы программы научных исследований, посвященные климатической системе и ее широкомасштабному влиянию, а также применениям знаний о климате для получения социальных выгод в целях повышения возможностей климатологов информировать и консультировать пользователей и отвечать на несметное количество вопросов о климате. Ранее исследования климата обеспечивали исходные данные, информацию и методы для описания локального, мезомасштабного и глобального климата. Несмотря на то, что это первичные результаты, они также являются исходным материалом для более глубокого анализа и обслуживания, когда совмещаются с другими социальными, экономическими и физическими данными. Решающая роль климатических данных и предсказаний климата в планировании для обеспечения смягчения последствий бедствий и устойчивого развития, а также в решении проблем, связанных со всеми последствиями изменения климата, в настоящее время прочно закреплена в различных конвенциях, таких как Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата.

В прикладной климатологии максимально используются метеорологические и климатологические знания и информация для решения практических социальных, экономических и связанных с окружающей средой проблем. Климатологическое обслуживание ориентировано на различных пользователей государственного, коммерческого и промышленного секторов. Оценки воздействий изменчивости и изменения климата на деятельность человека, а также воздействий деятельности человека на климат являются основными факторами локального, национального и глобального экономического развития, социальных программ и управления ресурсами.

Существующий интерес к воздействию экономического развития и других видов деятельности человека на климат и к влиянию изменчивости и изменения климата на человеческое общество выдвигает на передний план необходимость дальнейшего исследования физических и динамических процессов, происходящих в климатической системе, а также необходимость их статистического описания. Понимание естественной изменчивости климата, понимание чувствительности климата к деятельности человека и представление о предсказуемости погоды и климата на период от нескольких дней до нескольких десятилетий имеют фундаментальное значение для повышения нашей способности эффективно реагировать на экономические и социальные проблемы. Физическая климатология охватывает широкий круг исследований, которые включают интерактивные процессы климатической системы. Динамическая климатология тесно связана с физической климатологией, но она в основном занимается режимами общей циркуляции атмосферы. Оба направления включают описание и исследование свойств и поведения атмосферы.

Улучшение прогнозирования климата в настоящее время является важной глобальной задачей. Первоначально прогнозы были основаны на эмпирических и статистических методах, но сейчас они основываются все больше на распространенных методах численного прогноза погоды. В настоящее время разрабатываются все более сложные

модели, которые представляют и соединяют вместе атмосферу, океаны, сушу, морской лед, а также атмосферные аэрозоли и газы. Эти модели могут использоваться для воспроизведения изменения климата в масштабе нескольких десятилетий, а также для прогнозирования сезонной или межгодовой изменчивости климата. Такие сезонные ориентировочные прогнозы, как правило, принимают форму вероятности того, что значение какого-либо элемента, например средней температуры или агрегированного количества осадков за определенный период, будет выше, около или ниже нормы. Сезонные ориентировочные прогнозы в настоящее время демонстрируют свою успешность в прогнозировании для регионов, в которых существует тесная взаимосвязь между температурой поверхности моря и погодой, например во многих тропических районах. В силу их вероятностного характера необходимо соблюдать большую осторожность при их распространении и применении. Процесс принятия решений, который включает в себя использование климатической информации, является развивающейся областью исследований.

Все виды климатической продукции и обслуживания, от информации, полученной на основе прошлых климатических и метеорологических данных, до оценок будущего климата, для использования в научных исследованиях, оперативной деятельности, торговле и для целей государственного управления основываются на данных, получаемых в результате широкомасштабных и систематических наблюдений и регистрации ряда ключевых переменных, которые позволяют определять характеристики климата в широком диапазоне временных масштабов. Адекватность климатического обслуживания во многом зависит от пространственной плотности и точности наблюдений и от процессов управления данными. Без систематических наблюдений за климатической системой климатическое обслуживание не может осуществляться.

Необходимость в более точной и своевременной информации продолжает стремительно расти, поскольку разнообразие потребностей пользователей продолжает расширяться. В интересах каждой страны применять согласованную практику проведения климатических наблюдений, обработки климатических данных и поддержания необходимого качества и полезности предоставляемого обслуживания.

1.3 МЕЖДУНАРОДНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОГРАММЫ

Комиссия ВМО по климатологии (ККл) изучает общие потребности Членов ВМО в предоставлении консультаций, поддержки и координации во многих видах деятельности в области климата. Комиссия была известна под несколько отличающимися названиями, и круг ее обязанностей претерпевал изменения в соответствии с меняющимися потребностями и приоритетами, но она эффективно функционирует с момента ее создания в 1929 году в рамках Международной метеорологической организации. Она обеспечивает общее руководство осуществлением Всемирной климатической программы в рамках ВМО. Дополнительная информация о международных климатических программах приведена в приложении.

1.4 ГЛОБАЛЬНАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА

Все страны должны понимать и обеспечивать потребности населения в информации, связанной с климатом. Для этого требуются климатические наблюдения, управление данными и их передача, различные виды обслуживания в области данных, мониторинг климатической системы, практические применения и виды обслуживания для различных групп пользователей, прогнозы в субсезонных и межгодовых временных масштабах, проекции климата, стратегические оценки изменчивости и изменения климата и приоритетные исследования, которые повышают потенциальную пользу от всех этих видов деятельности. Многие страны, особенно развивающиеся и наименее развитые страны, могут не располагать достаточным индивидуальным потенциалом для

выполнения всех этих видов обслуживания. На Всемирной климатической конференции-3, проходившей в Женеве в 2009 году, было предложено создать Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания с целью улучшения производства, доступности, предоставления и применения научно обоснованных климатических прогнозов и видов обслуживания. Рамочная основа предназначена для обеспечения разработчиков и поставщиков климатической информации, а также чувствительных к климату секторов по всему миру механизмом совместной работы, чтобы помочь мировому сообществу лучше адаптироваться к вызовам, связанным с изменчивостью и изменением климата.

Всемирная метеорологическая организация создала сеть глобальных центров подготовки долгосрочных прогнозов (ГЦПДП) и региональных климатических центров (РКЦ), чтобы помочь Членам эффективно удовлетворять их потребности в климатической информации. Определения и обязательные функции ГЦПДП и РКЦ приведены в *Наставлении по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485), часть I, и являются частью Технического регламента ВМО. В части II Наставления также указываются критерии для назначения ГЦПДП, РКЦ и других оперативных центров ВМО.

Назначенные ГЦПДП готовят глобальные долгосрочные прогнозы в соответствии с критериями, указанными в *Наставлении по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования*, и признаются ВМО на основании рекомендации Комиссии по основным системам. Кроме того, ВМО создала Ведущий центр долгосрочного прогнозирования на базе мультимодельных ансамблей и Ведущий центр для стандартизированной системы верификации долгосрочных прогнозов, которые повышают эффективность оперативного обслуживания, обеспечиваемого ГЦПДП.

Региональные климатические центры предназначены для того, чтобы помогать Членам ВМО в конкретном регионе предоставлять более эффективное и систематическое климатическое обслуживание и продукцию, такую как региональные долгосрочные прогнозы, и укреплять возможности Членов в целях удовлетворения национальных потребностей в климатической информации. Основными клиентами РКЦ являются национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) и другие РКЦ в регионе и в сопредельных районах. Обслуживание и продукция, обеспечиваемые РКЦ, представляются в НМГС для их последующего уточнения и распространения и не предоставляются пользователям без разрешения НМГС в этом регионе. Обязанности РКЦ не дублируют и не заменяют обязанности НМГС. Важно отметить, что НМГС сохраняют мандат и право на обеспечение взаимодействия с национальными группами пользователей и выпуск оповещений и предупреждений, и что всем РКЦ надлежит соблюдать принципы резолюции 40 (Kг-XII) ВМО, касающиеся обмена данными и продукцией.

Полный набор видов продукции и обслуживания РКЦ может меняться в зависимости от региона и на основе приоритетов, установленных соответствующей региональной ассоциацией. Однако предусматривается, что определенные жизненно важные функции должны выполняться всеми назначенными РКЦ ВМО в соответствии с установленными критериями, обеспечивая тем самым определенное единообразие обслуживания РКЦ по всему миру. К этим функциям относятся:

- a) оперативная деятельность по долгосрочному прогнозированию, в том числе интерпретация и оценка соответствующей выходной продукции ГЦПДП, производство региональной и субрегиональной специализированной продукции, а также подготовка заявлений на основе консенсуса по региональным или субрегиональным прогнозам;
- b) мониторинг климата, в том числе диагностика регионального и субрегионального климата, анализ изменчивости и экстремальных проявлений климата, а также осуществление систем региональных климатических сообщений об экстремальных климатических явлениях;

- c) обслуживание данными в поддержку долгосрочного прогнозирования, в том числе создание региональных климатических наборов данных;
- d) обучение использованию оперативной продукции и обслуживания РКЦ.

В дополнение к этим обязательным функциям РКЦ настоятельно рекомендуется осуществлять ряд других видов деятельности. В их состав входят даунскейлинг сценариев изменения климата, неоперативное обслуживание в области данных, например спасение и обеспечение однородности данных, координационные функции, подготовка кадров и наращивание потенциала, а также научные исследования и разработки.

Признавая, что климатическая информация может принести значительную пользу при адаптации к изменчивости и изменению климата и смягчении их последствий, ВМО помогла учредить региональные форумы по ориентировочным прогнозам климата. Используя преимущественно подход на основе консенсуса, форумы полностью отвечают за проведение и распространение региональной оценки состояния регионального климата на предстоящий сезон. На форумах в оперативном порядке собираются вместе национальные, региональные и международные эксперты по вопросам климата для подготовки региональных ориентировочных прогнозов климата на основе данных НМГС, региональных учреждений, РКЦ и ГЦПДП. Они способствуют расширению обратной связи ученых-климатологов с пользователями и стимулируют разработку ориентированной на пользователей продукции. Они также анализируют факторы, мешающие использованию климатической информации, делятся успешным опытом, связанным с применением выпущенной в прошлом продукции, и совершенствуют применения, предназначенные для конкретных секторов. За этими форумами часто следуют национальные форумы для разработки подробных ориентировочных прогнозов климата в национальном масштабе и подготовки информации о рисках, в том числе предупреждений, для государственных органов власти и населения.

Региональные форумы по ориентировочным прогнозам климата, формат которых может меняться в зависимости от региона, как правило, включают по меньшей мере первый из нижеперечисленных видов деятельности, а в некоторых случаях все четыре:

- a) совещания региональных и международных экспертов по вопросам климата для достижения консенсуса относительно региональных ориентировочных прогнозов климата, обычно носящих вероятностный характер;
- b) расширенный форум с участием ученых-климатологов и представителей секторов пользователей для представления основанных на консенсусе ориентировочных прогнозов климата, обсуждения и определения ожидаемых воздействий и последствий для секторов и формулирования стратегий реагирования;
- c) учебно-практические семинары по сезонному прогнозированию климата для повышения возможностей национальных и региональных климатологов;
- d) специальные сессии, посвященные информационно-просветительской деятельности, с участием экспертов в области СМИ для разработки эффективных коммуникационных стратегий.

1.5 НАЦИОНАЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА

В большинстве стран НМГС уже давно взяли на себя основные обязанности по осуществлению национальной деятельности в области климата, включая производство и контроль качества климатических наблюдений, а также хранение данных таких наблюдений; предоставление климатологической информации; проведение исследований в области климата; предсказание климата и применение знаний о климате. Однако все в большей степени вклад в эту деятельность вносят научное сообщество и частные предприниматели.

В отдельных странах в рамках НМГС за всю климатологическую деятельность отвечает одно подразделение. В других странах НМГС считают, что полезно возложить ответственность за различные виды климатологической деятельности (например, наблюдения, управление данными и исследования) на различные подразделения внутри службы. Разделение ответственности может осуществляться на основе общности практических навыков, например, в области синоптического анализа и климатических наблюдений или в области исследований в сфере прогнозирования погоды и климата. Некоторые страны создают районные отделения или филиалы для осуществления деятельности на субнациональном уровне, а в других случаях необходимое объединение и сохранение навыков для осуществления некоторых видов деятельности достигается путем создания совместной региональной структуры, обслуживающей потребности группы стран.

Когда существует разделение ответственности внутри НМГС или в случае, когда ответственность всецело возлагается на другое учреждение, важнейшее значение имеет наличие тесной связи между теми, кто использует климатологические данные в исследованиях или обслуживании, и теми, кто отвечает за сбор данных наблюдений и управление ими. Эта связь имеет первостепенное значение при определении адекватности сетей и состава и контроля качества данных наблюдений. Также очень важно, чтобы сотрудники проходили подготовку, соответствующую их обязанностям, с тем чтобы выполнение возложенных на них задач в области климатологии было таким же эффективным, как и в едином климатическом центре или подразделении. Если обработка данных осуществляется в нескольких местах, важно создать единый координирующий орган, для того чтобы не было расхождений между комплектами данных. Климатологи в составе НМГС должны нести прямую ответственность или предоставлять консультации и рекомендации в отношении следующих видов деятельности:

- a) планирование сетей станций;
- b) размещение или перемещение климатологических станций;
- c) обслуживание и безопасность пунктов наблюдений;
- d) регулярное инспектирование станций;
- e) подбор и подготовка наблюдателей;
- f) установка приборов или систем наблюдений таким образом, чтобы обеспечить получение репрезентативных и однородных записей (см. главу 2).

Когда данные наблюдений собраны, ими нужно управлять. К функциям, задействованным в управлении информацией, полученной из пунктов наблюдений, относятся сбор, управление качеством, хранение и архивация данных и метаданных и обеспечение к ним доступа (см. главу 3). Еще одним требованием является распространение собранной климатической информации. НМГС должна быть способна предвидеть, исследовать и понимать потребности в климатологической информации правительственных учреждений, научно-исследовательских институтов и научного сообщества, коммерческих организаций, промышленности и населения; продвигать и рекламировать использование информации; предоставлять свои экспертные знания и опыт для интерпретации данных, а также давать рекомендации по использованию данных (см. главы 6 и 7).

НМГС должна обеспечивать выполнение непрерывной программы научных исследований и разработок или наладить рабочие отношения с учреждением, которое имеет возможности для проведения исследований и разработок, которые непосредственно связаны с функциями и оперативной деятельностью НМГС в области климатологии. В рамках программы научных исследований должны рассматриваться новые виды применений знаний о климате и новые виды климатической продукции, которые улучшают понимание и применение пользователями климатической информации.

Исследования должны быть направлены на изучение новых и более эффективных методов управления постоянно растущим объемом данных, улучшения доступа пользователей к архивным данным и перевода данных в цифровую форму. Программы обеспечения качества наблюдений и сводок следует регулярно оценивать с целью разработки более эффективных и современных методов. Следует также развивать использование таких платформ распространения информации, как сеть Интернет.

Выполнение национальных и международных обязательств и наращивание потенциала НМГС в области климатологической деятельности можно обеспечить только при наличии должным образом обученного персонала. Поэтому НМГС должна поддерживать и развивать связи с учебными и научно-исследовательскими учреждениями, занимающимися проблемами, связанными с климатологией и ее применениями. В частности, она должна обеспечивать прохождение персоналом программ обучения, которые дополняют общую подготовку в области метеорологии образованием и навыками в области климатологии. Программа ВМО по образованию и подготовке кадров обеспечивает и поддерживает международное сотрудничество, которое включает разработку целого ряда механизмов непрерывного обучения, таких как стипендии, конференции, ознакомительные визиты, обучение с использованием компьютера, учебные курсы и передача технологий развивающимся странам. Кроме того, другие программы ВМО, такие как Всемирная климатическая программа, Программа по гидрологии и водным ресурсам и Программа по сельскохозяйственной метеорологии, осуществляют деятельность по наращиванию потенциала, связанную с климатическими данными, мониторингом климата, предсказанием климата, климатическими применениями и обслуживанием. Для того чтобы национальная программа климатического обслуживания была успешной, она должна иметь структуру, которая эффективно работает в конкретной стране. Структура должна быть такой, которая позволяет связывать имеющиеся применения, научные исследования, технологические возможности и коммуникации в единую систему. Важнейшими компонентами национальной программы климатического обслуживания являются:

- a) механизмы, обеспечивающие определение потребностей всех пользователей, связанных с климатической информацией и прогнозированием климата;
- b) сбор метеорологических и связанных с ними данных наблюдений, управление базами данных и предоставление данных;
- c) координация метеорологических, океанографических, гидрологических и связанных с ними научных исследований для совершенствования климатического обслуживания;
- d) междисциплинарные исследования для определения национальных рисков и уязвимости секторов и групп населения, связанных с изменчивостью и изменением климата, с целью выработки соответствующих стратегий реагирования, а также предоставления рекомендаций в отношении национальной политики;
- e) разработка и предоставление обслуживания, связанного с климатической информацией и прогнозами, для удовлетворения потребностей пользователей;
- f) связи с другими программами, имеющими аналогичные или смежные задачи, во избежание ненужного дублирования усилий.

Важно понимать, что национальная программа климатического обслуживания представляет собой непрерывный процесс, структура которого может со временем меняться. Неотъемлемой частью этого процесса является постоянный анализ и учет потребностей пользователей и обратная связь с ними с целью разработки эффективной продукции и обслуживания. Сбор данных о потребностях и спецификациях имеет важное значение в процессе разработки программы. Пользователи могут вносить свой вклад, оценивая продукцию, что неизменно приводит к повышению качества и разработке усовершенствованной продукции. Оценка эффективности применения продукции может оказаться трудной задачей, но взаимодействие с пользователями посредством семинаров,

учебных мероприятий и других видов информационно-просветительской деятельности будет способствовать данному процессу. Обоснование национальной программы климатического обслуживания или запросы на международную финансовую поддержку для отдельных составляющих программы могут существенным образом подкрепляться точно задокументированными потребностями пользователей и их положительными отзывами. Документально оформленное свидетельство в пользу программы со стороны одной или нескольких представительных групп сообщества пользователей имеет существенное значение для определения будущей деятельности и содействия в продвижении обслуживания как успешно развивающегося компонента.

1.6 МЕНЕДЖМЕНТ КАЧЕСТВА

Одним из методов обеспечения эффективной национальной программы климатического обслуживания является практическая реализация системы менеджмента качества (СМК). Многие НМГС стремятся добиться качества наблюдений и в конечном итоге предоставления качественных видов продукции и обслуживания. Таким образом, концепция качества не является чуждой, но может оказаться неосвоенной в том плане, каким образом ее транслировать в систему. В сущности СМК является совокупностью политики, процессов и процедур, требующихся для планирования и исполнения различных ключевых рабочих процессов в целях совершенствования деятельности НМГС. СМК предоставляет возможности организациям определять, оценивать, контролировать и совершенствовать ключевые виды производственных процессов, которые в конечном итоге приведут к повышению эффективности производственных процессов и степени удовлетворенности пользователей.

Компоненты СМК определяются НМГС и ее целями и задачами. СМК, основанная на международном стандарте, таком как стандарт ИСО, является полезной, поскольку она предоставляет набор требований, которые могут быть приняты для того, чтобы стимулировать управление качеством в рамках НМГС. Кроме того, СМК обеспечивает внешний аудит процессов и тем самым предоставляет возможность независимой проверки работоспособности системы. Принятие стандарта качества ISO 9001:2015 обеспечит осознанное подтверждение качества; это предпочтительнее, чем надеяться на случайность.

При разработке системы менеджмента качества на основе ISO 9001:2015 следует принимать во внимание следующие принципы менеджмента качества:

- ориентация на потребителя;
- лидирующая роль;
- взаимодействие людей;
- процессный подход;
- улучшение;
- принятие решений на основе фактических данных;
- управление взаимоотношениями.

Метод, лежащий в основе стандарта менеджмента качества ISO 9001:2015, основан на процессах менеджмента и их взаимодействии, использование которых известно как цикл планирование-осуществление-проверка-действие (ПОПД). Это подразумевает определение целей и процессов при рассмотрении имеющихся ресурсов для целей удовлетворения потребностей пользователей. То, что было запланировано и затем осуществлено, а также непосредственные результаты, такие как продукция и обслуживание, проверяются с целью определения соответствия результатов работы плану.

При выявлении наличия улучшений и их внедрения цикл повторяется. В ходе выполнения цикла необходимо принимать во внимание любые факторы риска и благоприятные возможности, которые могут быть выявлены, в целях повышения эффективности функционирования системы.

Преимуществами СМК являются:

- согласованность в выпуске качественных видов продукции и обслуживания;
- содействие в удовлетворении потребностей потребителей;
- более эффективные методы работы, которые будут экономить время, деньги и ресурсы;
- совершенствование текущей деятельности посредством сокращения ошибок;
- повышение заинтересованности и вовлеченности персонала на основе эффективных внутренних процессов;
- оказание содействия возможностям в области обучения и подготовки кадров и их идентификация;
- оказание помощи в выявлении рисков и возможностей.

СМК оказывает содействие и направляет деятельность организации в целях удовлетворения потребностей пользователей и соответствия нормативным требованиям, а также для повышения ее эффективности и результативности на постоянной основе. Таким образом, СМК должна быть комплексной системой, охватывающей все виды деятельности от начальных измерений и наблюдений до обслуживания, предоставляемого конечному пользователю. Такая СМК направлена на повышение качества и эффективности работы, с тем чтобы удовлетворять или превосходить ожидания потребителей, в то же время учитывая контекст НМГС, а также ожидания и потребности заинтересованных сторон. Система менеджмента качества, таким образом, является важной частью климатологической практики НМГС и играет ключевую роль в стимуляции деятельности в области качества через весь производственный цикл создания добавленной стоимости, от обеспечения приборного оснащения, затем хранения и контроля качества данных, к производству климатологической продукции и обслуживанию. Этот производственный цикл укреплен участвующими в нем людьми; хотя в не в каждом аспекте этого цикла принимают участие люди, их глубокие профессиональные знания необходимы для достижения установленных целей (*Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I).

Таким образом, предоставление климатического обслуживания НМГС может быть улучшено путем практической реализации системы менеджмента качества, и рекомендуется, чтобы ISO 9001:2015 использовался для достижения этого. Национальные метеорологические и гидрологические службы будут способны выявлять и удовлетворять потребности их клиентов благодаря исчерпывающему комплексу документов, содержащих технические нормы и руководящие принципы, обеспечивающие прочный фундамент для деятельности НМГС и ее соответствия национальным и международным нормативным требованиям и благодаря также применению принципов менеджмента качества. Они будут также способны осуществлять мониторинг и измерять показатели их собственной деятельности, выявлять и снижать риски, а также находить возможности для непрерывного совершенствования предоставляемых ими услуг. При этом у них будет возможность подать заявку на сертификацию в качестве аккредитованной ИСО организации.

Подробное описание системы менеджмента качества и ее внедрения в метеорологической службе можно найти в публикации *Руководство по внедрению систем менеджмента качества для национальных метеорологических и гидрологических служб и других соответствующих поставщиков обслуживания* (ВМО-№ 1100). Эта публикация будет представлять большую ценность при учреждении СМК в НМГС. Публикация [Guidelines on](#)

Quality Management in Climate Services (Руководящие принципы по менеджменту качества в климатическом обслуживании) (WMO-No. 1221), подготовленная Комиссией ВМО по климатологии, предоставляет больше информации относительно практической реализации менеджмента качества в контексте климатического обслуживания. Следующие веб-страницы могут быть также полезны: <http://qmc.mgm.gov.tr/> и http://www.bom.gov.au/wmo/quality_management/qm_publications.shtml.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 2015: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I: Общие метеорологические стандарты и рекомендуемая практика, обновленное издание 2017 г. Женева.
- , 2017: *Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485). Женева.
- , 2017: *Руководство по внедрению систем менеджмента качества для национальных метеорологических и гидрологических служб и других соответствующих поставщиков обслуживания* (ВМО-№ 1100). Женева.
- Aristotle, circa 350 B.C.: *Meteorologica*.
- Bergeron, T., 1930: Richtlinien einer dynamischen Klimatologie. *Meteorologische Zeitung*, 47:246–262.
- Federov, E.E., 1927: Climate as totality of the weather. *Monthly Weather Review*, 55:401–403.
- Geiger, R., 1927: *Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie*. Fourth edition, 1961. Braunschweig, Vieweg.
- Hadley, G., 1735: Concerning the cause of the general trade-winds. *Philosophical Transactions*, 39, 58–62.
- Hippocrates, circa 400 B.C.: *On Airs, Waters, and Places*, available at <http://classics.mit.edu/Hippocrates/airwatpl.html>.
- International Organization for Standardization, 2015: *ISO 9001:2015 Quality Management Systems – Requirements*.
- Köppen, W., 1918: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64:193–203, 243–248.
- Köppen, W. and R. Geiger, 1936: Das geographische System der Klimate, in *Handbuch der Klimatologie*, Volume I, Part C. Berlin, Borntraeger.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An Approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1):55–94.
- Von Hann, J., 1908: *Handbuch der Klimatologie*, three volumes. Stuttgart, Englehorn.
- Walker, G.T., 1923–24: World weather, I and II. *Memoirs of the Indian Meteorological. Department*, 24(4):9.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Всемирная метеорологическая организация, 1990: *Достижения ВМО: 40 лет на службе международной метеорологии и гидрологии* (ВМО-№ 729). Женева.
- , 2000: *ВМО — 50 лет деятельности* (ВМО-№ 912). Женева.
- , 2009: *Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2008 году* (ВМО-№ 1039). Женева.
- , 2016: *Исполнительный совет: Сокращенный окончательный отчет шестьдесят восьмой сессии* (ВМО-№ 1168), резолюция 5 (ИС-68) «Компетенции для предоставления климатического обслуживания». Женева.
- Burroughs, W., 2003: *Climate: Into the 21st Century*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Geiger, R., R.H. Aron and P. Todhunter, 2003: *The Climate Near the Ground*. Sixth edition. Lanham, Maryland, Rowman and Littlefield Publishers.
- Global Climate Observing System (GCOS), 2004: *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC* (WMO-TD No. 1219, GCOS-92). Geneva.
- , 2010: *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC* (WMO/TD-No. 1523, GCOS-138). Geneva.
- Group on Earth Observations (GEO), 2005: *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS): 10-year Implementation Plan Reference Document*. GEO 1000R/ESA SP-1284. Noordwijk, European Space Agency Publications Division, ESTEC.
- , 2008: *GEO 2007–2009 Work Plan - Toward Convergence*. Geneva.
- Integrated Global Observing Strategy (IGOS), 2007: *Cryosphere Theme Report: For the Monitoring of our Environment from Space and from Earth* (WMO-TD No. 1405). Geneva.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2004: *16 Years of Scientific Assessment in Support of the Climate Convention*. Geneva.

- , 2007: *Climate Change 2007, The Fourth Assessment Report*, Volumes 1–3. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press.
- Landsberg, H., 1962: *Physical Climatology*. Dubois, Pennsylvania, Gray Printing.
- Mann, M.E., R.S. Bradley and M.K. Hughes, 1999: Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 26(6):759.
- McGregor, G.R., 2006: Climatology: Its scientific nature and scope. *International Journal of Climatology*, 26(1):1-5.
- McGregor, G.R., 2015: Climatology in support of climate risk management: A progress report. *Progress in Physical Geography*, 39:536-553.
- World Meteorological Organization, 1986: *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts* (Villach, Austria, 9–15 October 1985) (WMO-No. 661). Geneva.
- , 1990: *Forty Years of Progress and Achievement: A Historical Review of WMO* (Sir Arthur Davies, ed.) (WMO-No. 721). Geneva.
- , 1992: *International Meteorological Vocabulary* (WMO-No. 182). Geneva.
- , 1997: *Report of the GCOS/GOOS/GTOS Joint Data and Information Management Panel*, Third session (Tokyo, Japan, 15–18 July 1997) (WMO/TD-No. 847, GCOS- 39, GOOS- 11, GTOS- 11). Geneva.
- , 2003: *Proceedings of the Meeting on Organization and Implementation of Regional Climate Centres* (Geneva, 27–28 November 2003) (WMO/TD-No. 1198, WCASP-No. 62). Geneva.
- , 2005: *The World Climate Research Programme Strategic Framework 2005–2015 – Coordinated Observation and Prediction of the Earth System (COPES)* (WMO/TD-No. 1291, WCRP-123). Geneva.
- , 2008: *Report of the CCI/CBS Intercommission Technical Meeting on Designation of Regional Climate Centres* (Geneva, 21–22 January 2008) (WMO-TD No. 1479, WCASP-No. 77). Geneva.
- , 2011: *Guide to the Quality Management System for the Provision of Meteorological Service for International Air Navigation* (WMO-No.1001), 2014 update; a joint WMO/ICAO guide.
-

ГЛАВА 2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ, СТАНЦИИ И СЕТИ

2.1 ВВЕДЕНИЕ

Вся национальная деятельность в области климата, включая научные исследования и применения, в первую очередь основана на наблюдениях за состоянием атмосферы, или погодой. Глобальная система наблюдений обеспечивает наблюдения за состоянием атмосферы и поверхности океана. Она эксплуатируется национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС), национальными или международными спутниковыми агентствами, а также несколькими организациями и консорциумами, которые занимаются конкретными системами наблюдений или географическими регионами. Глобальная система наблюдений ВМО представляет собой скоординированную систему различных подсистем наблюдений, которая обеспечивает получение экономически эффективным образом данных высококачественных стандартных метеорологических, а также связанных с ними геофизических наблюдений и наблюдений за окружающей средой из всех частей земного шара и космического пространства. Примерами подсистем наблюдений, связанных с климатом, являются Сеть приземных наблюдений (СПНГ) Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК), Аэрологическая сеть ГСНК (ГУАН), Опорная аэрологическая сеть (ГРУАН) Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК), региональные опорные климатологические сети, Глобальная служба атмосферы (ГСА), системы морских наблюдений и спутниковая Глобальная система определения местоположения. Данные наблюдений с этих сетей и станций необходимы для своевременной подготовки метеорологического и климатического анализа, прогнозов, предупреждений, климатического обслуживания и исследований для всех программ ВМО и соответствующих программ по окружающей среде других международных организаций.

В настоящей главе, посвященной наблюдениям, определяются элементы, необходимые для описания климата, и станции, на которых эти элементы измеряются, необходимое приборное оснащение, размещение станций, проектирование и функционирование сетей. Данный руководящий материал подготовлен на основе публикаций ВМО: *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), *Guidelines on Climate Observation Networks and Systems* (Руководящие указания по сетям и системам климатических наблюдений) (WMO/TD-No. 1185) и *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160). В каждом издании *Руководства по метеорологическим приборам и методам наблюдений* акцент делается на несколько отличных аспекты. Например, шестое издание (ВМО, 1996) содержит ценную информацию о калибровке датчиков, особенно основных приборов, используемых на климатических станциях, а таблицы 2 и 3 пятого издания (ВМО, 1983) содержат больше информации о точности измерений, необходимых для общих климатологических целей. Перекрестные ссылки на другие публикации ВМО, содержащие более подробный руководящий материал, приводятся в разделах ниже.

Руководящий материал также опирается на десять принципов мониторинга климата, изложенных в публикации *Report of the GCOS/GOOS/GTOS Joint Data and Information Management Panel* (Отчет Совместной группы экспертов ГСНК/ГСНО/ГСНПС по управлению данными и информацией) (WMO/TD-No. 847):

1. оценку воздействия новых систем или изменений в существующих системах следует проводить до их внедрения;
2. необходим адекватный период одновременного функционирования новых и старых систем наблюдений;

3. подробное описание и история местных условий, приборов, рабочих процедур, алгоритмов обработки данных, а также других факторов, относящихся к интерпретации данных (метаданных), должны документироваться и храниться так же тщательно, как и сами данные;
4. следует регулярно оценивать качество и однородность данных в рамках повседневной работы;
5. в национальные, региональные и глобальные приоритеты в области наблюдений следует включать анализ потребностей в продукции, основанной на данных мониторинга окружающей среды и климата, а также потребностей в оценках;
6. следует поддерживать функционирование станций и систем наблюдений, непрерывно работающих длительные периоды времени;
7. следует придавать высокий приоритет дополнительным наблюдениям в районах с недостаточным покрытием данными; недостаточно наблюдаемым параметрам; районам, чувствительным к изменению климата, и районам, где основные измерения проводятся с неадекватным временным разрешением;
8. долгосрочные потребности следует сообщать разработчикам и операторам сетей, а также инженерам по приборам на самом начальном этапе проектирования и осуществления систем;
9. следует содействовать возможностям исследовательских систем наблюдений осуществлять долговременные наблюдения посредством тщательного планирования;
10. системы управления данными, которые облегчают доступ к данным и продукции, их использование и интерпретацию, должны включаться в качестве необходимых элементов систем мониторинга климата.

Эти принципы были разработаны в первую очередь для приземных наблюдений, но они также применимы к данным для всех платформ сбора данных. Дополнительные принципы специально для спутниковых наблюдений перечислены в разделе 2.3.4.

2.2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Климатическим элементом является любое из свойств климатической системы, описанной в разделе 1.2.2. В сочетании с другими элементами эти свойства описывают погоду или климат в конкретном месте за определенный промежуток времени. Каждый наблюдаемый метеорологический элемент также может рассматриваться как климатический элемент. Элементами, наиболее часто используемыми в климатологии, являются температура воздуха (включая максимальную и минимальную), осадки (дождь, снег и все виды мокрого осаджения, такие как град, роса, изморозь, иней и оседающий туман), влажность, атмосферная циркуляция (скорость и направление ветра), атмосферное давление, испарение, солнечный свет и текущая погода (например, туман, град и гром). Свойства поверхности земли и ее подповерхностного слоя (в том числе гидрологические элементы, топографические условия, геологическое строение и растительность), океанов и криосферы также используются для описания климата и его изменчивости.

В подразделах ниже приводится описание обычно наблюдаемых элементов для конкретных типов станций и сетей станций. Подробную информацию можно найти в *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), *Техническом регламенте* (ВМО-№ 49), в частности в томе III, и в *Руководстве по агрометеорологической практике* (ВМО-№ 134). Эти документы должны быть легкодоступны и использоваться по мере необходимости.

2.2.1 Поверхностные и подповерхностные элементы

Обычная климатологическая станция обеспечивает основные потребности в наблюдениях за суточной максимальной и минимальной температурами и количеством осадков для материковой области. Главная климатологическая станция, как правило, обеспечивает более широкий диапазон наблюдений за погодой, ветром, характеристиками облаков, влажностью, температурой, атмосферным давлением, осадками, снежным покровом, солнечным светом и солнечной радиацией. Чтобы охарактеризовать климатологию осадков, ветра или любого другого конкретного элемента, иногда необходимо эксплуатировать станцию для наблюдений за одним или подгруппой этих элементов, особенно в местах с разнообразным рельефом. Опорные климатологические станции (см. 2.5) обеспечивают долгосрочные однородные данные для определения климатических трендов. Желательно иметь в каждой стране сеть таких станций, представляющих основные климатические зоны и уязвимые области.

В городских районах погода может оказывать значительное воздействие. Мощные ливни могут привести к сильному затоплению; снег и замерзающий дождь могут нарушить работу транспортных систем, а сильные грозы с молниями, градом и сильным ветром могут вызвать перебои в системе электроснабжения. Сильный ветер также может замедлить или остановить движение автомобилей, транспортных средств для отдыха, железнодорожных вагонов, средств городского транспорта и грузовых автомобилей. Городская зона особенно чувствительна к воздействию выходящих на сушу тропических штормов из-за большой концентрации людей, находящихся в зоне риска, высокой плотности искусственных сооружений, а также повышенного риска затопления и загрязнения систем питьевого водоснабжения. На городских станциях обычно ведутся наблюдения за теми же элементами, что и на главных климатологических станциях, а также добавляются данные о загрязнении воздуха, например, о тропосферном озоне и других химических веществах и твердых частицах.

Морские наблюдения в общем смысле являются либо физическими и динамическими, либо биохимическими. Физические и динамические элементы (такие как ветер, температура, соленость, ветровые волны и зыбь, морской лед, океанические течения и уровень моря) играют активную роль в изменении морской системы. Биохимические элементы (такие, как растворенный кислород, питательные вещества и биомасса фитопланктона), как правило, не играют активной роли в физико-динамических процессах, за исключением, возможно, длительных временных масштабов, и в связи с этим называются пассивными элементами. С точки зрения охвата вопросов, которыми занимаются большинство НМГС, высокий приоритет, как правило, следует придавать физическим и динамическим элементам, хотя в некоторых случаях биохимические элементы могут быть важны для удовлетворения потребностей заинтересованных сторон (например, данные наблюдений, касающиеся роли двуокиси углерода в изменении климата).

В некоторых НМГС, в чьи обязанности входит мониторинг гидрологических явлений, гидрологическое планирование или подготовка гидрологических прогнозов и предупреждений, необходимо наблюдать и измерять соответствующие гидрологические элементы. Эти элементы могут включать комбинации уровня рек, озер и водохранилищ; речной сток; перенос и осаждение наносов; темпы водозабора и пополнения; температуру воды и снега; ледяной покров; химические свойства воды; испарение; влажность почвы; уровень грунтовых вод и масштаб паводков. Эти элементы являются неотъемлемой частью гидрологического цикла и играют важную роль в изменчивости климата.

В дополнение к поверхностным элементам подповерхностные элементы, такие как температура и влажность почвы, особенно важны для применения в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве, планировании землепользования и управлении землепользованием. К другим элементам, которые следует измерять для описания характеристик физической окружающей среды для применения в сельском хозяйстве, относятся испарение с поверхности почвы и воды, солнечный свет, коротковолновое и длинноволновое излучение, транспирация растительностью, сток и водное зеркало, а также данные метеорологических наблюдений (особенно град, молния, роса и туман). В идеальном

варианте измерения важных для сельского хозяйства элементов следует проводить на нескольких уровнях между 200 см ниже поверхности и 10 м выше поверхности. При определении уровней следует также учитывать характер зерновых культур и растительности.

Косвенными данными являются данные измерений условий, которые напрямую не связаны с климатом, таких как фенология, образцы ледяных кернов, варва (годовые отложения наносов), образование годовых колец коралловых рифов и деревьев. Фенология изучает сроки наступления периодических биологических явлений в животном и растительном мире, причины, определяющие эти сроки с учетом биотических и абиотических факторов, и взаимосвязи между фазами одинаковых или разных видов. Распускание листьев, цветение растений весной, созревание плодов, изменение цвета и опадание листьев осенью, а также появление и исчезновение мигрирующих птиц, животных и насекомых — все это примеры фенологических явлений. Фенология представляет собой простую и экономически эффективную систему раннего обнаружения изменений в биосфере и, таким образом, очень хорошо дополняет инструментальные измерения, проводимые национальными метеорологическими службами.

Образец ледяного керна содержит снег и лед, а также пузырьки захваченного воздуха. Состав керна, особенно наличие изотопов водорода и кислорода, относится к климату того времени, когда произошло отложение снега и льда. Ледяные керны также содержат такие включения, как эоловая пыль, пепел, пузырьки атмосферных газов и радиоактивные вещества в снеге, осаждаемом каждый год. Различные свойства, измеряемые по длине керна, обеспечивают косвенные данные о температуре, объеме океана, осадках, химическом и газовом составе нижних слоев атмосферы, извержениях вулканов, колебаниях солнечной активности, продуктивности морской поверхности, протяженности пустынь и лесных пожарах. Толщина и состав варвы аналогичным образом связаны с годовыми или сезонными осадками, речным стоком и температурой.

Тропические коралловые рифы очень чувствительны к изменениям климата. Годичные кольца связаны с температурой воды и сезоном, за который они выросли. Анализ годовых колец позволяет соотнести температуру воды с конкретным годом и сезоном. Данные о кораллах используются для оценки прошлой изменчивости явления Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК), экваториального апвеллинга, изменений в субтропических круговоротах, режимов пассатных ветров и солености океана.

Рост годовых колец показывает сильную межгодовую изменчивость, а также большие пространственные различия. Некоторые изменения могут быть связаны с погодными и климатическими условиями в микромасштабе и макромасштабе; растения можно рассматривать как интегративные средства измерения параметров окружающей среды. Поскольку деревья могут жить столетиями, годовые кольца некоторых видов деревьев могут предоставить индикаторы изменчивости климата за длительный исторический период (предшествующий инструментальным измерениям). В связи с тесной взаимосвязью между развитием растений и погодой и климатом НМГС во многих странах имеют сети фенологических наблюдений.

В таблице ниже приведены наиболее распространенные наблюдаемые поверхностные и подповерхностные климатические элементы для различных сетей и типов станций.

Примеры поверхностных и подповерхностных элементов для различных сетей станций и типов станций

Элемент	Обычная климатическая станция	Главная климатическая станция	Морская станция	Гидрометеорологическая станция	Агрометеорологическая станция	Городская станция	Косвенная станция
Температура воздуха	•	•	•		•	•	
Температура почвы					•		
Температура воды			•	•			
Осадки	•	•	•	•	•	•	
Погода		•	•		•	•	
Облака		•	•		•	•	
Давление		•	•		•	•	
Видимость		•	•		•	•	
Влажность		•	•		•	•	
Ветер		•	•		•	•	
Солнечная радиация		•			•	•	
Солнечный свет		•			•	•	
Соленость			•				
Течения			•				
Уровень моря			•				
Волны			•				
Обмен импульсом между атмосферой и океаном			•				
Потоки в системе атмосфера-океан			•				
Лед			•	•			
Растворенный кислород			•				
Питательные вещества			•				

<i>Элемент</i>	<i>Обычная климатическая станция</i>	<i>Главная климатическая станция</i>	<i>Морская станция</i>	<i>Гидрометеорологическая станция</i>	<i>Агрометеорологическая станция</i>	<i>Городская станция</i>	<i>Косвенная станция</i>
Батиметрия			•				
Биомасса			•				
Речной сток				•			
Уровень воды в реке				•			
Поток наносов				•			
Пополнение				•			
Испарение				•	•	•	
Влажность почвы				•	•	•	
Сток				•	•		
Грунтовые воды				•	•		
Развитие растений						•	•
Пыльца							•
Состав льда и наносов							•
Годичные кольца деревьев							•
Годичные кольца кораллов							•
Химический состав атмосферы						•	
Твердые частицы						•	

2.2.2 Аэрологические элементы

Аэрологические наблюдения являются неотъемлемым компонентом Глобальной системы наблюдений. Спектр деятельности в области климата, для которой требуются аэрологические наблюдения, включает мониторинг и обнаружение изменчивости и изменения климата, прогнозирование климата во всех временных масштабах, моделирование климата, исследования климатических процессов, реанализ данных и спутниковые исследования в части калибровки восстановленных спутниковых данных и переноса радиации.

Самый длинный ряд аэрологических наблюдений получен с помощью аэростатных приборов в сочетании с устройствами наземного слежения на радиозондовой сети. Эти радиозондовые измерения формируют базу данных атмосферных переменных начиная с 1930-х годов, хотя до 1957 года охват, как правило, был недостаточным. Ряд данных радиозондирования характеризуется многими разрывами и погрешностями в результате изменений приборов и оперативных процедур и неполноты метаданных. Данные спутниковых наблюдений доступны с 1970-х годов, и некоторые из них собираются и повторно обрабатываются для создания непрерывных рядов. Однако подобно тому, как записи данных радиозондирования имеют недостатки, спутниковые данные также страдают, среди прочего, в результате ограниченного разрешения по вертикали, дрейфа орбиты, изменений спутниковых платформ, дрейфа показаний приборов, сложностей с процедурами калибровки и появления отклонений в результате модификаций алгоритмов обработки. Другие аэрологические измерения проводятся с движущихся платформ, таких как воздушные суда. Наблюдения в некоторых высокогорных районах также считаются частью системы аэрологических измерений.

Существуют следующие основные требования к наблюдениям для мониторинга долгосрочных изменений в верхних слоях атмосферы:

- a) многолетний (несколько десятилетий), стабильный, однородный во времени ряд данных, чтобы изменения можно было с уверенностью назвать истинными атмосферными изменениями, а не изменениями в системе наблюдений, или артефактами, связанными с методами обеспечения однородности;
- b) хорошее разрешение по вертикали для описания вертикальной структуры температуры, водяного пара, а также изменений озона и изменений на уровне тропопаузы;
- c) достаточный географический охват и разрешение, чтобы можно было определить надежные глобальные и региональные тренды;
- d) точность наблюдений, которая выше ожидаемых изменений в атмосферных условиях, чтобы можно было четко определять как изменчивость, так и долгосрочные изменения. Это требование представляет особую важность для наблюдений за водяным паром в верхней тропосфере и стратосфере.

Важнейшими климатическими элементами, определяемыми с помощью аэрологических наблюдений, являются: температура, водяной пар, давление, скорость и направление ветра, свойства облаков, излучение и радиация (радиационный баланс, приходящая и уходящая), как это указано в *Second Report on the Adequacy of the Global Observing Systems for Climate in Support of the UNFCCC* (Второй доклад об адекватности глобальных систем наблюдений за климатом в поддержку РКИКООН) (WMO/TD-No. 1143) и *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC* (План осуществления Глобальной системы наблюдений за климатом в поддержку РКИКООН) (WMO/TD-No. 1219). Поскольку химический состав атмосферы имеет важнейшее значение в прогнозировании климата, мониторинге изменения климата, прогнозах озона и других прогнозах качества воздуха, а также в таких областях применения, как исследование и прогнозирование состояния здоровья животных, растений и человека, важно понимать вертикальную структуру состава глобальной атмосферы (см. *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I, часть I, 6.3; *Plan for the Global Climate Observing System (GCOS)* (План

Глобальной системы наблюдений за климатом (ГЧНК)) (GCOS-14, WMO/TD-No. 681) и GCOS/GTOS *Plan for Terrestrial Climate-related Observations* (План ГЧНК/ГЧНПС для проведения связанных с климатом наблюдений за поверхностью суши) (GCOS-32, WMO/TD-No. 796). Элементы химического состава, которые требуется измерять как в свободной атмосфере, так и у поверхности земли, включают концентрации озона и других парниковых газов, таких как двуокись углерода и метан, мутность атмосферы (оптическая плотность аэрозолей), суммарную аэрозольную нагрузку, химически активные газовые составляющие и радионуклиды. Также нужно проводить измерения, касающиеся кислотных дождей (или в общем химического состава осадков и твердых частиц), и ультрафиолетового излучения (для получения подробной информации, касающейся химического состава атмосферы, см. *The Changing Atmosphere: An Integrated Global Atmospheric Chemistry Observation Theme for the IGOS Partnership*. (Изменяемая атмосфера: Тема комплексных глобальных наблюдений за химией атмосферы для Партнерства по СКГН) (GAW Report No. 159, WMO/TD-No. 1235)).

Аэрологические измерения должны охватывать весь спектр климатических режимов и типов поверхности. Программы расчета лучистого переноса, используемые для преобразования измеренных спутником исходных данных об излучении в геофизические параметры, зависят от допущений в отношении условий на поверхности. Следовательно, должны быть представлены различные локальные условия окружающей среды, в том числе в районах суши и океана.

2.2.3 Элементы, измеряемые посредством дистанционного зондирования

Спутники и другие системы дистанционного зондирования, такие как метеорологические радиолокаторы, предоставляют большое количество дополнительной информации, особенно из районов с редкой сетью наблюдений, но они пока еще не способны обеспечивать данные измерений, с требуемой точностью и однородностью, многих элементов, которые передаются с наземных станций. Пространственный охват, который они имеют, позволяет им дополнять, но не замещать сети приземных наблюдений. Элементы, которые можно измерять или оценивать дистанционно, включают осадки (с ограниченной точностью над небольшими территориями, поверхностью раздела океана и атмосферы, высокогорьем или крутым рельефом); количество облаков; радиационные потоки; радиационный баланс и альбедо; биомассу верхних слоев океана, топографию поверхности океана и высоту волн; морской ледяной покров; температуру поверхности моря; направление и скорость ветра у поверхности океана; температуру атмосферного воздуха, влажность и профили ветра; химические составляющие атмосферы; снежный покров; протяженность ледяного покрова и ледников; почвенно-растительный покров и топографию поверхности земли.

С помощью дистанционного зондирования можно обеспечить более широкий пространственно-временной охват, чем с помощью наблюдений *in situ*. Данные дистанционного зондирования также дополняют данные наблюдений с других платформ и особенно полезны, когда такие данные наблюдений отсутствуют или искажены. Несмотря на это преимущество, существуют проблемы с использованием данных дистанционного зондирования непосредственно для климатических применений. Важнее всего, что короткий период наблюдений означает, что данные дистанционного зондирования не могут использоваться для того, чтобы делать выводы о долгосрочной изменчивости и изменении климата. Кроме того, данные дистанционного зондирования могут не сопоставляться напрямую с измерениями *in situ*. Например, спутниковые оценки температуры поверхностного слоя Земли не совпадают с данными измерений температуры, проводимых в стандартной метеорологической будке, а взаимосвязь между радиолокационными измерениями отражательной способности и количеством осадков, собранных дождемерами, может быть довольно сложной. Однако можно, подходя к этому с осторожностью, построить однородные ряды, которые сочетают в себе данные дистанционных измерений и измерений *in situ*.

2.3 ПРИБОРНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Климатологические станции, которые являются частью национальной сети, следует оснащать стандартными утвержденными к использованию приборами; НМГС могут поставлять эти приборы. Если оборудование поставляется другими учреждениями или приобретается наблюдателем, учреждению, занимающемуся вопросами климата, необходимо предпринять все усилия для того, чтобы обеспечить соблюдение национальных стандартов.

В настоящем разделе содержится руководящий материал в отношении некоторых основных приборов для приземных измерений и выбора приборов. Существует несколько других публикаций ВМО, которые являются необходимыми «спутниками» настоящего Руководства; они должны быть легкодоступными и использоваться по мере необходимости. Подробный обзор приборов, пригодных для измерения климатических и других элементов на наземных и морских станциях, приводится в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8). Информация о приборах, необходимых для измерения агрометеорологических элементов, приводится в *Руководстве по агрометеорологической практике* (ВМО-№ 134), а для целей гидрологии — в *Руководстве по гидрологической практике* (ВМО-№ 168).

При выборе контрольно-измерительных приборов, в том числе каких-либо соответствующих систем обработки и передачи данных, следует соблюдать десять принципов мониторинга климата (раздел 2.1). При соблюдении этих принципов нужно учитывать следующее:

- надежность;
- соответствие эксплуатационным условиям на станции использования;
- точность;
- простота конструкции;
- назначение наблюдений.

Надежность предусматривает, чтобы приборы функционировали в рамках их проектных спецификаций в течение всего времени. Ненадежные приборы приводят к появлению пробелов в данных, их погрешностей и других неоднородностей. Надежные приборы должны быть достаточно прочными, чтобы выдерживать весь спектр метеорологических и физических экстремумов, ожидаемых в пункте наблюдений, и, возможно, манипуляции, которые являются частью измерений, выполняемых вручную.

Приборы должны соответствовать климатическим условиям, в которых они будут работать, и другому оборудованию, вместе с которым они будут функционировать. Например, приемник анемометра в холодной местности должен выдерживать обледенение, а в пустынной местности должен быть защищен от проникновения пыли. Датчики для использования на автоматических метеорологических станциях должны предоставлять выходные данные, пригодные для автоматической обработки. Например, стандартный стеклянный ртутный термометр, используемый в местах ручного режима записи, должен быть заменен термочувствительным датчиком, например термопарой, отклик которой можно преобразовать в электронный сигнал. Приборы следует размещать таким образом, чтобы можно было обеспечить свободный доступ к ним, и поддерживать их в рабочем состоянии.

В идеале следует выбирать приборы, которые обеспечивают высокий уровень точности и прецизионности, необходимых для целей климатологии. Также важно, чтобы прибор мог обеспечивать требуемый уровень точности в течение длительного времени, поскольку «дрейф» показаний прибора может привести к серьезным неоднородностям в климатических данных. Точность без надежности имеет ограниченное использование.

Чем проще прибор, тем легче его эксплуатировать и обслуживать и тем легче контролировать его эксплуатационные характеристики. Иногда необходимо установить резервные датчики (например, встроенные термисторы на станциях с автоматической регистрацией данных), чтобы правильно отслеживать эффективность и надежность в течение долгого времени. Сложные системы могут легко привести к неоднородностям в данных, потере данных, высокой стоимости обслуживания и изменению точности.

Цель наблюдений, как правило, диктует требования к измерениям. Виды приборов, установка датчиков, а также характеристики приборов должны учитываться для обеспечения соответствия требованиям к измерениям. Подробную информацию по этим вопросам, в том числе по стандартам приборов и измерений и рекомендуемой практике, можно найти в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8).

2.3.1 Основное оборудование для приземных измерений

Существуют различные варианты получения данных наблюдений за климатом со станций приземных наблюдений. К ним относятся, например, оснащение станции основными приборами, устройствами автоматической регистрации или автоматизированного вывода на периоды работы в автоматическом режиме или полностью автоматическими датчиками. При рассмотрении вариантов важно сравнить затраты на персонал, обслуживание и замену. Часто возможно проведение переговоров с производителями о ценах с учетом, например, объема закупок помимо всего прочего.

Там, где это возможно, местный подготовленный персонал, например смотритель, должен регулярно обследовать пункт наблюдений и контролировать состояние поверхности (например, рост травы), выполнять базовое техническое обслуживание приборов (например, обычная чистка), проверять на наличие повреждений и выявлять нарушения режима безопасности. Эти задачи должны выполняться по меньшей мере еженедельно на доступных наземных станциях с персоналом. Инспектирование пунктов наблюдений и приборов в удаленных местах следует проводить как можно чаще. Кроме того, в наличии должен быть персонал для проведения быстрого ремонта в случае отказа критически важных систем.

Существуют самописцы и регистраторы данных для фиксирования значений многих климатических элементов, таких как температура, влажность, ветер и интенсивность осадков. Данные необходимо переводить из автоматических записей в таблицы или цифровую форму. Наблюдатели должны обеспечивать, чтобы оборудование работало исправно и чтобы информация, записанная, например, на ленте, была четкой и ясной. Наблюдатели должны отвечать за регулярную верификацию и оценку записанных данных (путем проверки по приборам с непосредственным отсчетом показаний), а также за создание временных меток через небольшие определенные промежутки времени. Записанные данные можно эффективно использовать для того, чтобы заполнять пробелы и пополнять запись, если прямые наблюдения пропущены из-за болезни и по другим причинам отсутствия персонала на станции наблюдений. *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8) содержит конкретные руководящие указания по техническому обслуживанию и эксплуатации самопишущих приборов, барабанов и часовых механизмов.

Данные с автоматических метеорологических станций (АМС), на которых приборы автоматически записывают и передают наблюдения, обычно ограничены данными, сразу получаемыми в цифровой форме, хотя диапазон датчиков велик и продолжает расширяться. Такие станции используются в дополнение к обслуживаемым персоналом станциям и для увеличения плотности сети, частоты поступления данных и количества наблюдаемых элементов, особенно в отдаленных и преимущественно ненаселенных районах, где доступ людей затруднен. Некоторые требования к чувствительности и точности этих автоматических станций приведены в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8); другие требования находятся в процессе разработки, особенно для целей изучения изменчивости климата.

Во многих странах АМС привели к снижению эксплуатационных затрат. Выбирая между программами наблюдений обслуживаемых станций и АМС, национальным метеорологическим и гидрологическим службам необходимо учитывать ряд аспектов. Несмотря на то, что АМС обеспечивают значительные возможности для получения высокочастотных данных, а также дополнительных данных из удаленных мест, требуются значительные затраты, связанные с эксплуатацией АМС, включая трудовые затраты на техническое обслуживание и обеспечение надежности АМС, обеспечение рабочей силы, возможность доступа для установки и технического обслуживания, наличие соответствующих источников энергии, возможность обеспечения безопасности пункта наблюдений и инфраструктуры связи. Эти аспекты следует тщательно сопоставить со значительными преимуществами, такими как более плотная и обширная сеть. Автоматические метеорологические станции могут быть мощной альтернативой неавтоматизированным программам наблюдений, а иногда и единственным вариантом, но чтобы их успешно эксплуатировать, требуется сильная организационная приверженность.

К морским приборам относятся дрейфующие и заякоренные буи для сбора данных, буи на льдинах и глубинные поплавки. Несмотря на то, что данные собираются дистанционно, такими приборами обычно проводятся измерения *in situ*. Это экономически эффективные средства получения метеорологических и океанографических данных из отдаленных районов океана. В силу этого они являются важной частью систем морских наблюдений, а также метеорологических и океанографических оперативных и научно-исследовательских программ. Например, система буюв для наблюдений за тропической зоной океана/атмосферой позволила своевременно получать высококачественные океанографические и приземные метеорологические данные по всей экваториальной части Тихого океана для мониторинга, прогнозирования и понимания колебаний климата, связанных с явлениями Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

2.3.2 Аэрологические приборы

В прошлом большая часть климатологических данных о верхних слоях атмосферы рассчитывалась по результатам измерений, проводимых для синоптического прогноза с помощью аэростатных радиозондов. Различные методы и приборы используются для измерения давления, температуры, влажности и ветра, а также для преобразования выходных данных приборов в метеорологические величины. Каждой НМГС важно выпускать соответствующую техническую документацию для каждой аэрологической станции с целью надлежащего использования оборудования и правильной интерпретации данных. В *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544) содержится требование о том, чтобы в Секретариат ВМО незамедлительно сообщалось об изменениях типов радиозондов или систем измерения ветра, находящихся в эксплуатации на станции.

Существует несколько проблем, касающихся качества радиозондовых измерений для целей мониторинга климата и обнаружения изменения климата. Погрешности, обусловленные радиацией, порождают неопределенности в измерении температуры. Стандартные радиозонды не способны измерять водяной пар с достаточной точностью при низких температурах. Типы датчиков, особенно датчиков влажности, со временем изменились. Пространственный охват радиозондовых наблюдений не является однородным; большая часть станций расположена в районах земной поверхности северного полушария, в то время как сети в южном полушарии и океанические сети являются гораздо менее плотными. Многолетний ряд данных радиозондовых наблюдений имеет многочисленные недостатки, связанные с недостаточным количеством взаимных сравнений различных типов радиозондов и установленных на них датчиков и различием в размещении; метаданные, касающиеся оборудования, процедур сжатия и обработки данных, крайне важны для использования данных радиозондирования в климатических приложениях. Разрабатываются новые эталонные радиозонды для минимизации недостатков в существующих стандартных радиозондах. Ограниченная сеть этих радиозондов будет использоваться для калибровки и валидации различных спутниковых наблюдений за температурой и водяным паром.

Система аэрологических наблюдений может со временем меняться в условиях технического прогресса. Таким образом, одним из ключевых требований к сети является надлежащий период одновременного функционирования систем для поддержания непрерывности и обеспечения полноценного сравнения точности и прецизионности старых и новых систем. Следует проводить регулярную калибровку измерительных систем на месте проведения наблюдений. Крайне необходимо, чтобы стратегии замены приборов учитывали изменения в других сетях, например использование спутников. При разработке и эксплуатации системы аэрологических наблюдений следует руководствоваться принципами мониторинга климата (см. 2.1).

2.3.3 Наземное дистанционное зондирование

В дистанционном зондировании могут использоваться как активные, так и пассивные датчики. Системы активных датчиков испускают ту или иную форму излучения, которое рассеивается различными целями; датчики обнаруживают обратное рассеяние. Пассивные датчики измеряют излучение, испускаемое (или модифицированное) окружающей средой.

Наиболее распространенным техническим средством наземного активного дистанционного зондирования является метеорологический радиолокатор. Короткий импульс микроволновой энергии высокой мощности концентрируется антенной системой в узкий луч. Этот луч рассеивается обратно зондируемыми осадками, при этом обратно рассеянное излучение принимается, как правило, той же антенной системой. Место выпадения осадков можно определить по азимуту и углу возвышения антенны и по времени между передачей энергии и приемом отраженной энергии. Мощность принимаемого излучения зависит от характера осадков, и сигнал можно обработать, чтобы оценить их интенсивность. Условия атмосферы и окружающей среды могут негативно сказаться на радиолокационных данных, и при интерпретации информации следует проявлять осторожность. К видам такого влияния относятся, например, отражение от гор, зданий и других неметеорологических объектов; затухание радиолокационного сигнала при просмотре отражений от облаков или атмосферных осадков во время его прохождения через зону интенсивных осадков; инверсии температуры в нижних слоях атмосферы, которые отклоняют радиолокационный луч таким образом, что наблюдаются отражения от местных наземных объектов там, где они обычно не ожидаются; и полоса увеличения радарного эха, которая представляет собой слой усиленного отражения, вызванного таянием ледяных частиц при их прохождении через уровень замерзания в атмосфере, что может привести к завышенной оценке количества осадков. Использование радиолокационных данных в исследованиях климата ограничено возможностями доступа и обработки, неопределенностями при калибровке и изменениями в калибровке, а также сложной взаимосвязью между отражательной способностью и осадками.

Профилометры ветра основаны на радиолокации, применяемой для определения вертикальных профилей скорости и направления горизонтального ветра в слое от поверхности земли до тропопаузы. Флуктуации плотности атмосферы обусловлены турбулентным перемешиванием воздуха с различной температурой и влажностью. Флуктуации показателя преломления используются в качестве индикатора среднего ветра. Хотя профилометры ветра лучше всего работают при ясном небе, они способны работать при наличии облаков и умеренных осадков. Если профилометры оснащены системой радиоакустического зондирования, они также могут измерять и определять вертикальные профили температуры. Скорость звука в атмосфере зависит от температуры. Отслеживается прохождение акустических волн через атмосферу, и профиль температуры оценивается по скорости распространения звуковых волн.

Обнаружение молний является наиболее распространенным применением пассивного наземного дистанционного зондирования. Датчики молний сканируют диапазон электромагнитных частот для обнаружения электрических разрядов в облаках, между облаками или между облаками и землей. Характеристики полученного излучения (такие, как амплитуда, время поступления, направление источника, знак и другие характеристики формы волны) измеряются, и из них выводятся характеристики вспышек молний. Один

датчик не может точно определить координаты вспышек молний; данные с нескольких датчиков поступают в централизованную базу в центральном процессоре грозовой активности. Процессор обрабатывает и объединяет данные с многочисленных датчиков для определения координат и характеристик наблюдаемых вспышек молний. Точность и эффективность сети грозорегистраторов постепенно снижается к ее внешним границам. Обнаруженная волна будет распространяться при не слишком большом затухании на расстояние в зависимости от используемого диапазона частот, но если вспышка молнии произошла на слишком большом расстоянии от сети (расстояние меняется в зависимости от амплитуды разряда и конфигурации сети), разряд может больше не обнаруживаться.

2.3.4 Дистанционное зондирование с борта воздушного судна и из космоса

Многие магистральные воздушные суда оснащены системами автоматической регистрации, которые регулярно сообщают значения температуры и ветра, а в некоторых случаях влажности, во время полета по маршруту. Некоторые воздушные суда регистрируют и сообщают данные частых наблюдений во время взлета и снижения, значительно пополняя данные стандартного радиозондирования, по крайней мере по тропосфере. Эти данные ассимилируются с помощью систем оперативного метеорологического анализа и программ повторного анализа и в итоге существенно пополняют более широкий ряд климатических данных.

Авиационные системы ретрансляции метеорологических данных работают на воздушных судах, оснащенных навигационными и другими системами зондирования. Имеются датчики для измерения воздушной скорости, температуры воздуха и атмосферного давления. Другие данные, касающиеся местоположения, ускорения и ориентации воздушного судна, получаются с помощью навигационной системы воздушного судна. Воздушные суда также оснащены бортовыми компьютерами для систем навигации и управления полетами, посредством которых постоянно вычисляются и предоставляются для экипажа навигационные и метеорологические данные. Данные автоматически поступают в систему авиационной связи для передачи на землю, или в качестве альтернативы на воздушном судне может использоваться специальный пакет программ обработки данных для того, что получить доступ к исходным данным из бортовых систем и самостоятельно извлечь метеорологические переменные. Как правило, сообщения, передаваемые на наземные станции, содержат данные о скорости и направлении горизонтального ветра, температуре воздуха, высоте полета (связана со стандартной изобарической поверхностью), турбулентности, сроке наблюдения, фазе полета и местоположении воздушного судна. Эти данные используются авиационными диспетчерами для обеспечения безопасности полетов и синоптиками.

Существует потенциально большое количество источников ошибок, создающих неопределенности в измерениях с борта воздушного судна. В процессе расчета можно ожидать неопределенность, составляющую примерно 5—10 процентов. Еще одна проблема возникает при выборе интервала измерений и общего времени усреднения. Изучение типичных временных рядов данных вертикального ускорения часто свидетельствует о высокой изменчивости статистических характеристик на коротких расстояниях. Изменение воздушной скорости для отдельно взятого воздушного судна и для разных типов воздушных судов влечет за собой изменение расстояний, через которые проводятся измерения, и изменения фильтруемых длин волн. Хотя данные с воздушных судов не так точны, как данные большинства наземных систем наблюдений, они могут давать полезную дополнительную информацию в метеорологические базы данных.

Спутниковые данные добавляют ценную информацию в климатические базы данных благодаря своему широкому географическому охвату, особенно по районам со скудными или полностью отсутствующими данными *in situ*. Спутники очень полезны для мониторинга таких явлений, как протяженность полярного морского льда, снежный покров, активность ледников, изменение уровня моря, растительный покров и содержание влаги, а также активность тропических циклонов. Они также помогают улучшить синоптический анализ, являющийся важным компонентом синоптической климатологии.

В методах зондирования используются излучательные, поглощающие и рассеивающие свойства атмосферы и поверхности Земли. Физические уравнения радиационного переноса предоставляют информацию о радиационных свойствах атмосферы и поверхности Земли, а с помощью инверсии уравнения радиационного переноса можно получить информацию о таких геофизических свойствах, как профили температуры и влажности, температура поверхностного слоя и свойства облаков.

Графические изображения и спецификации спутниковых платформ и датчиков приведены в публикации *Statement of Guidance Regarding How Well Satellite Capabilities Meet WMO User Requirements in Several Application Areas* (Заявление о руководящих принципах определения того, насколько хорошо возможности спутников удовлетворяют потребности пользователей ВМО в нескольких областях применений) (SAT-22, WMO/TD-No. 992). Элементы, точность и пространственно-временное разрешение данных измерений с помощью спутников рассматриваются в следующих публикациях: *Capacity-building Training Workshop on Reducing the Impacts of Climate Extremes on Health* (Учебно-практический семинар по снижению воздействия экстремальных климатических явлений на здоровье) (WCASP-No. 59, WMO/TD-No. 1162), глава 1; *Guideline for the Generation of Satellite-based Datasets and Products Meeting GCOS Requirements* (Руководство по созданию полных комплектов спутниковых данных и продукции в целях удовлетворения потребностей ГСНК) (GCOS-128, WMO/TD-No. 1488), раздел 4, и вышеупомянутая публикация WMO/TD-No. 992, раздел 3.1 и приложение А.

История и будущие планы в отношении спутниковых платформ и датчиков приведены в публикации *Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate* (Потребности в систематических наблюдениях для подготовки продукции на основе спутниковых данных в целях изучения климата) (GCOS-107, WMO/TD-No. 1338). Технологии дистанционного зондирования быстро развиваются, и оперативные планы в отношении платформ и датчиков могут время от времени меняться. В связи с этим при использовании данных дистанционного зондирования нужно обращаться к новейшим документам. Отчеты, опубликованные Комитетом по спутниковым наблюдениям за Землей и размещенные в сети Интернет, помогают в поиске свежей информации о спутниках.

Как и в случае наземного дистанционного зондирования, спутниковые и другие бортовые датчики можно разделить на две группы: пассивные и активные. К пассивным датчикам относятся приборы для получения изображений, радиометры и зонды. Они измеряют излучение, испускаемое атмосферой или поверхностью Земли. Значения их измерений преобразуются в геофизическую информацию, такую как вертикальные профили водяного пара, температуры и озона; информация об облаках; температура поверхности океана и земли; а также цвет океана и земли. Длина волны, на которой работает датчик, влияет на итоговую информацию, при этом различные длины волн имеют различные преимущества и недостатки.

К активным датчикам относятся радиолокаторы, скаттерометры и лидары. Они измеряют сигнал обратного рассеяния от цели наблюдения, когда она освещается источником излучения, испускаемого от платформы. Их преимущество в том, что точное расстояние до цели наблюдения можно получить путем измерения интервала времени между излучением и возвратом сигнала, а использование сильно сфокусированного и направленного луча может предоставить информацию о местоположении. Сигналы обратного рассеяния можно преобразовать в значения скорости и направления ветра, динамической высоты поверхности океана и волнового спектра, завихренности касательного напряжения ветра в океане и геострофического течения, свойств облаков, интенсивности осадков, а также в информацию о протяженности ледников.

Иногда можно получить информацию на основе спутниковых данных, которые первоначально не были предназначены для целей климатологии. Например, Глобальная система определения местоположения использует сеть из десятков спутников для содействия навигации. Но, измеряя задержки распространения сигналов в Глобальной системе определения местоположения, можно определить содержание водяного пара в атмосфере.

Две взаимодополняющие орбиты используются для оперативных спутников, ведущих наблюдения за окружающей средой: геостационарная и полярно-орбитальная. На геостационарной орбите спутник, находящийся на высоте около 36 000 км над экватором, обращается вокруг Земли один раз каждые 24 часа. Поэтому спутник остается неподвижным относительно Земли и, таким образом, позволяет осуществлять непрерывный мониторинг, наблюдать характеристики атмосферы и рассчитывать скорость ветра. Полярно-орбитальные спутники расположены, как правило, на высоте около 800 км над поверхностью, двигаясь практически от севера к югу относительно Земли. Наблюдения за большей частью земного шара проводятся с помощью комплекта приборов, установленных на оперативных полярно-орбитальных спутниках, дважды в сутки с интервалом примерно в 12 часов. Неудобства, связанные с только двумя проходами в сутки, компенсируются более высоким пространственным разрешением и большим многообразием установленных приборов, а также способностью видеть высокие широты, которые плохо прослеживаются с геостационарной орбиты.

Специалисты-климатологи должны признать необходимость рационального использования научных данных как в виде «сырых» результатов дистанционных измерений, так и в виде данных, обработанных для климатических целей. Помимо десяти принципов, перечисленных в 2.1, спутниковые системы также должны соответствовать следующим принципам:

1. следует вести постоянные наблюдения в рамках суточного цикла (сводя к минимуму последствия изменения и смещения орбиты);
2. следует обеспечивать параллельные наблюдения в течение периода, достаточного для определения систематической разницы результатов наблюдений, полученных с разных спутников;
3. следует обеспечивать непрерывность спутниковых измерений (т. е. исключение разрывов в многолетнем ряду наблюдений) посредством соответствующих стратегий запусков спутников и выбора их орбит;
4. на предпусковом этапе необходимо обеспечивать тщательное снятие характеристик и калибровку приборов, включая подтверждение их соответствия международной радиационной шкале, предоставляемой национальным метрологическим учреждением;
5. следует обеспечивать бортовую калибровку, рассчитанную на наблюдения за климатической системой, и контроль соответствующих характеристик приборов;
6. следует поддерживать оперативное создание приоритетной климатической продукции и, по мере надобности, внедрять новую, прошедшую экспертную проверку продукцию;
7. следует создавать и поддерживать в рабочем состоянии системы данных, необходимые для содействия доступу пользователей к климатической продукции, метаданным и необработанным данным, включая ключевые данные для анализа в неоперативном режиме;
8. следует как можно дольше использовать все функционирующие базовые приборы, соответствующие указанным выше требованиям к калибровке и стабильности, даже если они установлены на спутниках, выведенных из эксплуатации;
9. с помощью соответствующей деятельности и сотрудничества следует проводить дополнительные опорные наблюдения *in situ* для сравнения спутниковых измерений;
10. следует определять случайные ошибки и изменяющиеся во времени отклонения в спутниковых наблюдениях и полученной на их основе продукции.

Наставление по Глобальной системе наблюдений (ВМО-№ 544) содержит руководящие указания по различным компонентам наблюдательных систем.

2.3.5 Калибровка приборов

Для определения пространственно-временной изменчивости климата чрезвычайно важно оценивать и периодически проверять относительную точность отдельных датчиков, используемых на сети в одно время, а также обеспечивать сопоставимость характеристик датчиков и систем на замену с характеристиками замененных датчиков и систем. В *Наставлении по Глобальной системе наблюдений (ВМО-№ 544)* указывается, что все станции должны быть оборудованы приборами, прошедшими надлежащую калибровку. Подробную информацию о методах калибровки можно найти в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений (ВМО-№ 8)*. Для целей климатологии обычно недостаточно полагаться на калибровку, выполненную производителями, и неправильно предполагать, что калибровка не будет тем или иным образом меняться со временем.

Следует проводить сравнения результатов измерений, полученных с помощью приборов или систем, с результатами измерений переносных стандартных приборов при поступлении на станцию приборов на замену и во время каждой очередной инспекции станций (см. 2.6.6). Транспортируемые эталоны следует проверять на соответствие национальным образцовым эталонам до и после каждого перемещения, и они должны быть устойчивы к транспортировке и должны выдерживать изменения в калибровке. Записи об изменениях приборов и изменениях в калибровке должны храниться и предоставляться в виде метаданных, поскольку они имеют большое значение для оценки истинных колебаний климата (см. 2.6.9)

В ходе инспекций АМС, установленных в удаленных местах, следует производить наблюдения с использованием транспортируемых эталонов для последующего сравнения с записанными выходными данными АМС после их получения в пункте приема данных. На некоторых НМГС имеются автоматизированные процедуры обнаружения неисправностей или дрейфа показаний приборов, которые сравнивают отдельные измерения с измерениями на сети и со значениями, проанализированными на основе расчетных полей. Эти автоматизированные процедуры полезны для обнаружения не только дрейфа, но и аномальных ступенчатых изменений.

Некоторые НМГС используют свои собственные средства калибровки или пользуются услугами аккредитованных компаний для выполнения калибровки. Региональные органы в рамках ВМО, осуществляющие калибровку, отвечают за поддержание и калибровку образцовых средств измерения, выдачу сертификатов соответствия прибора стандартам, организацию проведения оценок приборов и предоставление консультаций по эксплуатации приборов.

В *Плане ГСНК по космическим наблюдениям* детально описываются требования к калибровке, взаимной калибровке перекрывающихся рядов данных наблюдений и метаданным для приборов дистанционного зондирования из космоса. План Глобальной космической системы взаимных калибровок заключается в сравнении излучения, измеряемого одновременно парами спутников в точках пересечения их наземной трассы орбиты, в частности там, где перекрываются зоны охвата полярно-орбитального спутника и геостационарного спутника. Такая взаимная калибровка обеспечит глобально согласованную калибровку на оперативной основе.

Для калибровки метеорологических радиолокаторов требуется измерение таких системных характеристик, как частота передачи и мощность, коэффициент усиления антенны, раствор луча, выходная мощность приемника и фильтрация. Контроль характеристик обеспечивает, чтобы другие системные характеристики, такие как ориентация антенны, боковые поля, длительность импульса и форма импульса, конфигурация луча и уровень шумов приемника, находились в допустимых пределах.

Отклонения показаний датчиков обнаружения молний или параметров центрального процессора грозовой активности представляют собой проблемы, которые следует выявлять посредством регулярного анализа данных (например, перекрестная проверка поведения датчика и анализ параметров грозового разряда). Следует также проводить сравнение с данными других наблюдений грозовой деятельности, такими как результаты визуальных наблюдений, например «слышен гром» или «видна молния», или данными наблюдений кучево-дождевых облаков. Как и в случае метеорологических радиолокаторов, следует регулярно осуществлять контроль и проводить калибровку характеристик системы.

2.4 РАЗМЕЩЕНИЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Требования к точному размещению конкретных приборов, используемых на климатологических станциях, направленные на оптимизацию точности инструментальных измерений, рассматриваются в *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), часть III, в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8) и в публикации *Representativeness, Data Gaps and Uncertainties in Climate Observations* (Репрезентативность, пропущенные данные и неопределенность в климатических наблюдениях) (WMO/TD-No. 977). Эти публикации являются необходимым дополнением к настоящему Руководству.

Репрезентативность и однородность климатологических рядов данных тесно связаны с местоположением пункта наблюдений. Станция, расположенная на поверхности или около крутого склона, горного хребта, скалы, лощины, здания, стены или другого препятствия, скорее предоставляет данные, которые более репрезентативны для самого места, а не для более широкого района. Станция, на которую влияет или будет влиять рост растительности, в том числе даже ограниченный рост деревьев рядом с датчиком, рост высокостебельных культур или леса неподалеку, возведение зданий на прилегающих территориях или увеличение (или уменьшение) дорожного или воздушного движения (в том числе в связи с изменениями в использовании взлетно-посадочных полос или рулежных дорожек), не будет обеспечивать ни в целом репрезентативные, ни однородные данные.

Климатологическую наблюдательную станцию следует располагать в таком месте, которое позволяет правильно размещать измерительные приборы и иметь максимально широкий обзор неба и окружающей местности, если требуются данные визуальных наблюдений. Обычные и главные климатологические станции следует размещать на ровном участке земли, покрытом низкой травой; пункт наблюдений должен находиться достаточно далеко от деревьев, зданий, стен и крутых склонов и не в лощине. Участок земли площадью примерно 9 метров на 6 метров подходит для приборов, измеряющих температуру и влажность наружного воздуха, а участок обнаженной земли площадью 2 метра на 2 метра идеально подходит для наблюдений за состоянием грунта и измерений температуры почвы. Участок немного большего размера (10 метров на 7 метров) предпочтительнее, если в пункте наблюдений планируется установить дождемер в дополнение к другим датчикам.

Многие НМГС придерживаются правила, согласно которому расстояние от какого-либо препятствия, в том числе ограждения, до дождемера должно превышать высоту препятствия более чем в два, а лучше в четыре раза. В общих чертах, анемометры должны помещаться на расстоянии от тех или иных препятствий, превышающем высоту препятствия не менее чем в 10, а желательно в 20 раз. Различные требования к размещению различных приборов могут стать причиной разделения места, где некоторые элементы наблюдаются из одной точки, а другие элементы наблюдаются поблизости, при этом данные по всем элементам объединяются под одним идентификатором пункта наблюдений.

Предотвращение несанкционированного проникновения является очень важным фактором и может потребовать обнесения забором. Важно, чтобы такие меры

безопасности сами по себе не мешали размещению пункта наблюдений. Для автоматических станций, как правило, требуется высокий уровень безопасности для защиты от проникновения животных и несанкционированного доступа людей; для них также требуется наличие подходящих и надежных источников питания, и, возможно, дополнительная защита от паводков, листопада и песчаных заносов.

Обычные и главные климатологические станции следует размещать в таких местах и на таких административных условиях, которые позволяют постоянно эксплуатировать станцию, и при этом ее размещение будет оставаться неизменным в течение десяти или более лет. Для станций, используемых или созданных для определения долгосрочного изменения климата, таких как опорные климатологические станции и другие опорные станции сети ГСНК, требуется постоянное размещение и эксплуатация на протяжении многих десятилетий.

Пункты наблюдений и приборы следует надлежащим образом обслуживать, чтобы качество наблюдений не ухудшалось в период между проведением инспекций на станциях. Плановое профилактическое техническое обслуживание включает регулярный уход за пунктами наблюдений (например, кошение травы и чистка незащищенных поверхностей измерительных приборов, в том числе термометрических будок) и проверки приборов, рекомендуемые производителями. Плановые проверки в рамках управления качеством, проводимые на станции или в центральном пункте, должны быть направлены на обнаружение неисправностей оборудования на как можно более ранней стадии. В зависимости от характера неисправности и типа станции оборудование следует заменять или ремонтировать в соответствии с согласованными приоритетами и временными интервалами. Особенно важно вести журнал неисправностей приборов и принятых мер по их устранению там, где используются данные для климатологических целей. Такой журнал будет главной основой для метаданных пункта наблюдений и, следовательно, станет неотъемлемой частью ряда климатических данных. Подробную информацию по обслуживанию пункта наблюдений можно найти в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8, 1.2.5.2).

Дополнительные ограничения в отношении выбора местоположения применяются к станциям ГСА, созданным для предоставления данных о химическом составе атмосферы, как описано в *Техническом регламенте* (ВМО-№ 49), том I, часть I, 6.1. Эти ограничения включают необходимость отсутствия существенных изменений в практике землепользования в пределах 50 км от пункта наблюдений, а также отсутствия воздействий локального и районного загрязнения, например, от основных густонаселенных центров, в результате промышленной деятельности и ведения экстенсивного сельского хозяйства, от автомобильных дорог, вулканической активности и лесных пожаров. Как глобальные, так и региональные станции ГСА должны находиться в пределах 70 километров от аэрологической синоптической станции.

Условия городской среды делают невозможным соблюдение стандартных руководящих принципов выбора местоположения и размещения приборов, необходимых для создания однородных рядов данных, которые могут использоваться для описания климата в более крупном масштабе. Тем не менее, городские площадки наблюдений сами по себе имеют значение для мониторинга реальных изменений локального климата, который может быть существенным для широкого диапазона применений. Руководящие принципы в отношении выбора городских площадок, установки оборудования и интерпретации данных наблюдений приведены в публикации *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites* (Первоначальное руководство по получению репрезентативных метеорологических наблюдений на городских площадках) (WMO/TD-No. 1250). Существенной для этого руководства является необходимость четкого понимания назначения наблюдений и получения данных измерений, которые являются репрезентативными для городской среды. Во многих городских условиях следование стандартной практике представляется возможным, но может потребоваться проявить гибкость при выборе местоположения городских станций и оборудования. Эти характеристики повышают важность поддержания метаданных, которые точно описывают размещение станции и оборудования.

2.5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Сеть станций представляет собой несколько станций одного типа (например, группа осадкомерных станций, станций для измерения радиации или климатологических станций), управление которыми осуществляется как единой группой. Для каждой сети необходимо выбирать оптимальные решения для того, чтобы она предоставляла данные и функционировала согласно требованиям, а расходы на обеспечение ее функционирования были приемлемыми. Большинство методов оптимизации опираются на данные уже существующей сети, поступающие на протяжении достаточно длительного периода, чтобы правильно документировать характеристики метеорологических полей. Они основаны как на временном, так и на пространственном статистическом анализе временных рядов. Сложно заранее оценить, насколько длинными должны быть ряды данных, поскольку количество лет, необходимое для получения характеристик изменчивости и изменения, может меняться в зависимости от климатического элемента. Принято считать, что необходимо, по меньшей мере, десять лет ежедневных наблюдений для получения соответствующих базовых статистических параметров для большинства элементов и, по меньшей мере, тридцать лет для осадков. Однако наблюдаемые глобальные и региональные климатические тренды и изменчивость во многих районах земного шара за прошедшее столетие говорят о том, что такие короткие периоды наблюдений могут являться не очень репрезентативными для аналогичных последующих периодов.

Выявление избыточных станций позволяет администраторам сетей изучать варианты оптимизации сетей, например, посредством устранения избыточных станций для снижения затрат или посредством использования ресурсов для создания станций в местах, где необходимы наблюдения для более эффективного выполнения задач сетей. Администраторы сетей должны учитывать относительно высокую пространственную когерентность, которая существует для некоторых полей метеорологических элементов, таких как температура. Методы, используемые для оценки уровня избыточности информации, включают применение пространственной дисперсионно-ковариационной матрицы имеющихся станций, множественной линейной регрессии, канонического анализа и экспериментов по моделированию систем наблюдений (см. главу 5).

Плотность и распределение климатологических станций, которые должны быть созданы в рамках наземной сети в конкретном районе, зависят от метеорологических элементов, подлежащих наблюдению, рельефа местности и видов землепользования в районе, а также потребностей в информации о конкретных климатических элементах. Темпы изменчивости климатических элементов по всему району будут различаться в зависимости от элементов. Редкая сеть подходит для изучения приземного давления, довольно густая сеть — для изучения максимальной и минимальной температуры, а очень плотная сеть — для исследования климатологии осадков, ветра, мороза и тумана, особенно в регионах с ярко выраженным рельефом.

Станции следует размещать таким образом, чтобы получать репрезентативные климатические характеристики, которые соответствуют всем типам рельефа, таким как равнины, горы, плато, побережья и острова, и поверхностного покрова, таким как леса, городские зоны, сельскохозяйственные угодья и пустыни, в исследуемом районе. Плотность станций должна определяться целями проведения наблюдений и назначения данных. Для данных, используемых в отраслевых применениях внутри того или иного района, может понадобиться более высокая плотность расположения станций, где деятельность или здоровье человека чувствительны к климату, и меньшая плотность — в местах с меньшим количеством людей. При планировании наземной сети часто нужно находить оптимальное сочетание между идеальной плотностью станций и имеющимися ресурсами для размещения, эксплуатации и администрирования станций.

Распределение станций в рамках региональной опорной синоптической сети (РОСС), с которой поступают ежемесячные приземные климатологические данные, должна иметь плотность, достаточную для обеспечения точного описания атмосферы для пользователей данных этих наблюдений.

Сеть климатологических данных должна давать удовлетворительное представление о климатических характеристиках всех типов поверхности на территории соответствующего Члена (например, равнины, горные регионы, плато, берега и острова). Региональные опорные синоптические сети как станций приземных наблюдений, так и аэрологических станций, а также региональные опорные климатологические сети (РОКС) климатологических станций создаются для удовлетворения потребностей, определенных региональными ассоциациями (см. *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), часть III, 2.1.3.2).

Каждый Член должен создать и эксплуатировать как минимум одну опорную климатологическую станцию для определения климатических трендов. Такие станции должны обеспечивать более чем 30-летние однородные ряды данных и размещаться там, где антропогенные изменения окружающей среды были и, как ожидается, останутся на минимальном уровне. Информацию об агрометеорологических и гидрометеорологических сетях и пунктах наблюдений можно найти соответственно в публикации *Guide to Agricultural Meteorological Practices* (Руководство по агрометеорологической практике) (ВМО-№ 134) и *Руководстве по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), а дополнительный руководящий материал приведен в *Наставлении по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160).

Национальная деятельность в области информации об окружающей среде часто осуществляется многими сторонами, чьи вклады являются взаимодополняющими и порой дублирующими. Та или иная страна получает выгоду от использования информации об окружающей среде, собираемой и распространяемой как правительственными, так и неправительственными организациями (включая частные компании, коммунальные предприятия и университеты). Для оптимизации ресурсов весьма желательны надлежащим образом оформленные партнерские отношения между НМГС и этими другими сторонами. Поскольку данные и информация, получаемые не из источников, принадлежащих НМГС, обычно не находятся под контролем НМГС, метаданные играют критически важную роль для наиболее эффективного использования этой информации. Что касается станций, эксплуатируемых НМГС, следует получать и документировать метаданные о приборах, местоположении, процедурах обработки, методологиях и обо всем, что могло бы способствовать расширению использования информации. Также следует поддерживать метаданные и обеспечивать к ним доступ. Для обеспечения открытого и неограниченного обмена информацией об окружающей среде, в том числе данными метеорологических наблюдений, крайне желательно, чтобы НМГС было предоставлено право в полной мере использовать все климатические данные и информацию, получаемые от партнеров, без ограничения, как если бы это были их собственные данные. Возможно, понадобится составить и подписать на уровне высшего руководства соответствующий договор или меморандум о взаимопонимании между НМГС и другими организациями.

В дополнение к данным со стандартных и частных сетей климатологических станций, иногда имеются данные наблюдений с сетей временных станций, созданных в рамках научно-исследовательских программ, а также данные измерений, произведенных на различных разрезах и профилях. НМГС должны стремиться получить эти данные и связанные с ними метаданные. Хотя данные могут не идеально подходить для обычной архивации, они часто оказываются весьма ценными в качестве дополнительной информации, например для исследования конкретных экстремальных явлений. Если эти данные наблюдений получены из районов с редкой наблюдательной сетью, они представляют большую ценность.

2.6 ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ

Руководящий материал в данном разделе касается в основном наблюдений на обычных климатологических станциях (на которых наблюдения, как правило, производятся два раза в день, но в некоторых случаях только один раз в день, и включают регистрацию экстремальных значений температуры и осадков). Также представлен

руководящий материал по осадкомерным станциям (станции, на которых каждый день производятся одно или несколько наблюдений только за осадками). Регламентный и руководящий материал по главным климатологическим станциям (которые обычно также функционируют как станции синоптических наблюдений) и другим видам климатологических станций можно найти в *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544).

2.6.1 Сроки наблюдений

Наблюдения на обычных климатологических и осадкомерных станциях следует производить, по крайней мере, один раз (а желательно два раза) каждый день в определенное время, которое не меняется в течение всего года. На главных климатологических станциях наблюдения следует производить, по меньшей мере, три раза в день в дополнение к ежечасному сведению в таблицы автоматических записей, а в том случае, когда отсутствуют автоматические наблюдения, неавтоматические наблюдения обычно проводятся ежечасно. С практической точки зрения сроки производства наблюдений должны совпадать с рабочим днем наблюдателя, обычно одно наблюдение утром и одно — днем или вечером. Если используется летнее время для какой-либо части года, наблюдения необходимо продолжать производить по заданному местному времени; следует фиксировать даты начала и окончания действия летнего времени. Если это возможно, сроки наблюдений должны совпадать с основными или промежуточными стандартными сроками синоптических наблюдений (Всемирное скоординированное время (BCV) 00:00, 03:00, 06:00 и так далее). Если условия позволяют производить только одно наблюдение в день, это наблюдение следует производить в стандартное местное время между 07:00 и 09:00.

При выборе графика производства климатологических наблюдений следует избегать сроков, совпадающих со временем, или близких к нему, нормального наступления повседневной минимальной и максимальной температуры. Количество осадков и максимальная температура, отмечаемые в ходе раннего утреннего наблюдения, следует записывать в счет предыдущего календарного дня, а максимальную температуру, зарегистрированную в ходе дневного или вечернего наблюдения, следует записывать в счет дня, в который она наблюдалась.

Сроки наблюдений нередко различаются между сетями. Сводные данные наблюдений, например, температурных экстремумов или общего количества осадков, произведенных за один 24-часовой период (например, с 08:00 одного дня до 08:00 следующего дня), не эквивалентны данным наблюдений, произведенным за другой 24-часовой период (например, с 00:00 до 24:00).

Если в сроки наблюдений по всей сети вносятся изменения, следует производить одновременные наблюдения на опорной сети репрезентативных станций в течение периода, охватывающего основные климатические сезоны в районе, в старые и новые сроки наблюдений. Эти одновременные наблюдения следует оценивать, чтобы определить наличие систематических погрешностей в результате изменения сроков наблюдений. Идентификаторы станции для старых и новых сроков наблюдений должны быть едиными для сообщения и архивации.

2.6.2 Регистрация и сообщение наблюдений

Сразу же после производства наблюдения на обслуживаемой персоналом станции наблюдатель должен занести данные в журнал, книгу для записей или регистр, который имеется на станции для этой цели. Или же наблюдение можно ввести или переписать сразу в компьютер или терминал передачи данных и базу данных. В некоторых странах законодательные или юридические учреждения (например, суды общей юрисдикции) могут требовать сохранять бумажные записи или распечатки исходных записей для использования в качестве доказательств в судебных делах; или же могут возникнуть трудности, связанные с принятием информации, генерируемой базой данных.

Наблюдателю следует обеспечивать полную и точную запись наблюдения. С заданной частотой (от «незамедлительно» до одного раза в месяц) в зависимости от потребностей НМГС данные необходимо переводить из записи на станции (включая компьютерную базу данных) в конкретную форму отчета для отправки (по почте или в электронном виде) в центральный офис.

Персонал климатологической станции должен обеспечивать наличие точной копии соответствующей информации в форме отчета. В случае бумажных записей следует обращать особое внимание на необходимость хорошего четкого почерка, «чистых» журналов и форм отчета. Обычно бывает так, что в местную запись вводят больше информации, возможно относящейся к необычным метеорологическим явлениям и событиям, чем требуется центральному офису. Запись на станции должна сохраняться и быть легкодоступной, чтобы персонал станции мог реагировать на любые запросы центрального офиса в отношении возможных ошибок или упущений в форме отчета. Некоторые службы просят наблюдателей направлять журналы в национальный климатический центр для долговременного архивного хранения.

Некоторые национальные климатические центры требуют, чтобы персонал станции рассчитывал и указывал месячные суммы и среднемесячные значения осадков и температуры, чтобы данные можно было легко проверить в отделении или центральном офисе. Кроме того, либо климатический центр, либо наблюдатель в случае необходимости должен кодировать данные для сообщений CLIMAT, как описано в *Пособии по подготовке сводок CLIMAT и CLIMAT TEMP* (ВМО/ТД-№ 1188). Программное обеспечение для кодирования данных разработано ВМО. Наблюдатель должен фиксировать в станционном журнале и в формах отчета характер и время возникновения каких-либо повреждений или отказа приборов, мероприятия по техническому обслуживанию и любые изменения в оборудовании или размещении станции, поскольку такие события могут существенно влиять на данные наблюдений и, следовательно, на климатологический ряд данных. В случае необходимости следует предоставить инструкции по передаче данных наблюдений в электронном виде. Если методом передачи является почта, станция должна получить инструкции по почтовому отправлению, а также конверты с обратным адресом и марками для отправки форм отчетов в центральный климатический офис.

2.6.3 Управление качеством на местах

Общие руководящие указания в отношении управления качеством наблюдений и отчетов на местах приведены в *Наставлении по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), часть III, 2.7.3, а подробные руководящие указания приведены в *Руководстве по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), часть III, 3.1.3.14, и часть VI. Нижеописанные процедуры должны соблюдаться, когда на месте работает наблюдатель или другой компетентный персонал.

Следует проводить проверки на предмет грубых ошибок, по отношению к существующим экстремальным значениям, на наличие внутренней согласованности в последовательности наблюдений, согласованности в последовательности дат и сроков наблюдений, согласованности с другими элементами и расчетами, а также точности копий и закодированных отчетов. Эти проверки можно проводить либо вручную, либо с использованием автоматизированных процедур. Если выявлены ошибки, следует принять меры по их устранению, такие как корректировка исходных данных и отчета, до их передачи. Ошибки, обнаруженные после передачи, также следует исправить, а затем необходимо передать уточненный отчет. Следует также провести проверки, зарегистрировать любые необходимые поправки и передать корректировки, если из внешнего источника поступил запрос о качестве данных. Записи исходного наблюдения с ошибками должны содержать обозначение или метку, указывающие, что исходное значение является ошибочным или сомнительным. Управление качеством на местах должно также включать поддержание стандартного размещения датчиков, пункта наблюдений, а также надлежащих процедур считывания показаний приборов и проверки лент самописцев.

Следует анализировать любые модели распределения ошибок измерений, например, чтобы увидеть, связаны ли они с дрейфом показаний приборов или с их неисправностью, и ежемесячно или ежегодно готовить краткий обзор недостатков данных и отчетов.

2.6.4 Общие обязанности наблюдателей

Как правило, НМГС каждого Члена будет определять обязанности наблюдателей. Обязанности должны предусматривать надлежащее выполнение следующих действий:

- a) производство климатологических наблюдений с необходимой степенью точности с помощью соответствующих приборов;
- b) выполнение соответствующих проверок качества;
- c) кодирование и передача наблюдений при отсутствии автоматических систем кодирования и связи;
- d) обслуживание записывающих устройств и электронных регистраторов данных *in situ*, включая, при необходимости, замену регистрационных лент;
- e) составление или упорядочение рядов еженедельных или ежемесячных климатологических данных, особенно когда автоматические системы отсутствуют или не отвечают требованиям;
- f) производство дополнительных или резервных наблюдений, когда с помощью автоматического оборудования не наблюдаются все необходимые элементы или когда оборудование не работает.

2.6.5 Обучение наблюдателей

Наблюдатели должны проходить обучение или аттестацию в соответствующей метеорологической службе для обеспечения уровня компетенции, необходимой для производства наблюдений в соответствии с требуемыми стандартами. Они должны обладать способностью понимать и интерпретировать инструкции по использованию инструментальных и неавтоматических методов, которые применяются к их собственным конкретным системам наблюдений. Руководящие указания в отношении требований к обучению наблюдателей в области использования контрольно-измерительных приборов приведены в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8).

Зачастую наблюдатели являются или добровольцами, или сотрудниками на неполный рабочий день, либо проводят наблюдения наряду со своими другими обязанностями. Они могут иметь минимальную подготовку или совсем не иметь подготовки в области климатологии или проведения научных наблюдений, и, таким образом, будут зависеть от правильного набора инструкций. Следует тщательно разрабатывать и предоставлять наблюдателям на всех станциях инструктивные брошюры, предназначенные для наблюдателей на обычных климатологических и осадкомерных станциях. Инструкции должны быть однозначно понимаемыми и простым языком излагать рассматриваемые задачи; они должны предоставлять только информацию, которую наблюдателю действительно нужно знать для того, чтобы выполнять эти задачи надлежащим образом. Можно использовать иллюстрации, графики и примеры для стимулирования интереса наблюдателя и облегчения понимания задач, которые необходимо выполнять каждый день. В инструктивный материал, предоставляемый наблюдателю, следует включать образцы правильно заполненных страниц журнала или книги для записей и формы отчета. В идеале представитель климатического центра должен посетить пункт наблюдений, установить станцию и проинструктировать наблюдателя.

Наблюдатель должен ознакомиться с приборами и знать, в частности, источники возможных ошибок при считывании их показаний. Инструкции должны содержать описательный текст с простыми иллюстрациями, показывающими функционирование каждого прибора. Следует предоставить подробные инструкции, касающиеся методов, которые будут использоваться для ежедневного ухода, простого обслуживания и калибровочных проверок. Если для конкретных задач наблюдения и регистрации необходимы корректировочные или калибровочные таблицы, наблюдатель должен быть хорошо знаком с тем, как их использовать. Инструкции должны также включать работу с компьютерными терминалами, используемыми для ввода и передачи данных.

Инструкции должны включать визуальные, а также инструментальные наблюдения. Визуальные наблюдения особенно подвержены субъективной ошибке, и их точность зависит от навыков и опыта наблюдателя. Поскольку точность и достоверность индивидуального визуального наблюдения проверить очень трудно, следует дать максимально подробные указания для проведения правильных наблюдений.

Помимо использования инструктивного материала персонал, отвечающий за управление станцией в климатологической службе, должен связываться со станциями наблюдений по поводу любых повторяющихся ошибок наблюдений или неверного толкования инструкций. Регулярные инспекционные визиты обеспечивают возможность решения проблем, касающихся выбора местоположения или приборов, а также дальнейшего обучения наблюдателя.

Некоторые климатические центры проводят специальные учебные курсы для групп наблюдателей-добровольцев. Такие курсы особенно полезны при разработке единого высокого стандарта наблюдений, что может быть достигнуто в результате полученной подготовки и наличия времени для решения более широкого круга вопросов, чем те, которые могут быть подняты одним наблюдателем во время посещения места проведения наблюдений.

2.6.6 Инспекции станций

Главные климатологические станции следует инспектировать раз в год. Обычные климатологические станции и осадкомерные станции следует инспектировать не реже одного раза в три года, или при необходимости чаще, для обеспечения технического обслуживания и правильного функционирования приборов и, таким образом, высокого стандарта наблюдений. Автоматические станции следует инспектировать не реже одного раза в шесть месяцев. Специальный порядок инспектирования судовых приборов описан в *Руководстве по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8).

Перед каждой инспекцией инспектор должен определить в максимально возможной степени качество информации и данных, полученных с каждой станции на маршруте. Во время каждой инспекции следует подтвердить, что:

- a) подготовка наблюдателя отвечает современным требованиям;
- b) наблюдатель по-прежнему обладает достаточной квалификацией;
- c) местоположение и размещение всех приборов известны, зарегистрированы и являются наилучшим возможным решением;
- d) приборы соответствуют утвержденному типу, находятся в хорошем состоянии и сверены с соответствующими эталонами;
- e) существует единообразие методов наблюдений и процедур расчета производных величин из наблюдений;

- f) журнал станции содержится в хорошем состоянии;
- g) требуемые формы отчетов направляются своевременно и регулярно в климатический центр.

Отчеты о проведении инспекций должны содержать эскизы, фотографии или диаграммы фактического пункта наблюдений с указанием физических объектов, которые могут влиять на значения наблюдаемых климатических элементов. В отчетах также должны перечисляться любые изменения в приборном обеспечении и любые расхождения между показаниями приборов и транспортируемых эталонов, изменения в размещении и характеристиках пункта наблюдений с момента предыдущего посещения, а также даты проведения соответствующих сравнений и изменений. Инспекторы также должны быть готовы к предоставлению консультаций наблюдателям по любым проблемам, возникающим при передаче данных, в том числе по автоматизированным системам ввода и передачи данных. Отчеты о проведении инспекций являются важным источником метаданных для использования при определении однородности климатического ряда и должны храниться бессрочно, или же содержащаяся в них информация должна быть переведена в компьютерную базу данных (см. 3.1).

2.6.7 Поддержание однородности данных

В отличие от наблюдений, производимых исключительно для обеспечения подготовки прогнозов и предупреждений, длительный непрерывный ряд климатических данных является основой для многих важных исследований, в которых принимает участие множество различных сообществ климатологов. Однородные комплекты климатических данных имеют огромное значение для удовлетворения потребностей, связанных с климатическими исследованиями, применениями и обслуживанием пользователей.

Изменения, которым подвергся пункт наблюдений, или его перемещение являются основными причинами неоднородности. Следует соблюдать десять принципов мониторинга климата (см. 2.1), когда необходимо переместить климатологическую станцию, когда одна станция должна быть заменена на другую станцию поблизости либо когда меняются инструментальные системы. В случае, если это представляется возможным, старые и новые станции наблюдений и приборы следует эксплуатировать параллельно в течение по меньшей мере одного года, а лучше в течение двух лет или дольше, чтобы определить влияние измененных приборов или пунктов на климатологические данные. Старым и новым пунктам следует присваивать единые идентификаторы станций для сообщения и архивации. Специальный руководящий материал содержится в публикации *Guidelines for Managing Changes in Climate Observation Programmes* (Руководящие принципы по организационным изменениям в программах наблюдений) (WMO/TD-No. 1378).

2.6.8 Мониторинг отчетов в центрах сбора

Центры сбора или архивации данных должны проверять поступление от наблюдателей в надлежащее время и качество информации и иметь дополнительные обязанности, касающиеся данных из автоматизированных систем измерения или передачи информации. Поскольку такие центры обычно обрабатывают большие объемы информации, использование компьютеризированных систем проверки сэкономит много сил.

Первая задача заключается в том, чтобы проверить, что ожидаемые наблюдения поступили и что они были переданы в нужное время. Если ожидаемые наблюдения не поступили, следует связаться с наблюдателем, чтобы выяснить причину. В случае автоматизированных систем «смотрители» должны предоставить информацию о видимых признаках неисправности как можно скорее органу, ответственному за техническое обслуживание систем наблюдений и передачи информации.

Проверки качества данных, получаемых из автоматизированных и неавтоматизированных пунктов наблюдений, должны включать проверки, описанные в 2.6.3. Полезными являются и другие виды проверок, которые могут легко выполняться в рамках автоматизированного мониторинга. К ним относятся проверки по отношению к данным с соседних станций, различные статистические проверки, проверки по отношению к установленным пределам, проверки согласованности во времени и межэлементной согласованности. Главы 4 и 5 содержат описание некоторых методов проверки данных.

Мониторинг вскоре после производства наблюдений, либо на местах, либо дистанционно, имеет ограниченное значение, пока не будут предприняты меры по быстрому устранению проблем. Информация должна возвращаться к наблюдателям, зрителям, инспекторам и специалистам по техническому обслуживанию или производителям приборов или систем, а сведения о принятых мерах должны затем передаваться в центр мониторинга. Копии всех отчетов следует обязательно сохранять.

2.6.9 Документация и метаданные станций

Наблюдения без метаданных используются очень ограниченно; потенциал наблюдений используется полностью только, когда данные сопровождаются адекватными метаданными (данными, описывающими данные). Эти метаданные играют существенную роль и должны быть актуальными и легкодоступными в форме каталогов станций, описей данных и файлов климатических данных. Всемирная метеорологическая организация разработала стандарты метаданных на основе стандартов метаданных Международной организации по стандартизации (ИСО), особенно серий ISO 19100 (см. *Стандарт метаданных ИГСНВ* (ВМО-№ 1192)). Эти стандарты являются частью Интегрированной глобальной системы наблюдений ВМО (ИГСНВ), которая представляет собой рамочную основу для всех систем наблюдений ВМО и вкладов ВМО в совместно спонсируемые системы наблюдений в поддержку всех программ и видов деятельности ВМО (см. *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№. 1160)).

Наблюдения ИГСНВ содержат исключительно широкий круг данных, начиная от визуальных наблюдений и заканчивая наблюдениями, проводимыми в сложных сочетаниях спутниковых гиперспектральных частотных диапазонов; измеряемых дистанционно или *in situ*, от одномерных к многомерным, и данных, нуждающихся в обработке. Всеобъемлющий стандарт метаданных для охвата всех типов наблюдений по своему характеру сложен для определения. Пользователь должен быть готов использовать метаданные для определения условий, при которых было произведено наблюдение (или измерение), а также любых других аспектов, которые могут повлиять на их использование или понимание.

Метаданные опорных станций должны включать название станции и ее индексный номер (или номера); географические координаты; возвышение над средним уровнем моря; администратора или владельца; типы почвы, физические константы и профиль почвы; типы растительности и условия; описание местного рельефа; описание местного землепользования; фотографии и диаграммы приборов, местоположение и прилегающую территорию; тип АМС, производителя, модель и серийный номер; программу наблюдений станции (измеряемые элементы, время начала отсчета, сроки, в которые наблюдения и измерения проводятся и передаются, и уровень, к которому приводятся данные атмосферного давления на станции), а также контактную информацию, такую как имя, почтовый адрес, адрес электронной почты и номера телефонов.

Документация должна содержать полную историю станции с указанием дат и подробностей всех изменений. Она должна включать создание станции, начало наблюдений, любые перебои в функционировании и, наконец, закрытие станции. Комментарии по результатам инспекционных визитов (см. 2.6.6) также важны, особенно замечания и предложения в отношении местоположения, размещения, качества наблюдений и функционирования станции.

Метаданные по приборам должны включать тип датчика, производителя, модель и серийный номер; принцип функционирования; метод измерения и наблюдения; тип системы обнаружения; рабочие характеристики; единицы измерения и диапазон измерений; разрешение, точность (неопределенность), постоянную времени, разрешение по времени и время усреднения выходных показаний; местоположение и размещение (расположение, защита, высота над землей или уровень глубины); дату установки; сбор данных (интервал выборки, интервал и тип усреднения); процедуры корректировки; данные и время калибровки; превентивное и коррективное техническое обслуживание (рекомендуемое и плановое техническое обслуживание и процедуры калибровки, включая частоту проведения, и описание процедур); а также результаты сравнений с транспортируемыми эталонами.

Для каждого отдельного метеорологического элемента метаданные, относящиеся к процедурам обработки данных наблюдений, должны включать программу измерений и наблюдений (сроки наблюдений, периодичность передачи и выходные данные); метод, процедуру и алгоритм обработки данных; формулу для расчета; режим наблюдений и измерений; интервал обработки; сообщаемое разрешение; источник ввода (прибор и элемент); константы и величины параметров.

Метаданные по обработке данных должны включать процедуры и алгоритмы управления качеством, определения меток управления качеством, константы и величины параметров, процедуры обработки и хранения. Представляющие интерес метаданные, относящиеся к передаче данных, включают метод передачи, формат данных, срок передачи и периодичность передачи.

Аэрологические станции имеют требования к метаданным, аналогичные требованиям к метаданным по наземным станциям. Кроме того, они должны поддерживать метаданные по каждому из используемых приборов одноразового применения (таких, как радиозонды).

Конкретные руководящие указания содержатся в *Стандарте метаданных ИГСНВ* (ВМО-№ 1192) и отражают необходимость количественной конкретизации наблюдаемой переменной и ответа на вопрос, почему, где и как было произведено наблюдение; как были обработаны начальные данные и каково качество наблюдения.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 1983, 1996, 2008, 2014: *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), пятое, шестое, седьмое и восьмое издания. Женева.
- , 1994: *Руководство по применениям морской климатологии* (ВМО-№ 781). Женева.
- , 2009: *Пособие по подготовке сводок CLIMAT и CLIMAT TEMP* (ВМО/ТД-№ 1188). Женева.
- , 2006: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том III: Гидрология. Женева.
- , 2008: *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), том I: Гидрология — от измерений до гидрологической информации. Женева.
- , 2009: *Руководство по гидрологической практике* (ВМО-№ 168), том II — Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Женева.
- , 2010: *Руководство по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 488), Женева.
- , 2010: *Руководство по агрометеорологической практике* (ВМО-№ 134). Женева.
- , 2011: *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том II — Региональные аспекты. Женева.
- , 2014: *Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений* (ВМО-№ 8), обновлено в 2017 г.
- , 2015: *Наставление по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1160). Женева.
- , 2015: *Наставление по Глобальной системе наблюдений* (ВМО-№ 544), том I: Глобальные аспекты. Женева.
- , 2016: *Исполнительный совет: Сокращенный окончательный отчет шестьдесят восьмой сессии* (ВМО-№ 1168), Резолюция 5 (ИС-68) - Компетенции для предоставления климатического обслуживания. Женева.
- , 2016: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том II — Метеорологическое обслуживание международной авиации. Женева.
- , 2017: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I: Общие метеорологические стандарты и рекомендуемая практика. Женева.
- , 2017: *Стандарт метаданных ИГСНВ* (ВМО-№ 1192). Женева.
- , 2017: *Наставление ВМО по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485). Женева.
- World Meteorological Organization, 1994: *Observing the World's Environment: Weather, Climate and Water* (WMO-No. 796) (J.P. Bruce). Geneva.
- , 1995: *Plan for the Global Climate Observing System (GCOS)* (WMO/TD-No. 681, GCOS-No. 14), Version 1.0. Geneva.
- , 1995: *GCOS Guide to Satellite Instruments for Climate* (WMO/TD-No. 685, GCOS-No.16). Geneva.
- , 1995: *GCOS Plan for Space-Based Observations* (WMO/TD-No. 684, GCOS-No. 15), Version 1.0. Geneva.
- , 1997: *Report of the GCOS/GOOS/GTOS Joint Data and Information Management Panel, third session* (Tokyo, Japan, 15–18 July 1997) (WMO/TD-No. 847, GCOS-No. 39). Geneva.
- , 1998: *Preliminary Statement of Guidance Regarding How Well Satellite Capabilities Meet WMO User Requirements in Several Application Areas* (WMO/TD-No. 913, SAT-21). Geneva.
- , 1999: *Representativeness, Data Gaps and Uncertainties in Climate Observations* (lecture given by Chris Folland to the Thirteenth World Meteorological Congress, 21 May 1999) (WMO/TD-No. 977, WCDMP-No. 44). Geneva.
- , 2000: *SPARC Assessment of Upper Tropospheric and Stratospheric Water Vapour* (WMO/TD-No. 1043, WCCRP-No. 113). Geneva.
- , 2000: *WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO 2000) – Lightning Detection Systems* (WMO/TD-No. 1028). Geneva.
- , 2000: *Statement of Guidance Regarding How Well Satellite Capabilities Meet WMO User Requirements in Several Application Areas* (SAT-22, WMO/TD-No. 992). Geneva.
- , 2002: *Guide to the GCOS Surface and Upper-air Networks: GSN and GUAN* (WMO/TD-No. 1106, GCOS-No. 73), Version 1.1. Geneva.
- , 2003: *Report of the Capacity-building Training Workshop on Reducing the Impacts of Climate Extremes on Health* (WCASP-No. 59, WMO/TD-No. 1162). Geneva.
- , 2003: *Guidelines on Climate Observation, Network and Systems* (WMO/TD-No. 1185, WCDMP-No. 52). Geneva.

- , 2004: *The Changing Atmosphere: An Integrated Global Atmospheric Chemistry Observation Theme for the IGOS Partnership*. GAW Report No. 159 (WMO/TD-No. 1235, ESA SP-1282). Geneva.
- , 2004: *Guidelines on Climate Data Rescue* (WMO/TD-No. 1210, WCDMP-No. 55). Geneva.
- , 2004: *Implementation Plan for the Global Climate Observing System for Climate in Support of the UNFCCC* (WMO/TD-No. 1219, GCOS-No. 92). Geneva.
- , 2006: *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites* (WMO/TD-No. 1250). Geneva.
- , 2006: *Systematic Observation Requirements for Satellite-based Products for Climate* (WMO/TD-No. 1338, GCOS-No. 107). Geneva.
- , 2007: *Guidelines for Managing Changes in Climate Observation Programmes* (WMO/TD-No. 1378, WCDMP-No. 62). Geneva.
- , 2009: *Guideline for the Generation of Satellite-based Datasets and Products Meeting GCOS Requirements* (GCOS-128, WMO/TD-No. 1488). Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Всемирная Метеорологическая Организация, 2012: *Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию* (ВМО-№ 558), том I: Глобальные аспекты; том II: Региональные аспекты. Женева.
- , 2017: *Руководство по Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО* (ВМО-№ 1165), Женева.
- Bénichou, P., 1992: Optimisation de l'implantation d'un réseau complémentaire en zone accidentée: application au réseau automatisé d'Auvergne. *La Météorologie*, 43-44: 3–17.
- Christian, H., 2003: Global lightning activity. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Atmospheric Electricity*, Versailles, France, 9–11 June 2003 (S. Chauzy and P. Laroche, eds). Paris, ONERA.
- Cronin, T.M., 1999: *Principles of Paleoclimatology*. New York, Columbia University Press.
- Der Mégréditchian, G., 1985: Méthodes statistiques d'analyse et d'interpolation spatiales des champs météorologiques. *La Météorologie*, 17:51–66.
- Dover, J. and L.J. Winans, 2002: Evaluation of windshields for use in the automated surface observing system (ASOS). In: *Proceedings of the Sixth Symposium on Integrated Observing Systems*, Orlando, Florida, 14–17 January 2002. Boston, American Meteorological Society.
- Free, M., I. Durre, E. Aguilar, D. Seidel, T.C. Peterson, R.E. Eskridge, J.K. Luers, D. Parker, M. Gordon, J. Lanzante, S. Klein, J. Christy, S. Schroeder, B. Soden and L.M. McMillin, 2002: Creating climate reference datasets: CARDS workshop on adjusting radiosonde temperature data for climate monitoring. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:891–899.
- Free, M. and D.J. Seidel, 2005: Causes of differing temperature trends in radiosonde upper air datasets. *Journal of Geophysical Research*, 110:D07101.
- Global Ocean Observing System (GOOS), 2000: *Report of the First GOOS Users' Forum* (GOOS-No. 92). Paris, UNESCO.
- , 2001: *Principles of the Global Ocean Observing System (GOOS) Capacity Building* (GOOS-No. 69). Paris, UNESCO.
- , 2001: *GOOS Capacity Building Implementation Strategy* (GOOS-No. 106). Paris, UNESCO.
- Haas, T.C., 1992: Redesigning continental-scale monitoring networks. *Atmospheric Environment*, 26A:3323–3333.
- Karl, T.R., C.N. Williams Jr, P.J. Young and W.M. Wendland, 1986: A model to estimate the time of observation bias associated with monthly mean maximum, minimum, and mean temperature for the United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25:145–160.
- Leroy, M., 1998: Meteorological measurements representativity: nearby obstacles influence. In: *Tenth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, Phoenix, Arizona, 11–16 January 1998. Boston, American Meteorological Society.
- , 1998: Climatological site classification. In: *Tenth Symposium on Meteorological Observations and Instrumentation*, Phoenix, Arizona, 11–16 January 1998. Boston, American Meteorological Society.
- Lieth, H. (ed.), 1974: *Phenology and Seasonality Modeling*. New York, Springer.

- National Climatic Data Center (NCDC), 2002: *U.S. Climate Reference Network Site Information Handbook*. Asheville.
- Panel on Climate Change Feedbacks, Climate Research Committee, National Research Council, 2003: *Understanding Climate Change Feedbacks*. Washington, DC, National Academy Press.
- Panel on Reconciling Temperature Observations, Climate Research Committee, Board on Atmospheric Sciences and Climate, National Research Council, 2000: *Reconciling Observations of Global Temperature Change*. Washington, DC, National Academy Press.
- , 2000: *Improving Atmospheric Temperature Monitoring Capabilities: Letter Report*. Washington, DC, National Academy Press.
- Ohring, G., B. Wielicki, R. Spencer, B. Emery and R. Datla, 2005: Satellite instrument calibration for measuring global climate change: Report of a workshop. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86:1303–1313.
- Oke, T.R., 1987: *Boundary Layer Climates*. Second edition. Cambridge, Cambridge University Press.
- , 2006: Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:179–190.
- Quadrelli, R. and J.M. Wallace, 2004: A simplified linear framework for interpreting patterns of Northern Hemisphere wintertime climate variability. *Journal of Climate*, 17:3728–3744.
- Santer, B.D., M.F. Wehner, T.M.L. Wigley, R. Sausen, G.A. Meehl, K.E. Taylor, C. Ammann, J. Arblaster, W.M. Washington, J.S. Boyle and W. Bruggemann, 2003: Contributions of anthropogenic and natural forcing to recent tropopause height changes. *Science*, 301(5632):479–483.
- Schwartz, M.D. (ed.), 2003: *Phenology: An Integrative Environmental Science. Tasks for Vegetation Science*, Volume 39. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Seidel, D.J. and M. Free, 2006: Measurement requirements for climate monitoring of upper air temperature derived from reanalysis data. *Journal of Climate*, 19:854–871.
- Singleton, F. and E.A. Spackman, 1984: Climatological network design. *The Meteorological Magazine*, 113:77–89.
- Sneyers, R., 1973: Sur la densité optimale des réseaux météorologiques. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B*, 21:17–24.
- Soden, B.J. and I.M. Held, 2006: An assessment of climate feedbacks in coupled ocean–atmosphere models. *Journal of Climate*, 19:3354–3360.
- Thompson, D.W.J. and J.M. Wallace, 2000: Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-month variability. *Journal of Climate*, 13:1000–1016.
- Thorne, P.W., D.E. Parker, J.R. Christy and C.A. Mears, 2005: Uncertainties in climate trends: Lessons from upper air temperature records. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86:1437–1444.
- Thorne, P.W., D.E. Parker, S.F.B. Tett, P.D. Jones, M. McCarthy, H. Coleman and P. Brohan, 2005: Revisiting radiosonde upper air temperatures from 1958 to 2002. *Journal of Geophysical Research*, 110 (D18):D18105.
- Unninayar, S. and R.A. Schiffer, 1997: *In situ Observations for the Global Observing Systems: A Compendium of Requirements and Systems*. Washington, DC, National Aeronautics and Space Administration Office of Mission to Planet Earth, NP-1997(01)-002-GSFC.
- Wang, J., D.J. Carlson, D.B. Parsons, T.F. Hock, D. Lauritsen, H.L. Cole, K. Beierle and E. Chamberlain, 2003: Performance of operational radiosonde humidity sensors in direct comparison with a chilled mirror dew-point hygrometer and its climate implication. *Geophysical Research Letters*, 30:10.1029/2003GL016985.
- World Meteorological Organization, 2003: *Aerosol Measurement Procedures – Guidelines and Recommendations* (WMO/TD-No. 1178, GAW-No. 153). Geneva.
- , 2007: *RA IV Training Seminar on Capacity Building in Climate-related Matters* (WMO/TD-No. 1386, WCDMP-No. 63). Geneva.
- , 2008: *Plant Phenological Guidelines* (WMO/TD-No. 1484, WCDMP-No. 70). Geneva.
- , 2010: *Implementation Plan for the Global Observing System for Climate in Support of the UNFCCC* (WMO/TD-No. 1523; GCOS-No. 138), 2010 update. Geneva.
- , 2013: *The GCOS Reference Upper-air Network (GRUAN) – Manual* (WIGOS Technical Report No. 2013-02, GCOS-No. 170). Geneva.
- Zhang, H.-M. and L.D. Talley, 1998: Heat and buoyancy budgets and mixing rates in the upper thermocline. *Journal of Physical Oceanography*, 28:1961–1978.

ГЛАВА 3. УПРАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

3.1 ВВЕДЕНИЕ

На протяжении тысячелетий историки регистрировали информацию о погоде. Однако в прошлом эта информация часто основывалась на свидетельствах других людей, а не на личных наблюдениях историков. Эти свидетельства, возможно, были нечеткими, неполными или искаженными из-за плохой памяти. Такая информация о погоде добавлялась к огромному множеству других видов информации, и большая ее часть хранится в национальных библиотеках и архивах. Специализированные национальные метеорологические архивы представляют собой относительно новое явление; самые ранние из них, как правило, были созданы в первой половине двадцатого века.

Ранние записи в рукописной форме поддерживались в ежедневных, еженедельных или ежемесячных журналах. Делались заметки о таких экстремальных или катастрофических явлениях, как высокая или низкая температура, аномальная скорость ветра, чрезмерное количество осадков или длительная засуха, периоды заморозков или замерзания, ураганы и смерчи. В морских журналах регистрации отмечались штормы, штили, ветры, течения, типы и количество облаков. Записи сроков замерзания и таяния рек, озер и морей, а также даты начала и окончания снегопада часто являлись важной частью любого журнала. Чувство гордости от работы и достижений всегда было важной особенностью процесса метеорологических наблюдений и регистрации. Лицо, ответственное за наблюдение, которое подписывает и скрепляет печатью журнал регистрации, по-прежнему придает записям официальный характер и служит личным источником документированной истории.

На протяжении последних двух или трех столетий заводились специальные журналы для сбора и сохранения климатологической информации. Вплоть до 1940-х годов разработанные, напечатанные и используемые в различных странах формы часто различались, и наблюдения почти всегда регистрировались вручную. С 1940-х годов, и особенно после создания ВМО, постепенно стали преобладать стандартизированные формы и процедуры, а национальные метеорологические архивы стали назначаться в качестве пунктов хранения этих записей.

Количественное представление климатологических данных стало широко использоваться благодаря тому, что усовершенствованные приборы упростили наблюдения за непрерывными, а также дискретными переменными и регистрацию соответствующих значений в журналах или судовых книгах. Например, термометры позволили проводить систематическую регистрацию значений температуры, а дождемеры способствовали измерению количества осадков. Разработка приборов с часовым механизмом позволила устанавливать значения интенсивности и продолжительности и регистрировать эти данные. Другие типы регистрирующих приборов обеспечили автоматические или аналоговые записи. С каждым новым улучшением или дополнением к средствам наблюдений увеличивалось число элементов или переменных, заносимых в журналы, и появлялись специально подготовленные форматы. Несмотря на то, что форматы менялись, регулярность и последовательность или непрерывность регистрации всегда были весьма желательными. Надлежащая хронологическая запись должна быть актуальной и последовательно упорядоченной. Тщательные систематические наблюдения и регистрация упрощают сбор, архивацию и последующее использование записей.

В большинстве стран рукописные формы периодически направлялись в центральный пункт. До 1970-х годов эти исходные формы составляли основную часть всех архивов климатологической информации в большинстве центров сбора данных. Эти центры могли входить в состав местного или национального органа государственного управления или центрального офиса какой-либо отрасли промышленности, например горнодобывающей, сельскохозяйственной или авиационной. Постепенно работы по сбору

климатологических данных, затрагивающие жизнь всей страны, объединялись в рамках согласованной программы наблюдений и сбора данных, для того чтобы такие данные могли использоваться в национальных и международных интересах.

С конца двадцатого века большая часть информации о погоде передавалась в цифровом виде в национальные центры сбора данных. Поскольку эти сообщения предназначены в первую очередь для оперативного прогнозирования погоды, принято опираться на исходные документы наблюдений для построения климатического ряда данных в климатических центрах по всему миру. Однако сбор, передача, обработка и хранение оперативных метеорологических данных в настоящее время значительно улучшаются с быстрым развитием компьютерных технологий, а метеорологические архивы заполняются все больше данными, которые никогда не были записаны на бумаге. Мощность компьютеров и простота их использования, возможность регистрировать и передавать информацию в электронном виде, а также развитие таких международных механизмов обмена информацией, как Интернет, обеспечили климатологов новыми средствами для быстрого улучшения понимания климата.

Необходимо предпринять все усилия для получения в электронно-цифровой форме полного массива всех исходных данных наблюдений. Сбор данных в электронном виде в месте их получения позволяет применять меры по незамедлительному автоматическому контролю, включая выявление ошибок, до передачи данных из пункта наблюдений. Во многих случаях сбор климатических данных по почте все еще может быть дешевле и надежнее, особенно в менее технологически развитых регионах, но пока данные не будут записываться на тех или иных электронных носителях до отправки по почте, их нужно будет сканировать или оцифровывать централизованно. Для управления огромным разнообразием данных, собранных для метеорологических или климатологических целей, нужен системный подход, который предусматривает бумажные записи, записи в виде микроформ и цифровые записи. Рамочная основа и спецификации для целей систематического подхода приводятся в публикации *Climate Data Management System Specifications* (Спецификации системы управления климатическими данными) (WMO-No. 1131).

В данной главе рассматриваются основные концепции и соображения по отношению к управлению климатическими данными. Более подробная информация и руководящие указания, касающиеся конкретных тем, таких как потребности системы управления климатическими данными (СУКД), можно найти в справочных материалах, перечисленных в последнем разделе этой главы.

3.2 **ЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ**

Основная цель управления климатическими данными заключается в сохранении климатических данных и продукции, их сборе и обеспечении к ним доступа для использования специалистами по планированию, лицами, принимающими решения, и научными исследователями. Постоянная архивация является важной задачей. Система управления данными климатического архива должна предоставлять информацию для описания климата исследуемой территории, для которой создается архив, будь то на национальном, региональном или глобальном уровне. Данные, получаемые с метеорологических и климатологических сетей, а также в результате осуществления различных научно-исследовательских проектов, представляют собой ценный и зачастую уникальный ресурс, на получение которого тратится много времени, денег и усилий. При планировании программ сбора данных невозможно предусмотреть все виды конечного использования климатических данных, и новые применения нередко появляются спустя долгое время после получения информации. Первоначальное использование метеорологических и связанных с ними данных часто является лишь первым из многих видов применений. Последующий анализ данных для многочисленных и разнообразных целей ведет к значительному и постоянному увеличению дохода от первоначальных инвестиций в программы сбора данных. Например, проблема глобального изменения климата выводит потребности в климатических данных и системах управления данными

далеко за рамки потребностей, изначально установленных при создании первоначальных сетей. Для удовлетворения этих растущих потребностей крайне важно, чтобы управление климатической информацией, как текущей, так и исторической, осуществлялось на систематической и всесторонней основе. Традиционные метеорологические данные в настоящее время дополняются данными, полученными с помощью разнообразных новых приборов и систем, в том числе спутников, радиолокационных систем и других устройств дистанционного зондирования, что делает эффективные и всеобъемлющие системы СУКД принципиально значимыми для современных климатических центров.

Климатологические данные приносят наибольшую пользу, если они обработаны, прошли контроль качества, хранятся в национальном архиве или климатическом центре и легкодоступны в удобной для использования форме. Несмотря на то, что технологические инновации появляются в ускоренном темпе, многие климатические записи, хранимые национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС), по-прежнему находятся в неоцифрованной форме. Этими записями необходимо управлять так же, как и увеличивающимся количеством цифровых записей. СУКД представляет собой интегрированную комплексную компьютерную систему, облегчающую эффективное архивирование, управление, анализ, предоставление и использование широкого спектра интегрированных климатических данных.

Основные задачи управления базами данных заключаются в поддержании целостности базы данных в течение всего времени и обеспечении того, чтобы база данных содержала все данные и метаданные, необходимые для удовлетворения потребностей, для которых она была создана, как в настоящем, так и в будущем. Системы управления базами данных в корне изменили управление климатическими данными, обеспечив возможности для эффективного хранения многих типов данных, предоставления к ним доступа, их преобразования и обновления, а также повысив безопасность данных.

Важно, чтобы при разработке баз климатических данных и внедрении практики управления данными учитывались потребности и возможности существующих и будущих пользователей данных. Хотя данное требование может показаться интуитивно понятным, важная для полезного применения информация иногда упускается или центры обработки данных выделяют недостаточно ресурсов для проверки качества данных, к качеству которых пользователи в явном или неявном виде предъявляют высокие требования. Например, база данных без кодов текущей и прошедшей погоды может привести к заниженным оценкам повторяемости наблюдаемых явлений. В процессе всех новых разработок специалисты по управлению данными должны стремиться к тому, чтобы иметь в составе проектной группы хотя бы одного ключевого пользователя данных или проводить регулярные консультации с заинтересованными пользователями, чтобы быть в курсе изменений потребностей и каких-либо проблем, которые сообщества пользователей могут испытывать. Примерами заинтересованных сообществ являются пользователи, занимающиеся вопросами предсказания климата, изменения климата, сельского хозяйства, здравоохранения, управления в условиях бедствий и чрезвычайных ситуаций и обеспечения готовности к ним, энергетики, рационального использования природных ресурсов, городского планирования, финансов и страхования.

3.2.1 Проектирование СУКД

Все СУКД строятся на основе некоторой базовой модели данных. Такое проектирование с применением модели имеет большое значение для качества полученной системы (см. рисунок 3.1). Неподходящая модель приведет к тому, что систему будет сложнее развивать и обслуживать. Как правило, база данных, предназначенная для текущих метеорологических данных, будет обеспечивать возможность быстрого извлечения последних данных большого количества станций. Однако многие применения климатических данных предусматривают извлечение данных по одной или нескольким станциям, полученным в течение длительного периода. Очень важно документировать общую схему и базовую модель данных СУКД, чтобы упростить ее последующее расширение или модификацию программистами. Аналогичные соображения применяются к модели метаданных. Подробную информацию о моделях данных



Рисунок 3.1. Графическое представление основных функциональных компонентов системы управления климатическими данными

можно найти в публикациях *Guidelines on Climate Data Management* (Руководящие принципы управления климатическими данными) (WMO/TD-No. 1376), Модели данных, используемые в СУКД, стр. 32–34, и в *Climate Data Management System Specifications* (Спецификации системы управления климатическими данными) (WMO-No. 1131), 4.2.3 и 4.3.

Компонент климатических данных представляет широкий спектр временных рядов климатических данных. Он простирается далеко за пределы того, что может рассматриваться как традиционные метеорологические данные, и включает:

- a) важнейшие климатические переменные (ВКлП) Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК);
- b) развернутое описание климатических метаданных, которые включают метаданные по источникам данных наблюдений и обнаружению данных;
- c) стандартную продукцию ВМО;
- d) расчетные данные и данные с координатной привязкой;
- e) выходную продукцию численных моделей;
- f) массив вспомогательных данных, используемых для поддержки СУКД, включая геопространственные данные и данные о последствиях, документацию и климатическое программное обеспечение;
- g) другие важные данные, такие как логические модели данных.

Компонент управления СУКД подразумевает последовательный набор мер политики и управления, необходимых для создания твердой основы в целях учреждения и менеджмента авторитетных источников климатических данных и связанного с ними обслуживания. Хотя ряд инициатив ВМО позволит со временем выработать

последовательную политику, данный компонент может оказать содействие в скорейшем совершенствовании многих практик управления данными НМГС. Этот компонент предусматривает следующие принципы:

- a) политика в области данных, в том числе организационная приверженность, обеспечивающая устойчивость функционирования СУКД, и концепция интеллектуальной собственности;
- b) предоставление данных;
- c) данные сторонних организаций;
- d) политика в области климатологии;
- e) управление, включая данные и управление в области информационных технологий.

Компонент управления данными рассматривает вопросы средств поддержки, необходимых для эффективного управления климатическими данными, и включает следующие концепции:

- a) усвоение и извлечение данных;
- b) спасение данных;
- c) контроль качества данных;
- d) оценка качества;
- e) управление климатическими данными.

Компонент предоставления данных рассматривает вопросы средств поддержки, необходимых для эффективного управления климатическими данными, и включает следующие концепции:

- a) обнаружение данных (как климатических данных, так и метаданных);
- b) предоставление данных в форматах ВМО;
- c) предоставление данных на основе открытых пространственных стандартов, таких как стандарты Открытого геопространственного консорциума (ОГК) и Международной организации по стандартизации (ИСО) серии 19100.

Компонент анализа данных включает широкий набор аналитических методов, используемых для климатических данных и которые могут привести в результате к производству целого спектра производных результатов обработки данных. Вот некоторые примеры:

- a) ряд технических решений, включая методы статистического, пространственного и визуального анализа;
- b) обеспечение однородности;
- c) процессы численного моделирования.

Компонент представления данных представляет собой разноплановый набор технических способов и приемов для сообщения информации, касающейся климата. К ним относятся:

- a) письменные отчеты;
- b) просмотр временных рядов климатических данных через посредство графического пользовательского интерфейса с такими функциональными возможностями, как, например, широкое разнообразие отчетов по результатам интеллектуального анализа данных, включая таблицы, графики, диаграммы разброса данных, гистограммы и ансамбли; визуализация несопоставимых данных с использованием, например, картографических методов, диаграмм и трехмерных измерений (3D); и проведение интегрированного поиска и динамический просмотр различных климатических данных и метаданных с использованием таких функциональных возможностей, как методики оценки и сравнения пространственных данных;
- c) просмотр данных в мультимедийном представлении в виде, например, подкастов, видеоматериалов или фотографий.

Компоненты информационно-технологической инфраструктуры (ИТ) представляют собой функциональные средства, необходимые для поддержки СУКД. Компоненты являются абстрактными понятиями. Один компонент может относиться к целому спектру видов программного обеспечения и процессов, которые обеспечивают функциональные требования. Аналогичным образом, одно программное приложение может обеспечивать функциональные возможности, описанные в ряде компонентов. Базовая функциональность СУКД является общей для наименее развитых, развивающихся или развитых стран. Требуется не все компоненты; в публикации *Climate Data Management System Specifications* (Спецификации системы управления климатическими данными) (ВМО-№. 1131) обсуждается вопрос о том, является ли набор функциональных возможностей обязательным, рекомендованным или дополнительным, и подробно описываются спецификации для всех компонентов.

3.2.2 Сбор данных СУКД

Данные, которые уже имеются в цифровой форме, могут легко напрямую усваиваться системой. Нецифровые данные, как правило, оцифровываются в процессе ввода. Основной целью процесса ввода данных является дублирование, с минимальным количеством ошибок, необработанных данных в том виде, в каком они были зарегистрированы в процессе сбора. Система ввода данных с клавиатуры должна быть эффективной и простой в использовании для оператора ввода данных. Система также может быть предназначена для валидации данных по мере их ввода и обнаружения возможных ошибок. Кроме того, можно установить значения по умолчанию для некоторых элементов, тем самым избежав ненужных нажатий клавиш.

Там, где используются автоматические метеорологические станции (АМС), климатические данные, включая любые контрольные сообщения об ошибках, следует передавать в электронном виде в СУКД. Данные неавтоматизированных наблюдений следует передавать в СУКД как можно скорее любыми наиболее практичными средствами. Предпочтительно собирать данные по меньшей мере ежедневно, потому что качество данных, скорее всего, повысится; ручной труд, связанный с управлением качеством, скорее всего, уменьшится; технические ошибки будут обнаруживаться быстрее и появится больше возможностей для улучшения доступа к большему количеству данных. Тем не менее, представление данных за месяц является приемлемой альтернативой, когда ежедневная передача данных не представляется возможной. Например, многие из почти 6 000 добровольных наблюдателей в Австралии по-прежнему направляют ежемесячные отчеты о количестве осадков, содержащие ежедневные наблюдения за месяц.

Многие наблюдения за погодой регистрируются учреждениями или организациями помимо НМГС, и сбор данных в их исходной форме может быть затруднен. В этих случаях следует постараться собрать копии исходных форм отчетов. Если невозможно получить

ни оригинал, ни копию записи, следует это пометить в описи архивов центра с указанием информации, касающейся наличия и размещения данных, имеющегося объема, периода наблюдений, станций в сети, где применимо, и наблюдаемых элементов.

Хотя это и не формальное требование, рекомендуется, чтобы СУКД также содержала сведения о сообщениях средств массовой информации, фотографии и другую подобную информацию, выходящую за рамки традиционных данных и метаданных. Такую информацию можно получить путем воспроизведения сообщения из печатных СМИ с помощью цифровой камеры или сканера; определения даты, района и типа события (например, паводок, засуха или сильные осадки); указания средства массовой информации и написания дополнительных комментариев по поводу события.

Важно сохранять первоначально полученные значения данных, а также последние значения, прошедшие контроль качества. Исходное значение, вероятно, пройдет первоначальный автоматизированный контроль качества при вводе и, при необходимости, расширенный контроль качества; даже если оно будет отвергнуто во время любого из этих процессов, его все равно нужно сохранить. Некоторые СУКД сохраняют не только исходные и последние значения, но также и все модификации.

Еще одним аспектом сбора данных является регистрация случаев, когда данные ожидалось, но не поступили. Потеря данных может произойти в результате таких ситуаций, как неисправное оборудование, ошибки при передаче данных и ошибки при сборе и обработке данных. Потерянные данные можно восстановить с различной степенью определенности. Например, данные пропущенного измерения осадков можно считать равными нулю, если по другим данным известно, что местные и синоптические условия препятствовали возникновению осадков. В других случаях потерянные данные можно рассчитать с достаточной степенью определенности с помощью методов, рассматриваемых в 5.9. Во всех случаях в документации по комплекту данных следует надлежащим образом пометать восстановленные или рассчитанные данные (см. 3.4.1).

3.2.3 Документация, касающаяся данных СУКД

Необходимо иметь соответствующий набор метаданных, информирующий будущих пользователей о характере данных в системе, о том, каким образом различные наборы данных были собраны, и о любых присущих им проблемах. Рекомендуется, чтобы управление базами данных охватывало всю информацию, которая может влиять на однородность набора данных или рядов данных, в том числе факторы, рассматриваемые в разделе 2.6.9.

Как правило, структура метаданных в идеальной системе является более сложной, чем сами данные. Например, наблюдение за осадками, по сути, дает количество осадков за определенный период времени на конкретной станции. Соответствующие метаданные, которые могут применяться для данного наблюдения и которые могут понадобиться для интерпретации данных в полном объеме, могут содержать такую информацию, как исходная дата, используемая базой данных (например, часовой пояс); показатели или метки качества, которые приписаны наблюдениям; данные об изменениях, внесенных в значения, и любые связанные с ними метки; прибор, используемый для регистрации наблюдения, а также сведения о программах технического обслуживания, допуски, внутренние параметры и тому подобная информация; имя и контактная информация наблюдателя; полные сведения о местоположении и размещении станции и ее история; действующая на тот момент программа наблюдений и ее история, а также сведения о топографии и напочвенном покрове в пункте наблюдений. Подробную информацию об обработке метаданных конкретной станции можно найти в публикации *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечению однородности данных) (WMO/TD-No. 1186), 2.1—2.5. Подобным образом метаданные, относящиеся к комплекту данных спутниковых наблюдений количества солнечной энергии высокого разрешения с координатной сеткой, должны включать географический охват наблюдений, период записи набора данных, сведения о пересмотре и ведении набора данных, спутники, с которых были получены

данные, передаточные функции и процедуры усреднения для получения значений сетки, точность определения местоположения спутника, информацию о точности данных, а также контактную информацию.

Метаданные также нужны для самой СУКД. Каждый процесс в рамках системы (например, ввод с клавиатуры или управление качеством) следует полностью описать. История любых изменений, вносимых в ту или иную часть системы (например, программное обеспечение, технические средства или неавтоматизированные процедуры), следует документировать и поддерживать. Поскольку практика наблюдений, методы управления качеством и процедуры манипулирования данными со временем меняются, эти метаданные играют критически важную роль в климатологическом анализе исторических данных. Аналитик использует метаданные, чтобы определить и понять, каким образом было получено и обрабатывалось наблюденное значение данных, для того чтобы отделить метеорологические факторы влияния от возможных неметеорологических в записи данных.

Еще одной категорией метаданных является запись о хранящихся в СУКД данных. Следует регулярно составлять описи данных, содержащихся в СУКД. Стратификация может производиться, например, по элементу данных, расположению станции или сроку. Следует создавать и поддерживать описи содержимого для описания и определения содержания данных отдельных файлов и предоставления информации об используемых кодах и методах наблюдений. Важно знать, что содержится в СУКД, для эффективного извлечения информации из системы. Следует использовать основную модель ВМО серии ISO 19100 для данных и метаданных, пока она не будет заменена на опубликованные стандарты климатических метаданных.

3.2.4 Хранение данных СУКД

Важной функцией специалиста по управлению данными является оценка потребностей в хранении данных, в том числе оценка будущего расширения. Следует учитывать дополнительную информацию, которая будет включена в записи данных (например, метки качества данных, исходные сообщения, а также дата и время обновления записей), потребности в метаданных и любые виды резервирования, необходимого для обеспечения возможности восстановления баз данных. Для хранения некоторых типов данных, таких как данные дистанционного зондирования, океанографические данные и данные АМС с высоким временным разрешением, требуется большой объем памяти.

Потребности в хранении нетрадиционных данных (таких как влажность почвы, данные фенологических наблюдений и индексы растительности) могут отличаться от потребностей в хранении более традиционных данных наблюдений. Автоматические метеорологические станции часто будут генерировать данные, которые имеют отношение к качеству наблюдений, но не являются строго климатическими данными (например, информация о напряжении батареи для АМС). Как правило, эту информацию следует использовать до архивации данных; если она не включена в СУКД, она должна постоянно храниться где-нибудь в другом месте и быть доступной для специалистов по управлению данными. В процессе управления качеством часто получают значения и информация, которые могут отличаться от исходных данных, поэтому существует потребность в хранении как исходных данных, так и любых других данных, генерируемых в процессе управления качеством.

Оценка будущего расширения может оказаться очень трудной задачей, поскольку сложно определить, какие типы данных можно будет получать с течением времени и развитием технологий. Специалист по управлению данными должен учитывать все эти факторы при определении потребностей в хранении.

Нецифровые записи следует хранить таким образом, чтобы свести к минимуму ухудшение их состояния. Они должны храниться в контролируемых условиях во избежание сильных перепадов температуры и влажности, проникновения насекомых и вредителей, возникновения пожара, затопления, аварий или преднамеренного уничтожения.

Идеальным примером может служить хранение в ящиках с антикоррозионным покрытием в кондиционируемых безопасных хранилищах. Следует разработать программу технического обслуживания для спасения портящихся документов и, в частности, содержащихся в них данных.

С постоянным увеличением количества генерируемой и хранящейся информации возникает вопрос, нужно ли по-прежнему хранить все записи в их первоначальном рукописном виде. Очень часто климатологические записи хранятся в подвалах, на складах и в других неподходящих местах. Они часто не каталогизированы, недоступны и подвержены повреждениям. С целью сокращения расходов на бумагу, более эффективного использования пространства и обеспечения безопасности исходных документов рекомендуется сканировать рукописные данные в цифровые файлы и аккуратно их хранить. Характеристики компьютерного аппаратного обеспечения, необходимого для хранения и извлечения документов, зависят от потребностей в данных и наличия финансовых ресурсов, а также от технического прогресса, поэтому не существует международных стандартов или какого-либо одного предпочтительного носителя информации. Важно помнить, что ни один носитель информации не является долговечным, поэтому следует регулярно анализировать порядок и условия архивного хранения. Следует делать надежные и регулярные резервные копии компьютерных архивов, и как минимум одну копию хранить отдельно от основного архива.

Микроформа означает изображения документов, уменьшенные фотографическим способом до очень маленького размера от их первоначального размера. Существуют различные форматы микроформ. Примерами являются рулонные микрофильмы, микрофиши, джекеты, отрезки микрофильмов, апертурные карты, картриджи и кассеты. Однако в связи с существенным прогрессом в области хранения информации в цифровом виде теперь весьма желательно, чтобы бумажные документы напрямую сканировались или снимались на цифровую камеру и заносились в компьютерную систему вместе с устаревшими микроизображениями. Этот процесс упрощает доступ к информации и обеспечивает ее сохранность для будущих поколений.

3.2.5 Обеспечение доступа к данным СУКД и их извлечение

Важным аспектом любой СУКД является мощность средств для извлечения и анализа данных. Средства извлечения информации с графическим пользовательским интерфейсом следует предоставлять большинству пользователей, а средства командной строки следует обеспечивать для небольшого числа опытных пользователей, которые испытывают потребность в нестандартном поиске. Пользователи должны уметь задавать свои собственные критерии поиска, а системная документация должна быть четкой и содержать всю необходимую информацию в поддержку пользователей.

Параметры вывода должны быть экстенсивными и включать средства пользовательской настройки терминалов, сроки и содержание выходных изображений. Следует обеспечить доступ к спискам данных, сводкам в виде таблиц, статистическому анализу и графическому представлению.

3.2.6 Архивы СУКД

Архивом является долгосрочное и, в некоторых случаях, постоянное средство хранения данных и метаданных в СУКД. Структура архива, простая или сложная, физическая или электронная, зависит от финансовых ресурсов, степени подготовки персонала архива, объема данных для архивации, носителя данных (например, бумажные документы или цифровой формат), простоты ввода и извлечения информации из архива, удобства доступа пользователей к информации, удобства ведения архива, а также удобства расширения по мере увеличения архивов данных. Следует архивировать все составляющие СУКД, в том числе не только значения данных, но и каталоги, описи, истории, словари и подобную информацию.

3.2.7 **Безопасность СУКД**

Основная цель политики безопасности и связанной с этим деятельности заключается в том, чтобы предотвратить потерю или повреждение СУКД. Для достижения этой цели необходимо придерживаться следующих правил:

- a) все сотрудники должны знать свои профессиональные обязанности;
- b) среда архивов и баз данных должна быть надежно защищена от опасных физических факторов, таких как пожар и избыточная влажность;
- c) в случае цифровых данных следует обеспечивать защиту на уровне пользователя в отношении базы данных и ее компонентов. Лишь небольшая и зарегистрированная группа людей должна иметь право осуществлять такие операции манипулирования данными, как вставки, обновления и удаления;
- d) персонал, обладающий доступом к базе данных с правом записи, должен принять на себя обязательство не проводить никаких других операций, кроме операций и действий, разрешенных специалистом по управлению данными;
- e) следует вести контрольный журнал всех изменений, вносимых в таблицы данных, и установить контроль за доступом к этому журналу;
- f) следует применять принципы защиты паролей, в том числе не делиться паролями, не записывать пароли на бумаге, регулярно менять пароли и использовать «надежные» пароли, состоящие, на первый взгляд, из не связанных между собой букв, цифр и символов;
- g) следует отключить все ненужные сервисы на компьютере с базой данных;
- h) база данных должна быть защищена от атак вирусов и хакеров;
- i) необходимо регулярно делать резервные копии, учитывая, что работа, выполненная после того, как была сделана самая последняя резервная копия, вполне возможно, будет потеряна и ее потребуется повторить в случае сбоя в работе компьютера. Как правило, каждый день следует создавать инкрементную резервную копию и каждую неделю — полную резервную копию;
- j) время от времени, как правило ежемесячно, полную резервную копию таблиц данных следует помещать в защищенное, надежное и безопасное в пожарном отношении место, удаленное от физического местонахождения климатической базы данных. Как правило, три копии одного и того же архива хранят в трех безопасных местах и, если это возможно, в разных населенных пунктах или городах;
- k) резервные копии СУКД нужно делать до внесения каких-либо изменений в системное программное обеспечение, системное проектирование или приложения, содержащиеся в СУКД.

3.2.8 **Управление СУКД**

Следует регулярно проводить мониторинг СУКД, чтобы определять, насколько хорошо выполняются процессы, которые используются и поддерживают базу данных. Примерами процессов, которые поддерживают данные, являются ведение метаданных, ввод в базу данных, операции управления качеством, которые вносят изменения в базу данных, и извлечение информации. Каждый процесс следует контролировать, оценивать и при необходимости совершенствовать. Настоятельно рекомендуется, чтобы специалисты по управлению данными мыслили в контексте сквозного управления данными, при котором

информация о систематических проблемах качества данных, потере данных или других процессах, которые наносят вред климатической записи, направляется обратно лицам, отвечающим за производство наблюдений, для исправления.

Типовые отчеты о мониторинге включают количество и тип станций в базе данных, количество данных в базе данных, сгруппированных по станциям и по типам наблюдаемых элементов, а также информацию об отсутствующих данных. Эту информацию можно сравнить с графиками производства наблюдений, чтобы определить, когда и где данные были потеряны. Другие отчеты могут включать меры по управлению качеством, направленные на обеспечение того, чтобы процесс управления качеством осуществлялся должным образом с новыми данными, или на выявление каких-либо групп данных с большими проблемами качества. Полезно отслеживать количество и диапазон данных, извлекаемых по запросу пользователей, поскольку эта информация помогает определить как наиболее важные базы данных, так и области, которые необходимо будет развивать в будущем.

Частота и сроки представления отчетов о результатах мониторинга зависят от потребностей НМГС. Отчеты о вводе данных могут составляться автоматически, возможно каждый день. Ежемесячные отчеты о количестве и качестве данных обычно соответствуют месячному циклу многих видов климатической продукции.

3.2.9 **Международные стандарты и руководящие принципы, касающиеся СУКД**

Не существует соглашения относительно оптимальной структуры базы климатологических данных, поскольку ее проектирование зависит от конкретных потребностей НМГС и заинтересованных сторон. Одна потребность может заключаться в доступе ко всем данным по конкретному элементу в каком-либо регионе за определенный промежуток времени, а другая — в доступе к временным рядам данных по тому же элементу в каком-либо одном месте. Конкретные потребности будут сильно влиять на требуемый объем памяти или требуемое время реакции для загрузки или доступа к данным. При этом общие принципы, которые нужно соблюдать при любом проектировании, заключаются в следующем:

- a) документация пользователя: наставления должны включать общие сведения о базе данных и инструкции по установке с подробной информацией для пользователей, системных администраторов и программистов;
- b) ввод с клавиатуры: форматы показываемых на экране формуляров ввода данных должны быть похожи на форматы бумажных формуляров, с которых данные копируются; должна быть возможна настройка форматов в соответствии с требованиями пользователей; процедуры ввода информации в базу данных должны отвечать потребностям НМГС; проверка правильности вносимых записей (например, допустимые значения или идентификаторы станций) должна автоматически выполняться в процессе ввода с клавиатуры, а значения по умолчанию должны вводиться автоматически;
- c) помещение цифровых данных: система должна быть способна автоматически помещать стандартные отформатированные данные, передаваемые через Глобальную систему телесвязи (ГСТ), файлы, содержащие данные по многочисленным станциям, множественные файлы, содержащие данные по одной станции, данные с АМС, данные с заданными пользователями форматами и метаданные;
- d) валидация и управление качеством: система должна устанавливать метки, указывающие источник данных; уровень, на котором осуществлялось обеспечение качества (например, процесс ввода с клавиатуры или обработка в конце месяца); результаты менеджмента качества, а также основание для решения принять, отклонить или оценить значение. Система должна сохранять исходные, рассчитанные

и измененные значения данных; она должна также оценивать данные во времени и пространстве на допустимые значения, метеорологическую согласованность и физическую корректность;

- e) техническая документация: должны иметься списки, определяющие каждую таблицу в базе данных и связи между таблицами; соглашения об именовании должны быть сходными для всех таблиц, индексов, элементов и представлений;
- f) доступ к данным: интерфейс между пользователем и базой данных должен быть простым в использовании, а процедуры извлечения информации должны быть оформлены в виде документов, содержащих четкие инструкции и примеры;
- g) метаданные: система должна быть в состоянии управлять полным спектром метаданных (как описано в 2.6.9);
- h) выходная продукция: СУКД должна быть в состоянии производить стандартную выходную продукцию, которая отвечает потребностям НМГС, например, перечни данных и табличные почасовые, ежедневные, ежемесячные данные и данные за более длительный период; статистические обобщения и графические представления, такие как контурный анализ, розы ветров, временные ряды, данные аэрологического зондирования и графики изменения переменных моделей для отдельных станций;
- i) администрирование данных и системы: система должна обеспечивать нормальный режим работы и специальный резервный режим, не завершая работу; своевременное восстановление по мере необходимости; регистрацию отдельных операций; поддержание безопасности; контроль системных характеристик (например, использование памяти, доступный объем памяти, количество операций и статус системных журналов); а также копирование в специальное фактическое месторасположение через регулярные промежутки времени;
- j) уровень поддержки: пользователи должны иметь возможность решать проблемы, используя имеющуюся документацию, общаться с другими пользователями для обмена вопросами и комментариями и получать консультации от разработчиков системы по мере необходимости и своевременно;
- k) гибкость: система должна быть способна к расширению и модификации по мере развития аппаратных и программных технологий и изменения источников данных, а также роста потребностей в выходной продукции.

3.3 УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

Цель управления качеством заключается в проверке того, является ли сообщаемое значение данных репрезентативным по отношению к тому, что предполагалось измерить, и не было ли оно искажено под влиянием посторонних факторов. Поэтому важно, чтобы было ясно с самого начала то, что именно должны представлять значения конкретного ряда данных. Данные следует считать пригодными для постоянного архивирования только после того, как они пройдут соответствующий контроль качества.

Наблюдатель или автоматическая система наблюдений должны осуществлять управление качеством, чтобы убедиться в том, что срок и идентификация станции являются правильными, что зарегистрированные значения объективно отражают текущие условия и что существует согласованность между наблюдаемыми элементами. Все эти меры необходимо принять до регистрации или передачи наблюдения.

Центр архивации также должен осуществлять управление качеством полученных наблюдений. Если исходным документом являются рукописные записи, обученный персонал должен внимательно их проверить по получении в центре архивации, прежде чем выполнить какую-либо оцифровку. Формы следует проверять для обеспечения

надлежащей идентификации (например, название станции, идентификационный номер и местоположение), читаемости и правильной записи данных (например, с нужной точностью и в соответствующих столбцах). Если обнаружены какие-либо проблемы, следует связаться с пунктами наблюдений, чтобы прояснить вопросы или устранить проблемы. Если ресурсы не позволяют обеспечивать управление качеством всех данных, приоритет следует отдавать наиболее важным климатическим элементам.

Процедуры контроля качества метеорологических данных содействуют обеспечению заданных уровней качества данных на протяжении жизненного цикла метеорологических данных и должны быть неотъемлемой частью системы менеджмента качества организации. Следует отметить, что процедуры способствуют, в частности, обеспечению уровней качества данных, которые оказывают поддержку климатическим применениям и обслуживанию. Необходимо также отметить, что процедуры контроля качества должны быть адаптированы к специфическим климатическим условиям страны и корректироваться с целью соответствия существующей и запланированной наблюдательной и информационно-технологической инфраструктуре, а также к имеющимся людским ресурсам. Применяемые процедуры контроля качества должны быть четко документально описаны и доступны для пользователей данных. Детализированные руководящие указания для целей обеспечения качества приземных данных для климатических применений будут представлены в предстоящей замене публикации *Guidelines on the Quality Control of Surface Climatological Data* (Руководящие указания по контролю качества приземных климатологических данных) (WMO/TD-No. 111). Новая публикация будет включать ряд проверок, которые дополняют информацию, содержащуюся в 3.4.3—3.4.7 ниже.

3.3.1 Процедуры контроля качества

Если данные наблюдений поступают в цифровом виде, в центре архивации они должны проходить процедуры полного и тщательного контроля качества на регулярной и систематической основе. Компьютерные программы способны просматривать все имеющиеся данные и составлять списки данных, которые не проходят заранее определенные проверки, но не так искусно могут определять основную проблему. Квалифицированный аналитик часто способен делать выводы о причине ошибок и определять необходимость применения тех или иных корректировок, но, как правило, он перегружен огромным количеством наблюдений. Лучшим методом является сочетание этих двух вариантов с использованием генерируемых компьютером списков потенциальных ошибок, представленных аналитику для дальнейших действий.

Статистические методы (описаны в главах 4 и 5) играют неоценимую роль в выявлении ошибок, а в некоторых случаях — в предположении того, каким должно быть «правильное» значение. Целевой автоматизированный просмотр данных имеет большое значение при валидации больших объемов данных. Однако необходимо проводить неавтоматизированную проверку результатов, полученных при автоматизированной проверке, чтобы удостовериться, что автоматизированные процедуры работают так, как ожидалось. Отображение данных и сводок данных и в графическом виде, и в виде карт является очень хорошим средством визуальных исследований. Эти методы направлены на интеграцию и усвоение больших объемов данных и позволяют квалифицированному аналитику определить соответствующие сочетания для оценки физического смысла, определения выбросов, обнаружения подозрительных данных и оценки эффективности автоматизированных процедур.

Все наблюдения следует соответствующим образом помечать. Откорректированные или рассчитанные правильные данные следует вносить в базу данных. Однако исходные данные также нужно сохранять в базе данных. После того как данные прошли контроль качества, были откорректированы и обработаны, окончательный набор данных должен еще раз подвергнуться проверкам в рамках контроля качества. Этот последний шаг поможет убедиться, что во время процедуры контроля качества не были внесены ошибки. Дальнейшая неавтоматизированная проверка должна помочь определить комбинации ошибок, которые могли возникнуть в результате, например, ошибок программного

обеспечения, а также недостаточного или ненадлежащего соблюдения инструкций и процедур. Об этих комбинациях ошибок следует сообщать руководителям программ наблюдений НМГС.

В базе данных какое-либо значение, как правило, доступно на различных этапах контроля качества. Исходные данные при поступлении в базу данных должны быть сохранены, но процесс валидации часто приводит к модификациям данных. Эти различные этапы значения отражаются в метках качества. Можно выстроить множество меток, но количество меток следует свести к минимуму, необходимому для описания оценки качества и надежности исходных данных или рассчитанных значений. Код метки качества, в котором используются две цифры, одна для типа данных и одна для этапа валидации, отвечает большинству требований. Когда данные поступают из нескольких источников, часто бывает полезно установить третью метку для источника данных. Примеры кодов «типа данных», «этапа валидации» и «метода сбора» приведены в таблицах 3.1, 3.2 и 3.3.

Таблица 3.1. Примеры кодов типов данных

<i>Код типа данных</i>	<i>Значение</i>
0	Исходные данные
1	Откорректированные данные
2	Восстановленные (например, методом интерполяции, оценки или детализации)
3	Рассчитанное значение

Таблица 3.2. Примеры кодов этапов валидации

<i>Код этапа валидации</i>	<i>Значение</i>
1	Отсутствующие данные (данные не получены или наблюдение не произведено)
2	Данные, удаленные после завершения процедур контроля
3	Не были проконтролированы (недавно введенные данные или данные за прошлые периоды, не подлежащие какому-либо контролю)
4	Признаны сомнительными, поскольку определены как выброс в результате предварительных проверок (данные, возможно, неверны)
5	Признаны сомнительными в результате автоматизированного контроля или выполненной человеком проверки (данные, вероятно, неверны)
6	Признаны прошедшими валидацию в результате автоматизированного контроля или выполненной персоналом проверки (но дальнейшая модификация разрешена, если, например, в ходе дальнейшего изучения обнаружено, что данные все еще можно улучшить)
7	Признаны прошедшими валидацию в результате автоматизированного контроля и выполненной персоналом проверки, и дальнейшая модификация не разрешена

Таблица 3.3. Примеры кодов метода сбора данных

<i>Код метода сбора</i>	<i>Значение</i>
1	Глобальная система телесвязи
2	Ввод с клавиатуры
3	Сеть телесвязи автоматических метеорологических станций
4	Цифровой файл автоматической метеорологической станции
5	Рукописная запись

3.3.2 Документы по контролю качества

Следует подробно документировать процедуры и алгоритмы контроля качества на каждом этапе обработки данных от наблюдения до архивации. Требуется документировать проверки, которые выполняются наблюдателем; первоначальную валидацию, выполненную центром сбора; окончательную валидацию; контроль качества измененных форматов для архивации или публикации и проверки сводных данных.

Подробные записи и документация должны быть доступны пользователям данных. Знание процедур обработки и контроля качества данных позволяет пользователю данных оценивать достоверность результатов наблюдения. С надлежащим документированием и сохранением исходных данных будущие пользователи могут оценивать влияние изменений в процедурах на достоверность, целостность или однородность ряда данных; применять новые знания в области атмосферных наук к более старым данным, и, возможно, вновь проверять достоверность данных на основе новых методов и открытий.

3.3.3 Типы ошибок

Ошибки в метаданных часто проявляются в виде ошибок в данных. Например, неправильный идентификатор станции может означать, что данные из одного места, по-видимому, поступили из другого; неправильная метка даты может означать, что данные, по всей видимости, наблюдались в другое время. Отсутствие данных касательно правильного места и времени следует обнаруживать с помощью проверки полноты; данные, которые были приписаны к неправильному месту или времени, следует обнаруживать с помощью проверки согласованности и допустимости.

Ошибки в данных возникают в основном из-за ошибок приборов, ошибок наблюдателя, ошибок при передаче данных, при вводе с клавиатуры данных и в процессе валидации данных, а также в связи с проблемами, касающимися изменения форматов данных и уплотнения данных. При разработке набора процедур управления качеством следует учитывать все возможные типы, источники и причины ошибок и принимать меры по сокращению их количества. Рекомендуется, чтобы при разработке автоматизированных и полуавтоматизированных процедур маркировки ошибок разработчики систем работали в тесном контакте с персоналом по оперативному контролю качества.

3.3.4 Проверка формата

Следует проводить проверки в отношении повторяющихся данных наблюдений или недопустимых кодов формата, таких как буквенные значения в числовом поле, вложенных или пустых полей в наблюдении, невозможных кодов идентификации и неправдоподобных дат. Истинными причинами ошибки формата могут являться неправильный набор на клавиатуре, искажение сообщения при передаче или ошибка оператора.

Следует внедрить процедуры устранения или, по крайней мере, сокращения количества случаев неверного формата. К двум методам, обычно используемым для сокращения ошибок, возникающих при вводе с клавиатуры, относятся двойной ввод (когда одни и те же данные вводятся независимо двумя операторами) и алгоритмы обнаружения ошибок. Выбор метода зависит от навыков оператора ввода данных, сложности наблюдения и наличия ресурсов. Для устранения или, по крайней мере, обнаружения ошибок при передаче следует использовать методы обнаружения и исправления цифровых ошибок. Тщательное проектирование систем ввода данных может свести к минимуму ошибки оператора, но надлежащее обучение и проверка качества работы необходимы даже при наличии самой удобной для использования системы.

3.3.5 Проверка полноты

Для одних элементов отсутствующие данные гораздо более важны, чем для других. Для экстремальных значений за месяц или данных о событиях, таких как количество дней с осадками выше определенного порога, отсутствующие суточные данные могут поставить записанное значение под большое сомнение. Суммарное месячное количество осадков также может быть поставлено под большое сомнение в связи с отсутствующими данными за несколько дней, особенно когда в течение периода, данные за который отсутствуют, отмечался дождь. С другой стороны, в случае со среднемесячной температурой зависимость от отсутствующих данных может быть не настолько велика, как в двух предыдущих примерах. Для некоторых применений полнота данных является необходимостью.

Данные следует сортировать по типу наблюдения в заданном хронологическом порядке по станциям. Опись следует сравнивать с файлом идентификатора основной станции. Следует проводить сравнение между фактически полученными наблюдениями и наблюдениями, которые предполагается получить. Отсутствие каких-либо ожидаемых наблюдений следует пометить для дальнейшего рассмотрения.

3.3.6 Проверка согласованности

К четырем основным типам проверок согласованности относятся проверки внутренней согласованности, согласованности во времени, согласованности в пространстве и уплотнения. Поскольку значения данных связаны между собой во времени и пространстве, следует разработать комплексную процедуру для изучения согласованности. Все проверки согласованности следует полностью документировать с указанием процедур, формул и критериев принятия решений.

Внутренняя согласованность опирается на физические взаимосвязи между климатологическими элементами. Все элементы следует тщательно проверять в сравнении с любыми связанными с ними элементами в каждом наблюдении. Например, следует проверять психрометрические данные, чтобы убедиться, что отмечаемая температура по сухому термометру равна или больше отмечаемой температуры по влажному термометру. Точно так же следует проверять связь между видимостью и текущей погодой на соответствие стандартной практике наблюдений.

Следует проверять данные на соответствие определениям. Например, максимальное значение должно быть равно или выше минимального значения. Физические границы создают правила для дальнейших проверок внутренней согласованности. Например, продолжительность солнечного сияния ограничена продолжительностью дня, глобальная радиация не может быть больше, чем энергетическая освещенность в верхних слоях атмосферы, направление ветра должно быть между 0° и 360°, а осадки не могут быть отрицательными.

При оценке временной согласованности проверяется изменение элемента во времени. Многие наборы климатологических данных демонстрируют значительную корреляцию рядов. Проверку следует проводить путем сравнения предыдущих и последующих наблюдений с наблюдением, о котором идет речь. Используя опыт, аналитические или статистические методологии, эксперты по проверке данных могут установить величину изменения, которое может ожидаться в конкретном элементе в какой-либо промежуток времени. Это изменение обычно зависит от элемента, сезона, местоположения и временного разрыва между двумя последовательными наблюдениями. Например, понижение температуры на 10 °C в течение одного часа может быть подозрительным, но может быть и вполне реальным, если оно связано с прохождением холодного фронта или появлением морского бриза. Подозрительное значение нужно будет сравнить с текущей погодой в это время, и, возможно, с другими типами наблюдений (такими, как направление ветра, спутниковые и радиолокационные наблюдения или обнаружение

молний), прежде чем принять решение о проверке его достоверности или модификации. Для некоторых элементов отсутствие изменения может указывать на ошибку. Например, ряд одинаковых скоростей ветра может указывать на проблему с анемометром.

Проверки временной согласованности можно легко автоматизировать. В разделе 5.5 приведено описание некоторых методов анализа временных рядов, которые могут быть адаптированы для целей управления качеством. Графическое представление данных является также превосходным средством верификации. Несколько элементов следует визуализировать одновременно для упрощения диагностики. Например, спад температуры проще проверять, если также имеется информация, показывающая изменение направления ветра по часовой стрелке, связанное с прохождением холодного фронта, или сильный дождь с грозой.

При проверке пространственной согласованности сравнивается каждое наблюдение с наблюдениями, проводимыми в то же самое время на других станциях в этом районе. Каждое наблюдение можно сравнить с тем, что можно было бы ожидать в данном месте, на основе наблюдений с соседних станций. Данные, для которых существует значительная разница между ожидаемыми и фактическими наблюдениями, следует пометить для анализа, исправления или удаления при необходимости. Важно отметить, что напрямую сравнивать следует только однородные величины, такие как скорости ветра, измеренные на одной высоте; значения, измеренные на одинаковых высотах над уровнем моря, таких как равнинная открытая местность; или значения, измеренные внутри района со схожими климатическими условиями. В разделе 5.9 приведено подробное описание методов оценки данных, которые требуются для данного типа процесса управления качеством.

Проверка путем суммирования является одной из самых простых. Сравнивая различные сводки данных, можно обнаружить ошибки в отдельных значениях или в каждой сводке. Например, можно рассчитать суммарные и средние суточные значения за различные периоды, такие как недели, месяцы или годы. Проверка того, что общая сумма, полученная путем сложения двенадцати месячных сумм, равна сумме отдельных суточных значений за год, обеспечивает быструю и простую перекрестную проверку элемента накопления, такого как количество дождевых осадков. Систематические ошибки в данных аэрологических станций можно иногда обнаружить путем сравнения среднемесячных значений со значениями, полученными для того же места и высоты из системы численного анализа. Причину каких-либо несоответствий следует анализировать и устранять.

Морские наблюдения, как правило, можно подвергать процедурам, аналогичным тем, которые используются для наземных станций приземных наблюдений, с небольшими изменениями, касающимися дополнительных элементов, исходя из того, что в каждом наблюдении присутствует идентификатор судна, чтобы данные можно было отсортировать в хронологическом порядке и по судам. Аэрологические наблюдения нужно проверять несколько по-другому. Следует проводить определенные перекрестные проверки условий в приземном слое с условиями в приземном слое на соседних или совмещенных станциях приземных наблюдений. Программа управления качеством для проверки аэрологических данных должна вычислять данные для последующего уровня на основе данных на предыдущем уровне, начиная с приземного. Следует установить ограничения на допустимую разницу между рассчитанными и сообщаемыми значениями. Тот или иной уровень с сообщаемыми элементами, которые не проходят проверку, следует маркировать как сомнительный, проанализированный или исправленный.

3.3.7 Проверки допустимости

Проверки допустимости устанавливают верхние или нижние пределы для возможных значений климатологического элемента (например, направление ветра, облачный покров, а также прошедшая и текущая погода) или в других случаях, когда теоретический диапазон значений бесконечен — пределы, вне которых результат измерения вряд ли может быть признан допустимым. В последнем случае пределы, как правило, зависят от времени и местоположения и должны устанавливаться с помощью исторических значений или методов пространственной интерполяции. Важно также определить, а затем быстро

устранить систематические погрешности в результатах измерений с помощью приборов. Следует поддерживать документацию в отношении того, какие проверки допустимости применяются, какие климатические пределы устанавливаются для каждого проверяемого элемента и в отношении обоснования для установления этих пределов.

Как правило, при проверке допустимости сравнивается интересующее нас значение с неким стандартом, используя статистический порог. К некоторым простым проверкам допустимости относятся сравнение наблюденного значения с экстремальным или рекордным значением или с некоторым числом среднеквадратических отклонений относительно среднего значения для данной даты. В последнем случае необходимо учитывать возможность того, что элемент не обязательно будет иметь симметричное, или гауссовское, распределение и что некоторые экстремальные значения, определенные исходя из коэффициента стандартного отклонения, могут быть неверными.

При использовании долгосрочных исторических данных для управления качеством предпочтительнее использовать стандартизованную статистику (например, стандартные отклонения или непараметрическую статистику, зависящую от ранговых отношений в выборке), а не абсолютные значения. В разделе 4.4 рассматриваются различные сводные дескрипторы данных, в том числе ограничения их пригодности.

Существует возможность проведения некоторых проверок допустимости с использованием абсолютно разных потоков данных, таких как спутниковые или радиолокационные данные. Например, очень простой проверкой вероятности выпадения или невыпадения осадков с использованием спутниковых данных могла бы стать проверка на наличие облаков на спутниковом изображении.

3.4 ОБМЕН КЛИМАТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Обмен данными играет существенную роль в климатологии. Обязательства Членов ВМО по обмену данными и метаданными с другими Членами и условия, на которых эти данные могут передаваться третьей стороне, предусмотрены резолюцией 60 Семнадцатого Всемирного метеорологического конгресса (в части, касающейся Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания), резолюцией 25 Тринадцатого Всемирного метеорологического конгресса (в части, касающейся гидрологических данных) резолюцией 40 Двенадцатого Всемирного метеорологического конгресса (в части, касающейся метеорологических данных) и резолюцией XXII-6 Межправительственной океанографической комиссии (в части, касающейся океанографических данных). Эти резолюции касаются концепций «основных» и «дополнительных» данных с указанием минимального набора данных, которые следует предоставлять на недискриминационной основе и по цене, не превышающей стоимость производства и доставки, не требуя платы за сами данные и продукцию. Члены могут принять решение о том, чтобы признать в качестве «основных» данные сверх минимального набора. Важным условием является использование международных согласованных стандартных форматов для обмена данными.

Помимо сообщений CLIMAT и связанных с ними сообщений (см. 4.8) Членам также предлагается предоставлять дополнительные данные и продукцию, которые необходимы для поддержания программ ВМО на глобальном, региональном и национальном уровнях, а также для оказания помощи другим Членам в предоставлении метеорологического и климатологического обслуживания в их странах. Члены, предоставляющие такие дополнительные данные и продукцию, могут налагать условия на их реэкспорт. Научные и образовательные сообщества должны иметь свободный и неограниченный доступ ко всем данным и продукции, которыми обмениваются под эгидой ВМО, для их некоммерческого использования.

Члены ВМО добровольно назначают ряд своих станций для включения в состав различных сетей, включая Аэрологическую сеть Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) (ГУАН), Сеть приземных наблюдений ГСНК (СПНГ), Региональную опорную

синоптическую сеть и Региональную опорную климатологическую сеть. Назначение станций для участия в этих сетях подразумевает обязательство по обмену данными на международном уровне.

Обмен данными осуществляется также через Всемирную систему данных (ВСД) Международного научного совета (МНС). Всемирная система данных работает для того, чтобы обеспечивать доступ к актинометрическим, геофизическим данным и связанным с ними данным об окружающей среде. Система обслуживает все научное сообщество, собирая, тщательно изучая, систематизируя и распространяя данные и информацию. Система осуществляет сбор, документирование и архивацию данных измерений и связанных с ними метаданных со станций по всему миру и обеспечивает свободный доступ к этим данным для научного сообщества. В некоторых случаях ВСД также предоставляет дополнительную продукцию, в том числе результаты анализа данных, карты распределения данных, а также сводные данные. Всемирная система данных охватывает такие дисциплины и типы данных, как метеорология, палеоклиматология, океанография, малые газовые составляющие атмосферы, гляциология, почвы, морская геология и геофизика, солнечные пятна, солнечная активность, солнечно-земная физика, собственное свечение атмосферы, полярное сияние и космическое излучение, а также другие дисциплины.

Всемирная метеорологическая организация активно участвует в предоставлении данных в ВСД, и существует ряд соответствующих центров, которые эксплуатируются напрямую при посредстве ВМО. Центры ВМО занимаются проблемами, связанными с озоном и ультрафиолетовым излучением, парниковыми газами, аэрозолями, оптической плотностью аэрозолей, радиационной химией и химией осадков. Существуют различия в стратегиях доступа к данным для центров МНС и ВМО. Центры данных Международного научного совета обмениваются данными между собой на безвозмездной основе и бесплатно предоставляют данные ученым в любой стране. Центры данных, эксплуатируемые при посредстве ВМО, должны соблюдать упомянутые выше резолюции 40 и 25, которые позволяют размещать некоторые данные или продукцию в ВСД с учетом соответствующих условий их использования.

Помимо ВСД Международного научного совета существует много других центров, которые функционируют в рамках соглашений о сотрудничестве с ВМО или с отдельными НМГС. К этим центрам относятся Глобальный центр климатологии осадков и Глобальный центр данных по стоку (Германия); Национальный климатический центр Австралии; Мировой центр данных об озоне и УФ-излучении (Канада); Центр имени Гадлея Метеорологического бюро (Соединенное Королевство) и в США — Обсерватория Земли Ламонта-Доэрти Колумбийского университета, Национальные центры информации об окружающей среде, Центр рассредоточенных активных архивов имени Годдарда Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), Группировка буев в тропической зоне океана (ТАО)/Треугольной трансокеанской сети буев (ТРИТОН) и Корпорация университетов для исследований атмосферы.

Обмен цифровыми данными является простой задачей для многих Членов благодаря наличию целого спектра компьютерных систем связи. Глобальная система телесвязи является системой метеорологической связи, которая охватывает практически все страны мира. Являясь оперативной системой, играющей важнейшую роль в глобальном прогнозировании погоды, она обеспечивает надежную связь, хотя иногда и с низкой пропускной способностью. Как и в случае с сетью Интернет, в основе Глобальной системы телесвязи лежит объединение взаимосвязанных сетей. Однако являясь замкнутой системой, она не подвержена нарушениям режима безопасности, которому подвержена сеть Интернет. Открытые сети связи, такие как Интернет, следует защищать с помощью наилучших имеющихся систем обеспечения безопасности, чтобы свести к минимуму риск несанкционированного доступа к файлам и манипулирования ими или их повреждения.

Весьма маловероятно, что форматы, используемые для архивации климатологических данных в одной стране, будут такими же, как и в другой стране. Данные должны сопровождаться документацией по форматам, описывающей структуру данных, типы элементов, единицы и любую другую соответствующую информацию. Кроме того, если

цифровые данные находятся в сжатой форме или в специальном нетекстовом формате, участвующему архивному центру очень полезно предоставлять программы «считывания», для сопровождения цифровых данных, запрашиваемых из архива.

Международные соглашения об обмене данными создают возможности для составления на глобальном уровне публикаций по климатическим нормам, таких как [World Weather Records](#) и [Monthly Climatic Data for the World](#). Двусторонние и многосторонние соглашения также играют важную роль в создании комплектов долгосрочных данных, таких как Глобальная сеть исторических климатологических данных, Всеобъемлющий комплект опорных аэрологических данных и всеобъемлющие комплекты данных по атмосфере и океану, составленные США, а также глобальные комплекты данных наблюдений Центра имени Гадлея, составленные Соединенным Королевством, включая обмен ими. Эти комплекты данных, как правило, предоставляются научно-исследовательским центрам.

Существующие информационные системы ВМО разработаны для удовлетворения разнообразных потребностей в рамках множества различных программ и комиссий. Множественность систем привела к несовместимости, неэффективности, дублированию усилий и повышению общих расходов для Членов. Альтернативным подходом, который, как планируется, обеспечит повышение эффективности обмена данными и информацией между странами, является Информационная система ВМО (ИСВ). Предполагается, что эта система будет использоваться для сбора и совместного использования информации в рамках всех программ ВМО и связанных с ними международных программ. Можно включить не метеорологические и не климатические данные об окружающей среде и геофизические данные, например, экологические данные, данные о землетрясениях и о цунами. Общая концепция развития ИСВ обеспечивает руководство в отношении планомерной эволюции существующих систем в интегрированную систему, которая эффективным образом удовлетворяет потребности Членов в международной информации об окружающей среде.

Информационная система ВМО обеспечит комплексный подход к регулярному сбору и автоматизированному распространению данных наблюдений и продукции, своевременному предоставлению данных и продукции, а также запросам на получение данных и продукции. Она должна быть надежной, экономически эффективной и доступной для развивающихся, а также развитых стран. Она также должна быть технологически устойчивой и приемлемой для местных специалистов, модульной, масштабируемой, гибкой и расширяемой. Она должна быть способна адаптироваться к изменяющимся потребностям, позволять распространять продукцию из различных источников данных и позволять участникам сотрудничать на уровнях, соответствующих их обязанностям и бюджетным ресурсам. Информационная система ВМО должна также поддерживать различные группы пользователей и стратегии доступа, такие как изложенные в вышеупомянутых резолюциях 40 и 25, безопасность данных и сетей и интеграцию разнообразных комплектов данных.

3.5 СПАСЕНИЕ ДАННЫХ

Спасение данных подразумевает организацию деятельности по сохранению климатических данных, которые могут быть потеряны в результате повреждения, разрушения, запущенности, технического износа или простого рассредоточения массивов климатических данных с течением времени. Не оцифрованные данные подвергаются опасности в силу уязвимости исходных бумажных носителей данных. Спасение данных предусматривает: организацию и сканирование данных на бумажной основе, микропленках и микрофишах; работу на клавиатуре с численными и текстовыми данными и оцифровку ленточных диаграмм в удобном формате; и архивацию данных, метаданных и результатов и процедур проверок качества. Обзор компонентов деятельности по спасению климатических данных приводится в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Компоненты деятельности по спасению климатических данных

Компоненты спасения данных	Деятельность	Ключевые слова
Архивация средств распространения информации на бумажных носителях и в виде микрофильмов/микрофиш	Поиск и расположение	НМГС, пункты наблюдений, университеты, авиационные и морские учреждения, сельскохозяйственные организации, международные библиотеки и базы данных, национальные архивы
	Поддержание в сохранности и хранение	Чистые среды; размещение в бескислотных, маркированных архивных коробах, защищенных от пыли, влаги и насекомых
	Создание электронного реестра фондов на бумажной основе/микрофотокопиях	Каталогизация всех носителей информации на бумажной основе; оценка масштаба визуализации и оцифровки данных
Средства сканирования	Создание основного реестра эталонных изображений	
	Сканирование и валидация Обновление основного реестра графических объектов Создание реестров графических файлов на каждом CD/DVD или в каждой компьютерной директории	Обновление основного реестра графических объектов после их валидации на читаемость, включая метаданные Перекрестная проверка реестров файлов CD/DVD с основным реестром графических объектов
Преобразование в цифровую форму значений данных	Создание реестра данных в оцифрованном виде	
	Ввод с клавиатуры, отслеживание данных	Ввод данных в систему управления климатическими данными
	Контроль качества данных	Обновление реестра оцифрованных данных по мере оцифровки данных и их прохождения различных проверок контроля качества
Архивация носителей информации в оцифрованном виде	Перекрестная проверка информации, изображений и оцифрованных данных в печатном виде	Сравнение реестров визуальных и оцифрованных данных с исходным электронным реестром данных на бумажной основе и в виде микрофильмов
	Поддержка электронных средств распространения информации	Каждые сутки
	Распространять дубликаты архивов изображений и оцифрованных данных	Различным пользователям
	Обновлять информационно-коммуникационные технологии	Каждые 5 — 10 лет

Любая группа или отдельное лицо, которые имеют данные (на бумаге, микрофильмах или на основе цифровых технологий), должны пытаться содействовать спасению климатических данных. Те лица, которые несут ответственность за управление регистрацией национальных климатических данных, должны играть особую роль в области спасения данных, поскольку они в большей мере способны понимать значение и оценивать данные, которые спасают, и понимать, какие из них наиболее важные. Такие специалисты во многих случаях состоят в климатических подразделениях НМГС, а спасение климатических данных является одним из элементов их обязанностей

в качестве администраторов баз климатических данных. При этом сторонников спасения данных можно обнаружить во многих учреждениях, как в государственных (сельскохозяйственные департаменты), так и в частных (университеты, сельские муниципалитеты, агробизнес). Кроме того, добровольческие организации, такие как Международная организация по спасению данных об окружающей среде (МОСДО) и международный проект «Модели циркуляции атмосферы Земли» (АКРЕ) были созданы для содействия спасению данных. К другим сторонам, заинтересованным в оказании помощи деятельности по спасению данных, относятся работающие и вышедшие на пенсию климатологи, библиотекари, историки и студенты. Такие люди будут также весьма полезны в реализации привлечения широкой общественности к решению этой проблемы.

В публикации *Guidelines on Best Practices for Climate Data Rescue* (Руководящие принципы по наилучшим практикам спасения климатических данных) (WMO-No. 1182) представлены подробные указания для всех аспектов деятельности по спасению климатических данных. Портал [International Data Rescue](#) (I-DARE) является сетевым ресурсом для всех людей, интересующихся вопросами сохранения, спасения и оцифровки данных. Он обеспечивает единый пункт входа за информацией о состоянии прошлых и текущих проектов по спасению данных по всему миру; о данных, которые нуждаются в спасении и об используемых методах и технологиях. Он является пунктом доступа к обмену информацией по всем аспектам спасения данных, включая применяемые и появляющиеся технологии спасения данных. Поскольку его целями является повышение уровня общественного восприятия существующих видов деятельности по спасению данных в целях стимулирования осуществления ее новых направлений и лучшей координации международных усилий по спасению данных, портал I-DARE является полезным средством коммуникации. Он будет также содействовать в определении разрывов и благоприятных возможностей, окажет помощь в расстановке приоритетов в спасении данных в регионах, где эта деятельность наиболее востребована, и в привлечении финансовых ресурсов для реализации проектов.

Меры по упорядочиванию, сканированию, оцифровке и контролю качества спасаемых данных могут быть дорогостоящими и требуют значительных временных затрат. Начальная стадия и выполнение программы по спасению данных начинается с НМГС, которым предстоит наглядно обосновать необходимость спасения данных. Это может включать идентификацию практических вопросов, на которые можно будет ответить улучшением климатических данных. К примеру, исторические климатические данные позволят НМГС ответить на вопросы, касающиеся повторяемости явлений засух или ливневых дождей, или направления самого сильного ветра за последние 100 лет. Такая информация представляет собой продукцию с «добавленной стоимостью», за которую администраторы НМГС смогли бы взять плату, принеся дополнительный доход для НМГС. Более того, упорядочивание климатических данных могло бы привести в результате к высвобождению сотен квадратных метров общей площади помещений НМГС без того, чтобы выбрасывать ценные исторические записи с данными. Внешняя поддержка в течение нескольких лет часто требуется для деятельности по спасению данных. Отдельные лица и группы, которые уже провели спасение данных, могут быть в состоянии предоставить консультации и аргументировать финансирование усилий по спасению данных.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 2015: *Семнадцатый Всемирный метеорологический конгресс: Сокращенный окончательный отчет с резолюциями* (ВМО-№ 1157). Женева.
- World Meteorological Organization, 1986: *Guidelines on the Quality Control of Surface Climatological Data* (WMO/TD-No. 111). Geneva.
- , 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WMO/TD-No. 1186, WCDMP-No. 53). Geneva.
- , 2007: *Guidelines on Climate Data Management* (WMO/TD-No. 1376, WCDMP-No. 56). Geneva.
- , 2014: *Climate Data Management System Specifications* (WMO-No. 1131). Geneva.
- , 2016: *Guidelines for Best Practices for Climate Data Rescue* (WMO-No. 1182). Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Cornford, D., 1998: An overview of interpolation. In: *Seminar on Data Spatial Distribution in Meteorology and Climatology* (M. Bindi and B. Gozzini, eds). Volterra, European Union COST Action 79.
- Cravatte, S., W. S. Kessler, N. Smith, S. E. Wijffels et al., 2016: *First Report of TPOS 2020*. GOOS-215, available at <http://tpos2020.org/first-report/>
- De Gaetano, A.T., 1997: A quality control procedure for hourly wind data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 14:137–151.
- Graybeal, D.Y., A.T. De Gaetano and K.L. Eggleston, 2004: Complex quality assurance of historical hourly surface airways meteorological data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21:1156–1169.
- Hungarian Meteorological Service, 1997: *Proceedings of the First Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data* (Budapest, 6–12 October 1996). Budapest.
- International Organization for Standardization, 2015: *ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*.
- , 2015: *ISO/IEC 17021-1:2015 Conformity Assessment – Requirements for Bodies Providing Audit and Certification of Management Systems*.
- , 2018: *ISO 9004:2018 Quality Management – Quality of an Organization – Guidance to Achieve Sustained Success*.
- Kresse, W. and K. Fadaie, 2004: *ISO Standards for Geographic Information*. Berlin, Springer.
- Merlier, C., 2001: *Interpolation des données spatiales en climatologie et conception optimale des réseaux climatologiques*. Annex to the report by Météo-France on its activities related to the WMO Commission for Climatology (WMO report – Commission for Climatology Lead Rapporteur on Statistical Methods with Emphasis on Spatial Interpolation).
-

ГЛАВА 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА ПО КОМПЛЕКТАМ ДАННЫХ

4.1 ВВЕДЕНИЕ

Каждый год все новые и новые данные добавляются в климатологические архивы национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС). Климатологи должны уметь отражать всю соответствующую информацию, содержащуюся в этих данных, с помощью относительно небольшого числа значений, полученных путем применения набора статистических методов. После тщательного отбора и применения статистической обработки можно выделить и выдвинуть на передний план соответствующую информацию, содержащуюся в этих данных.

В настоящей главе уделяется внимание описательной статистике, средству для перевода в доступную для восприятия форму характерных особенностей, содержащихся в большом объеме данных. Многие из методов, описанных в этой главе, лучше всего применять с использованием компьютеров для обработки и отображения данных. При этом необходимо обращать внимание на опасность механистического применения автоматизированных методов анализа из-за легкости, с которой автоматизированные процедуры могут быть использованы неправильно и результаты интерпретированы неверно. Несмотря на неоспоримые преимущества использования компьютеров, в большинстве компьютерных программ, применяемых для анализа, присущие им неявные допущения подвергаются риску быть проигнорированными или неявно сформулированными, что потенциально приводит к ошибочным результатам.

В главе 5 основное внимание уделено статистическим методам, и она должна рассматриваться совместно с настоящей главой. Обе главы посвящены описанию фундаментальных понятий, а не специфическим особенностям сложных вопросов. Более полная информация содержится в литературе по статистической теории и методам, список которой приведен в конце настоящей главы, а также в соответствующих учебных пособиях.

4.2 АНАЛИЗ КОМПЛЕКТА ДАННЫХ

Комплект данных состоит из совокупности результатов наблюдений за соответствующими элементами. Результат наблюдения является единичной оценкой какой-то величины. Простые наблюдения состоят из считывания показаний термометра или уровня воды в дождемере. Другие наблюдения более сложные. Например, получение значения атмосферного давления с помощью ртутного барометра состоит из снятия значений высоты ртутного столба и температуры барометра. Однако измерение давления рассматривается как единое наблюдение.

Некоторые элементы непрерывны во времени; иначе говоря, отсутствуют разрывы в состоянии наблюдаемого явления, например температуры воздуха. Некоторые элементы, такие как атмосферные осадки, не непрерывны, а другие не имеют количественных значений, а только описательные категории, например тип облачности или описание текущей погоды. Генеральная совокупность представлена всеми возможными значениями элемента. Если элемент непрерывен, то генеральная совокупность бесконечна. Если элемент не непрерывен, то генеральная совокупность представлена всеми конкретными значениями, которые элемент может иметь в пределах границ, заданных исследователем.

Выборка представляет собой комплект данных наблюдений из генеральной совокупности, который взят для представления всей совокупности. Комплекты данных являются выборками. Чем больше размер выборки, тем точнее будет оценка описательных

характеристик генеральной совокупности. В основном климатология занимается изучением выборок, но исследователь должен осознавать, что комплект данных может быть репрезентативным только для какой-то части генеральной совокупности. Влияние, например, неоднородностей, зависимости от времени и изменчивости в пространстве осложняет интерпретацию того, что представлено комплектом данных.

Прежде чем описывать или использовать комплект данных, следует проверить их точность и применимость. Точность связана с правильностью данных, в то время как применимость связана с возможностью использования данных в целях, для которых значения физической величины будут использоваться. Пользователю комплекта данных никогда не следует принимать на веру без подтверждения, что комплект данных является безошибочным и применимым, особенно без соответствующей информации о результатах управления качеством, проведенного во время формирования комплекта данных. Важно также знать, как эти данные собирались, обрабатывались и компилировались, а иногда даже знать, почему эти данные изначально собирались. В главе 3 рассмотрены вопросы управления климатическими данными, а в разделах 3.2 и 3.3 описываются соответственно важность метаданных и вопросы управления качеством.

4.3 **ВИЗУАЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАННЫХ**

Некоторыми из основных объектов набора данных, которые часто ищут, являются среднее или типичное значение, область или размах данных наблюдений, наличие неожиданных данных наблюдений, информацию о том, как результаты наблюдений сходят на нет по обе стороны от среднего или типичного значения, и о кластеризации наблюдений. Без последовательной систематизации трудно интерпретировать огромное количество данных для определения этих или подобных признаков или свойств. Первым шагом при систематизации данных является получение общего представления о данных путем визуального отображения распределения значений измеренных величин.

Существует много способов отображения данных для получения качественного понимания того, о чем эти данные говорят климатологу. Одним из способов систематизации комплекта данных является сортировка данных наблюдений по возрастанию или убыванию величины. Упорядоченные данные наблюдений затем могут быть отображены графически или в виде таблицы, из которой становятся очевидными некоторые характеристики, такие как экстремальные значения и размах.

Вторым способом систематизации комплекта данных является группировка данных по интервалам. Подсчитывается количество наблюдений в каждом интервале. Графическое отображение числа наблюдений или процентное выражение от общего числа наблюдений в каждом интервале сразу показывает форму распределения совокупности значений и называется распределением вероятности или гистограммой (рисунок 4.1). Количество интервалов является произвольной величиной, и визуальное отображение распределения на графике меняется в зависимости от числа интервалов. Некоторое количество информации, содержащейся в первоначальном комплекте данных, теряется, когда результаты наблюдений группируются, и обычно чем меньше число интервалов, тем больше потери. Число интервалов должно обеспечить баланс между безошибочностью, простотой передачи информации, использованием, которое предполагается для этой информации, и статистическими критериями, по которым эти данные будут проверены.

Третий подход к систематизации заключается в построении кумулятивной кривой распределения вероятности, называемой также огивой. Для построения графика нужно нанести совокупное количество или процентное выражение данных наблюдений по отношению к упорядоченным значениям элемента (рисунок 4.2). Представление огивы полезно для определения относительного количества данных, расположенных на графике выше или ниже определенного значения интервала. Выраженная в процентах относительная доля значений ниже определенного значения называется процентилем; один процент данных наблюдений меньше, чем первый процентиль, два процента —

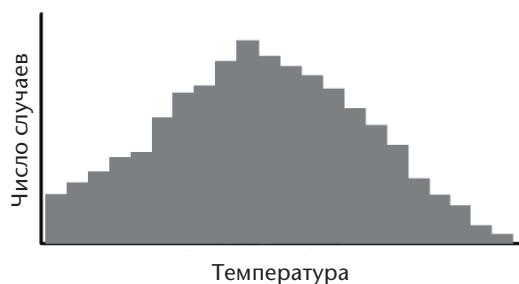


Рисунок 4.1. Распределение вероятности (гистограмма)

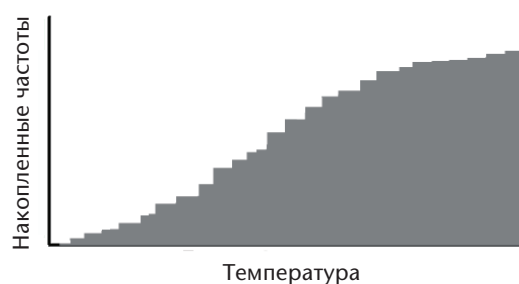


Рисунок 4.2. Кумулятивная кривая распределения вероятности

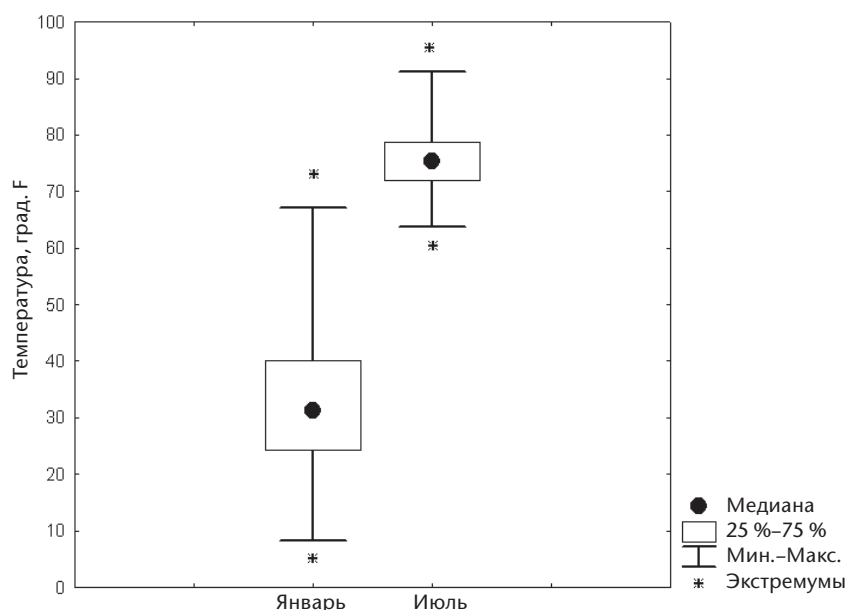


Рисунок 4.3. Коробчатая диаграмма

меньше, чем второй процентиль и т. д. Точно так же соотношение, основанное на десятых долях процента, называется децилем; одна десятая данных наблюдений ниже первого дециля, две десятые — ниже второго дециля, и так далее. Соотношение, основанное на четвертях, называется квартилем. Соотношение, основанное на пятых частях процента, называется квинтилем и используется исключительно в расчетах месячных норм осадков (см. 4.8.6).

Другие способы визуализации включают в себя построение коробчатых диаграмм (рисунок 4.3), диаграмм «ствол и листья» (рисунок 4.4) и массивов данных (рисунок 4.5). Если важно знать последовательность данных, тогда можно построить график с нанесением значений данных наблюдений по отношению ко времени, чтобы представить временной ряд (см. 4.6). Для данных с двумя элементами, такими как скорость и направление ветра, могут быть построены корреляционные диаграммы путем нанесения значений первого элемента по отношению к значениям второго элемента (см. 4.5.2). Розы ветров также дают прекрасное отображение информации о ветре. Двойные интегральные кривые, которые часто используются гидрологами и для определения однородности данных, строятся путем нанесения кумулятивных значений элемента в зависимости от кумулятивных значений второго элемента (см. 5.2). Способы визуализации ограничены только воображением исследователя, но все способы включают в себя сортировку и классификацию данных. Не имеет значения, какой именно способ используется, построенный график должен быть информативным и не должен непреднамеренно приводить пользователей к необоснованным заключениям.

Ствол				Лист				
0	5	7	8					
1	2	3	3	7	9			
2	1	3	4	4	5	5	7	8
3	2	2	4	5	6	7	8	9
4	4	5	5	6	6	6	6	7
5	2	3	3	3	4	8	8	
6	1	1	3	3	4	5		
7	2	2	5	5	7			
8	4	6	7	7				

Рисунок 4.4. Пример отображения данных методом «ствол и листья». Первая цифра значения физической величины берется в стволе, последующая цифра — в листьях. В таблице имеется, например, два результата наблюдения со значением 25.

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1961	23	33	44	50	59	64	79	76	61	50	44	32
1962	26	31	40	54	60	67	78	73	60	49	40	30
1963	27	35	43	55	58	68	77	72	58	52	43	32
1964	24	37	47	58	57	64	79	74	59	54	46	34
1965	27	32	43	56	57	65	76	74	58	53	47	44
1966	30	38	44	53	58	67	80	75	58	55	46	32
1967	19	35	47	55	61	66	74	73	60	56	43	30
1968	22	33	46	56	60	69	78	70	56	52	45	30
1969	28	37	43	51	56	70	76	72	54	52	44	34
1970	25	34	46	56	58	63	73	71	54	50	43	31

Рисунок 4.5. Пример массива данных

4.4 КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОБОБЩЕННЫЕ ДЕСКРИПТОРЫ ДАННЫХ

Вместо того чтобы использовать весь комплект данных для иллюстрации какой-то специфической особенности, зачастую полезно выделить несколько количественных сводных величин. Понимание этих закономерностей помогает познать физические процессы, которые обуславливают результаты наблюдений, и откорректировать заключения, которые могут быть сделаны в отношении климатических условий в прошлом и настоящем.

Нужно позаботиться о том, чтобы обобщенные показатели, полученные в результате численного анализа, были действительно сравнимы между собой. Например, ряды данных наблюдений за температурой могут быть сравнимы между собой, если они получены одними и теми же приборами, в одно и то же время суток, в одном и том же месте и по одной и той же процедуре. Если процедуры меняются, то в комплекте данных может появиться искусственная изменчивость (см. 3.3, 3.4 и 5.2). Иногда обобщенные дескрипторы комплекта данных выявляют непредвиденные изменения; любые непредвиденные вариации изменений следует изучить с целью выяснения, являются ли они искусственно порожденными или действительно существующими климатическими эффектами.

4.4.1 Моделирование данных по распределениям повторяемости

Визуальное отображение данных (см. 4.3) предоставляет возможность качественно оценить структуру рядов данных наблюдений. Формы и закономерности становятся очевидными. Распределение повторяемости может быть классифицировано по их форме:

- одновершинные симметричные кривые: эти кривые характерны для средних значений элементов, таких как среднегодовая и средняя многолетняя температура. Обычно чем длиннее период осреднения, тем симметричнее распределение;
- одновершинные умеренно асимметричные кривые: многие кривые осредненных данных являются в основном (но не совсем) симметричными;
- одновершинные строго асимметричные кривые: эти формы далеки от симметрии и характеризуются высокой степенью неоднородности; они типичны для количеств атмосферных осадков и скорости ветра;
- кривые U-образной формы: эти кривые в основном используются для элементов, имеющих границы с двух сторон, таких как относительное количество облачности (для оценки состояния неба существует превосходящая тенденция — в основном ясно или преимущественно сплошная облачность);
- многомодовые или сложные кривые: эти кривые обычны для элементов, наблюдаемых каждодневно в районах с ярко выраженными сезонными контрастами. В таком случае кривая распределения повторяемости, построенная с использованием всего комплекта данных, может принимать очень характерную двухвершинную форму. Комплекты данных с очень сложным распределением повторяемости можно лучше понять после предварительного разделения данных для отражения различных процессов, лежащих в их основе.

Более одного ряда данных наблюдений могут быть упрощены за счет изучения распределения данных наблюдений за одной переменной величиной, когда значения других переменных совпадают с заранее заданными. Результаты упрощения называются условной повторяемостью. Условия часто базируются на предварительных знаниях об ожидаемых явлениях или на информации о вероятности наступления определенных явлений. Анализ условной повторяемости особенно полезен в разработке климатических сценариев и в определении локальных воздействий таких явлений, как явление Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) и других закономерностей, основанных на дальних корреляционных связях (сильная статистическая зависимость между погодными условиями в различных районах Земли).

Одним из методов обобщения распределения для комплекта данных наблюдений является подбор распределения вероятностей для данных наблюдений. Эти распределения являются функциями с известными математическими свойствами, которые характеризуются небольшим числом параметров (обычно не более трёх). Функции строятся всегда таким образом, чтобы иметь везде неотрицательные значения, для того чтобы относительные величины различных значений отражали различия в относительном правдоподобии наблюдения таких значений. Несколько общих распределений вероятности, таких как нормальное (или гауссово) распределение и распределение обобщенных экстремальных значений, описывают часто наблюдаемые в природе ситуации. Если наблюдаемая повторяемость или условное распределение повторяемости могут быть описаны этими известными функциями плотности распределения вероятностей, то эти свойства и соотношения могут быть использованы для анализа данных и подготовки вероятностных и статистических выводов. На рисунках 4.6—4.12 представлены некоторые примеры функций плотности распределения вероятностей, которые могут приблизительно соответствовать наблюдаемым распределениям повторяемости непрерывных данных (где может наблюдаться любое значение из непрерывного множества значений).

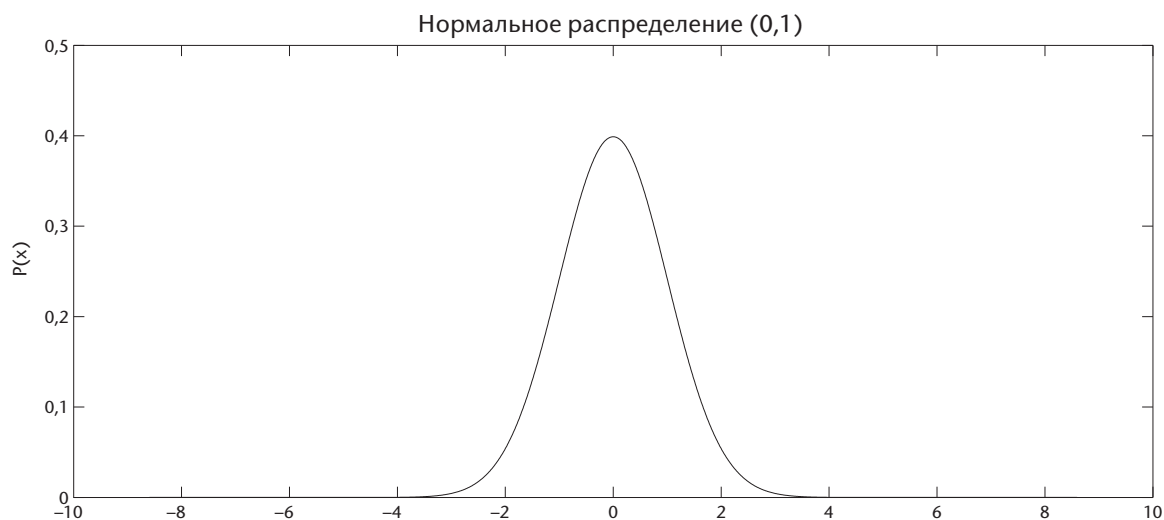


Рисунок 4.6. Нормальное распределение Гаусса: значения по всему диапазону изменения наблюдаемой переменной равномерно концентрируются вокруг одного значения, например среднегодовой температуры

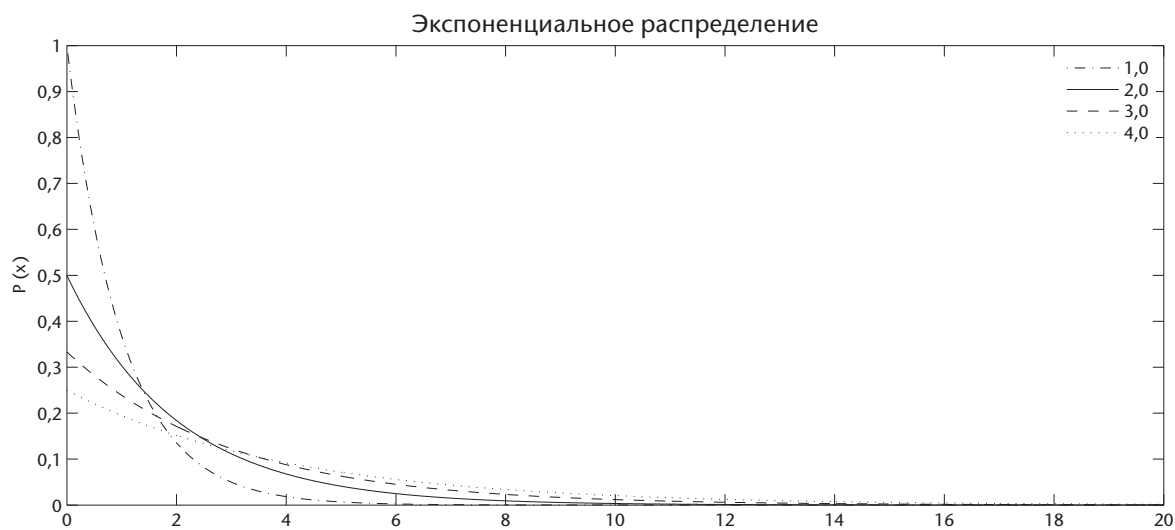


Рисунок 4.7. Экспоненциальное распределение: описывает временные интервалы между явлениями в процессе, в котором явления отмечаются непрерывно и независимо с постоянной усредненной частотой. Оно используется для анализа суточного количества атмосферных осадков.

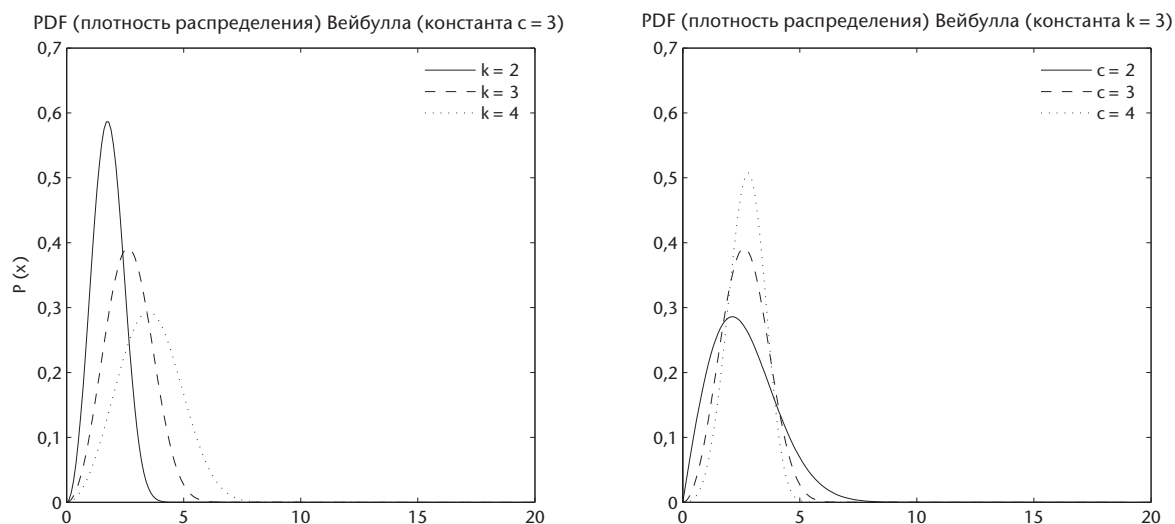


Рисунок 4.8. Распределение Вейбулла: описывает временные интервалы между явлениями в процессе, в котором явления отмечаются непрерывно и независимо с переменной усредненной частотой. Оно используется для анализа скорости ветра.

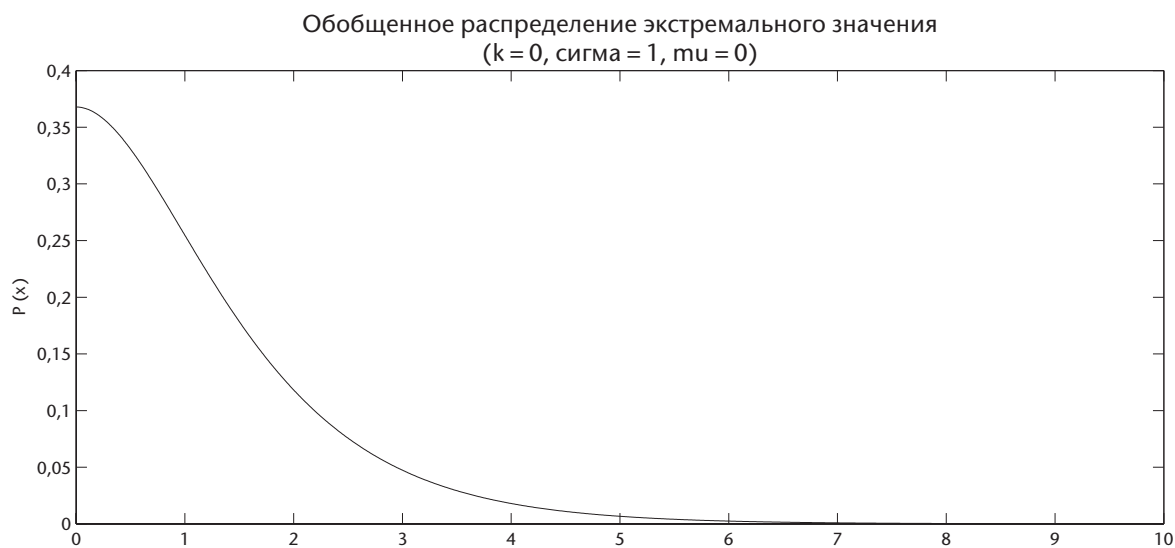


Рисунок 4.9. Обобщенное распределение экстремального значения: применяется для моделирования экстремальных значений в распределении

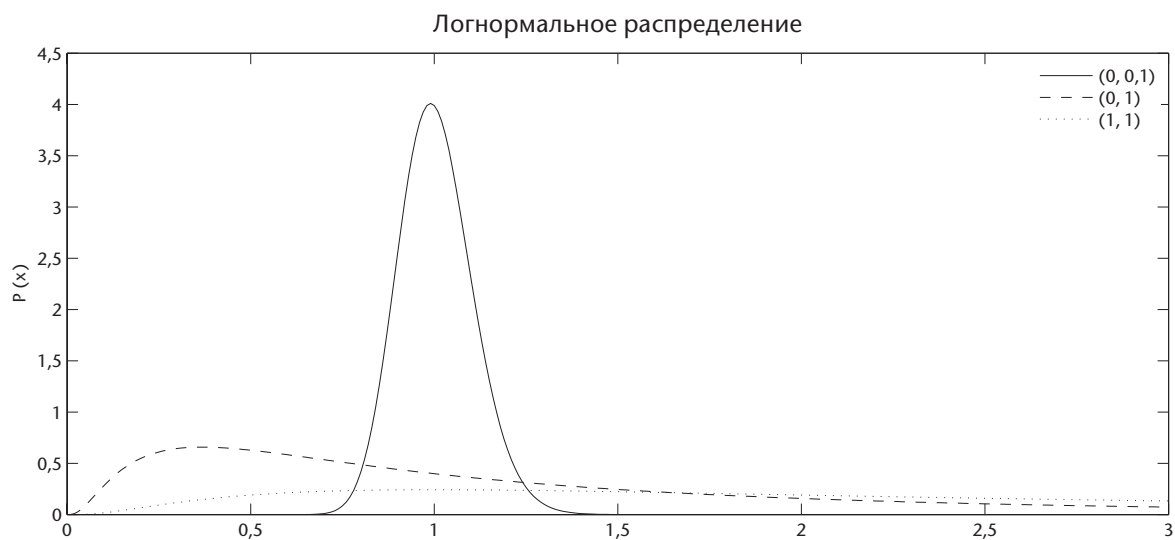


Рисунок 4.10. Логнормальное распределение: используется, когда логарифм распределения следует нормальному распределению, такому, как распределение концентрации твердых частиц, загрязняющих воздух

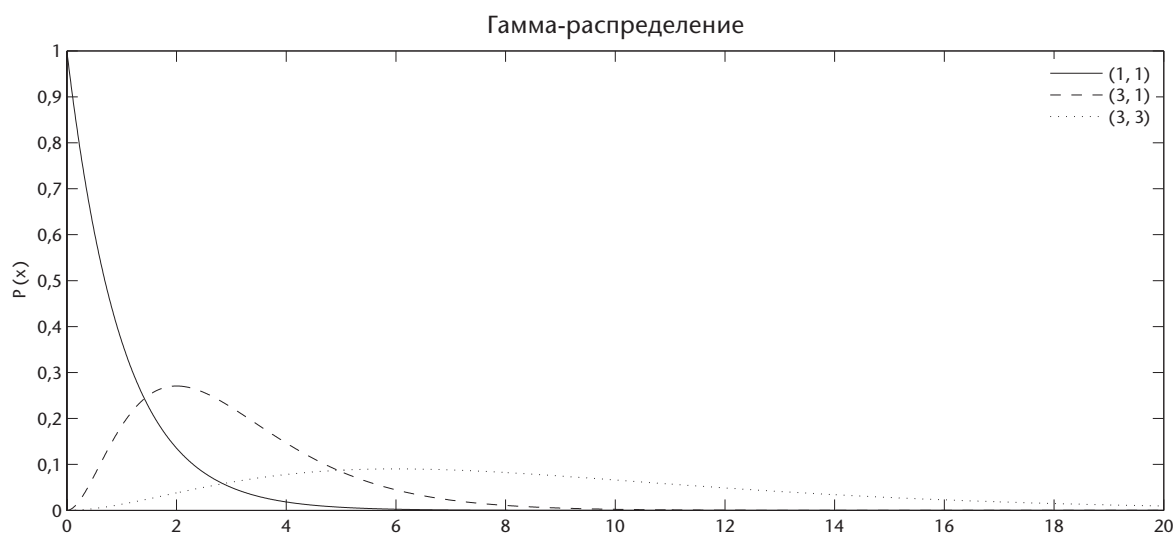


Рисунок 4.11. Гамма-распределение: описывает распределения, которые ограничены с одного края и асимметричны, такие как данные об атмосферных осадках

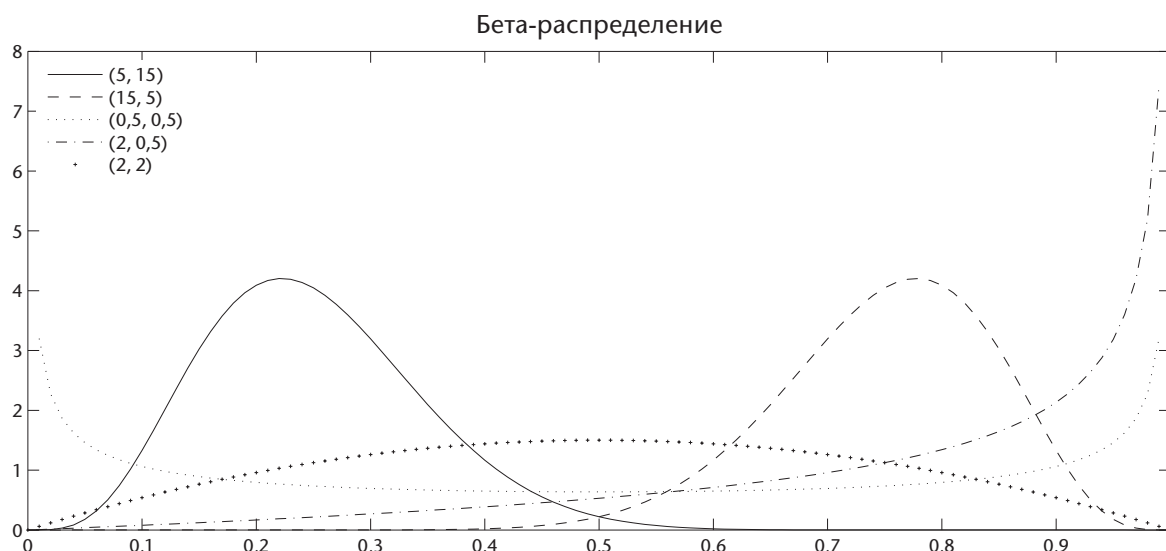


Рисунок 4.12. Бета распределение: описывает распределения, которые ограничены с обеих сторон, такие как данные о количестве облаков

Статистические распределения повторяемости также определяются для описания данных, которые могут иметь только определенные, дискретные значения. Примером может служить число дней, в которые осадки наблюдаются в течение месяца; могут быть только целые значения с максимальным значением 31. На рисунках 4.13 и 4.14 представлены некоторые примеры статистических распределений повторяемости, которые описывают дискретные данные.

Визуальное качественное отображение распределения повторяемости результатов наблюдений часто подсказывает, какое из статистических распределений повторяемости может подойти для описания данных. Если для описания данных можно использовать статистическое распределение повторяемости с известным вероятностным соотношением, то можно сделать выводы в отношении этих данных. Существуют специальные методы подбора распределений под данные наблюдений, такие как методы моментов, вероятностно-взвешенных моментов (L-моментов) и максимального правдоподобия. Для того чтобы сделать корректные выводы в отношении применяемых данных, необходимо знание статистической теории, лежащей в основе функции распределения вероятностей.

Любые ряды данных наблюдений могут быть смоделированы математическими функциями, которые отражают данные наблюдений. По целому ряду причин необходимо позаботиться о том, чтобы применялись такие методы. Например, при применении математической функции в основном исходят из того, что комплект данных наблюдений, обычно выборка, корректно представляет генеральную совокупность, из которой он взят, и что эти данные не содержат ошибок (см. 3.4). Основной целью подбора функции является аппроксимация распределения данных наблюдений. Если этот подбор приемлем, то, имея всего несколько параметров, суммарная функция данных наблюдений должна обеспечить правдоподобное описание данных, которые согласуются с лежащими в основе физическими процессами в сглаженном виде, в котором игнорируются ошибки в данных. Последующей целью является описание имеющихся данных в рамках теоретической основы, которая достаточно проста для того, чтобы могли быть сделаны статистические выводы. Чрезмерно близкая подгонка к математической модели может привести к неправдоподобному описанию данных со слишком большой весовой функцией, показывающей ошибки в этих данных или случайные факторы, которые не имеют никакого отношения к изучаемым процессам. Степень сглаживания обычно определяется тем, как эти данные должны использоваться и на какие вопросы климатолог пытается ответить.

Насколько хорошо суммарная функция описывает результаты наблюдений, можно определить, изучив различия между полученными результатами наблюдений и

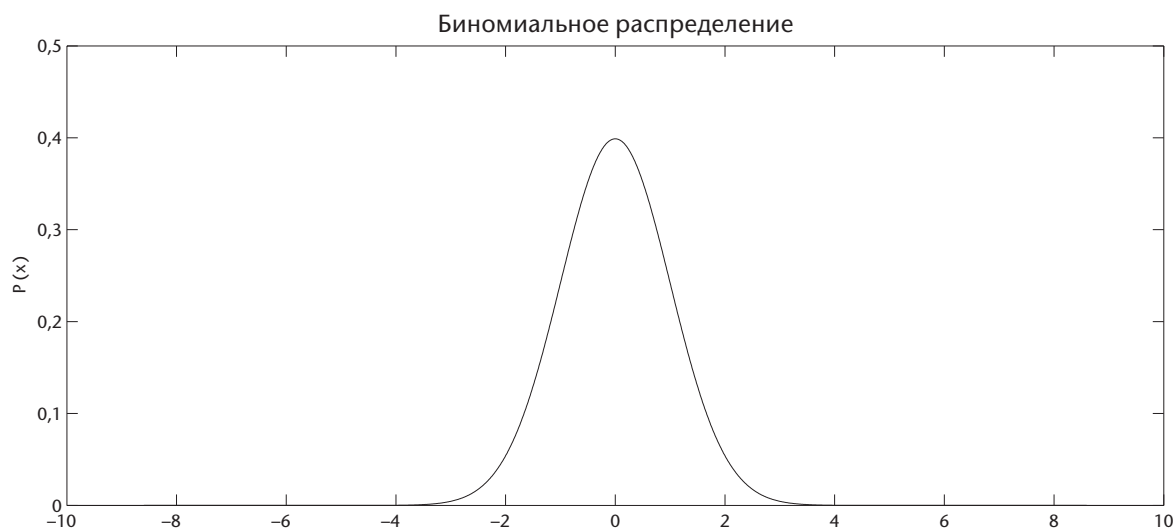


Рисунок 4.13. Биномиальное распределение: описывает два дискретных результата, таких как наличие или отсутствие какого-то явления

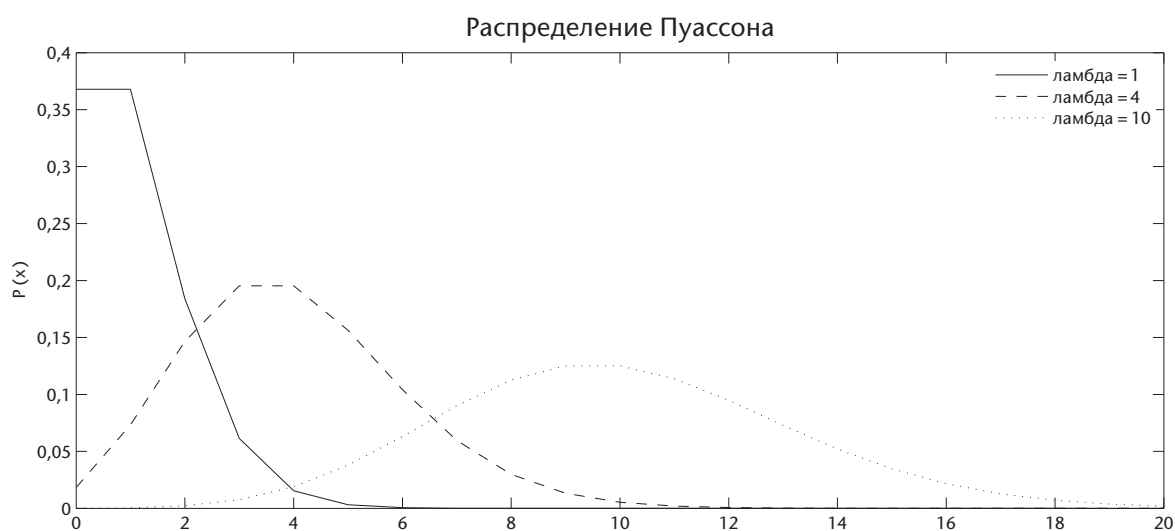


Рисунок 4.14. Распределение Пуассона: описывает редкие явления, такие как повторяемость случаев тропических циклонов

значениями, полученными с помощью этой функции. Следует применять объективные критерии согласия. Обычно комплекты данных могут быть смоделированы более чем по одной функции, и можно сопоставить проверочные критерии, для того чтобы найти наилучшее или самое подходящее соответствие. Широко используются критерии хи-квадрат и Колмогорова-Смирнова. Критерий согласия хи-квадрат предполагает, что значения данных являются дискретными и независимыми величинами (никакое наблюдение не подвержено воздействию какого-либо другого наблюдения). Если сумма квадратов разницы между наблюдаемыми величинами и величинами, полученными по подобранной повторяемости, превышает пороговое значение, которое зависит от размера выборки, то совпадение с данными должно рассматриваться как неприемлемое. Этот критерий чувствителен к числу интервалов. Критерий Колмогорова-Смирнова допускает, что если максимальная абсолютная разница между двумя непрерывными кумулятивными повторяемостями независимых данных наблюдений превышает критическое значение, то распределения, по-видимому, будут различны. Этот критерий является оптимальным, если комплект данных включает в себя большое число наблюдений.

4.4.2 Меры центральной тенденции

Данные наблюдений часто имеют тенденцию концентрироваться вокруг определенного значения. Меры центральной тенденции служат для определения среднего значения, вокруг которого данные стремятся расположиться. Меры центральной тенденции не подменяют собой всю подробную информацию, содержащуюся в полном комплекте данных наблюдений. Часто недостаточно рассчитать одну единственную меру для описания того, каким образом данные стремятся сконцентрироваться, потому что при этом не рассматривается изменчивость данных наблюдений. Каждой мере центральной тенденции должна сопутствовать величина степени изменчивости в значениях данных наблюдений, по которым эта центральная тенденция была получена.

Среднее арифметическое значение, известное по общепринятой терминологии как «среднее», является одной из наиболее часто используемых статистических характеристик в климатологии. Оно рассчитывается простым делением суммы значений на количество значений. Для данных наблюдений, имеющих тенденцию концентрироваться вокруг центрального значения, среднее значение является числом, к которому среднее значение в очень продолжительном временном ряду данных наблюдений или в другом большом комплекте данных стремилось бы по мере того, как возрастают значения данных наблюдений. Среднее значение не репрезентативно для центральной тенденции в случае ярко выраженных асимметричных распределений.

Средневзвешенное значение рассчитывается путем присвоения различных уровней важности отдельным данным наблюдений для того, чтобы, например, более достоверным или более репрезентативным данным наблюдений мог быть придан больший вес при подсчете среднего значения. Весовые функции могут быть определены с помощью многих методов. Типичным примером может служить взвешивание расстояния, когда весовые функции обратно пропорциональны величине расстояния. Например, взвешивание расстояния часто используется при оценке среднего значения, характерного для конкретного места, по близлежащим наблюдениям. Весовые функции обычно являются математическими зависимостями, которые могут не иметь связи с измеряемыми физическими процессами, но во всех возможных случаях при выборе метода взвешивания следует принимать во внимание физические факторы. В сущности говоря, методы взвешивания дают хорошие результаты, когда и физические и статистические характеристики изменяются в рассматриваемых координатах пространство-время непрерывно и довольно медленно.

Среднее значение имеет несколько преимуществ: это очень удобный стандарт для сравнения в случае изменчивости данных наблюдений (поскольку сумма отклонений от среднего значения равна нулю); его легко рассчитать; средние значения для различных неперекрывающихся подгрупп данных из всего массива данных наблюдений могут быть объединены; ошибка в оценке среднего значения из выборки будет меньше, чем другие меры центральной тенденции (см. публикацию *On the Statistical Analysis of Series of Observations* (О статистическом анализе рядов данных наблюдений) (WMO-No. 415), раздел 3.1, примеры 26 и 27).

Тем не менее, средние значения имеют ограничения. Любое единичное значение может стать причиной, вводящей в заблуждение, когда оно используется для описания рядов данных наблюдений. Очень похожие средние значения могут быть рассчитаны из комплектов данных или распределений, которые имеют совершенно разную внутреннюю структуру. Например, среднее значение бимодального распределения облачного покрова может быть таким же, как и для одновершинного распределения, но интерпретация этих двух средних значений будет совершенно разной. Среднее значение подвержено сильному влиянию исключительных и нетипичных значений; несколько экстремальных значений данных наблюдений могут нарушить репрезентативный характер среднего значения. Данные наблюдений, которые не группируются вокруг среднего значения, не рассматриваются в качестве данных, хорошо представленных средним значением (например, облачный покров, который часто концентрируется вокруг 0-го или 8-го октанта). Для того чтобы среднее значение было применимым, оно обязательно должно

передавать истинное смысловое содержание в отношении действительных условий, описанных этим комплектом данных, а не быть простым результатом математических расчетов.

Медиана является серединой кумулятивной кривой распределения; половина данных расположены над медианой и другая половина — ниже неё. Она рассчитывается путем упорядоченного расположения данных и выбора среднего значения. Если в данных есть нечетное количество значений, медианой является среднее значение. При четном количестве значений медиана находится между двумя средними значениями, обычно это среднее (или средневзвешенное значение) из двух. Если два средних значения идентичны, то это значение выбирается в качестве медианы.

Экстремальные изменения имеют меньшее влияние на медиану, чем на среднее значение, из-за того, что медиана в большей степени является мерой местоположения. Поскольку медиана основывается на количестве данных наблюдений, размах экстремальных значений данных наблюдений не влияет на медиану. Медиана особенно применима, когда результаты наблюдений концентрируются вокруг центра, но при этом некоторые данные наблюдений также расположены очень высоко или очень низко. Как и в случае со средним значением, данные, которые не стремятся к центральному значению, не совсем представлены медианой.

Модой называется такое значение в комплекте данных, которое встречается чаще всего. Подобно медиане она является мерой местоположения. На неё не влияют ни значение величины (как на среднее значение), ни местоположение других данных наблюдений (как на медиану). Моды из малой выборки или из выборки, которая имеет более одного скопления данных наблюдений, дают ненадежные оценки центральной тенденции. Если множество центров концентрации данных наблюдений является типичным (мультимодальное распределение), то комплект данных, возможно, состоит из неодинаковых факторов, каждый из которых имеет иное центральное значение, вокруг которого данные наблюдений имеют тенденцию концентрироваться.

Для элементов, имеющих круговой, вращательный характер, например, направление ветра, понятие среднего значения может быть неопределенным. Модальное значение, такое как преобладающее направление ветра, зачастую является более полезной величиной для определения центральной тенденции в случае элементов, имеющих направление.

Физическая величина, которая характеризуется только величиной, называется скаляром. Физическая величина, которая связывает какое-либо направление с её величиной, называется вектором. Например, скорость ветра является вектором, поскольку она имеет как скорость, так и направление. С математической точки зрения вектор может быть разложен на независимые компоненты, и эти компоненты затем могут быть усреднены и объединены в средний результирующий вектор. Например, ветер может быть выражен комбинацией из двух различных скаляров, таких как скорость в восточном направлении и скорость в северном направлении, при этом соответственно скорости в западном и южном направлениях имеют отрицательные значения. Центральная тенденция скорости ветра является результирующим вектором, полученным из центральных тенденций скоростей в восточном и северном направлениях. Математический результирующий вектор, рассчитанный по данным с противоположным направлением и одинаковой скоростью ветра, будет иметь величину, равную нулю; эти вычисления могут быть бессмысленными в контексте описания климата. Другим подходом, более значимым для описания климата, является вычисление среднего скалярного направления, когда игнорируется скорость, но учитывается циркулярность (например, направления ветра величиной 355 и 5 градусов разделены величиной 10 градусов, а не 350 градусов), и величины среднего скаляра, игнорирующего направление. Альтернативой является объединение направления результирующего вектора с величиной среднего скаляра.

При совершенно симметричном распределении повторяемости с одной модой, таком как распределение Гаусса, значения средней величины, медианы и моды будут совершенно одинаковыми. Если плотность распределения притянута к большим значениям

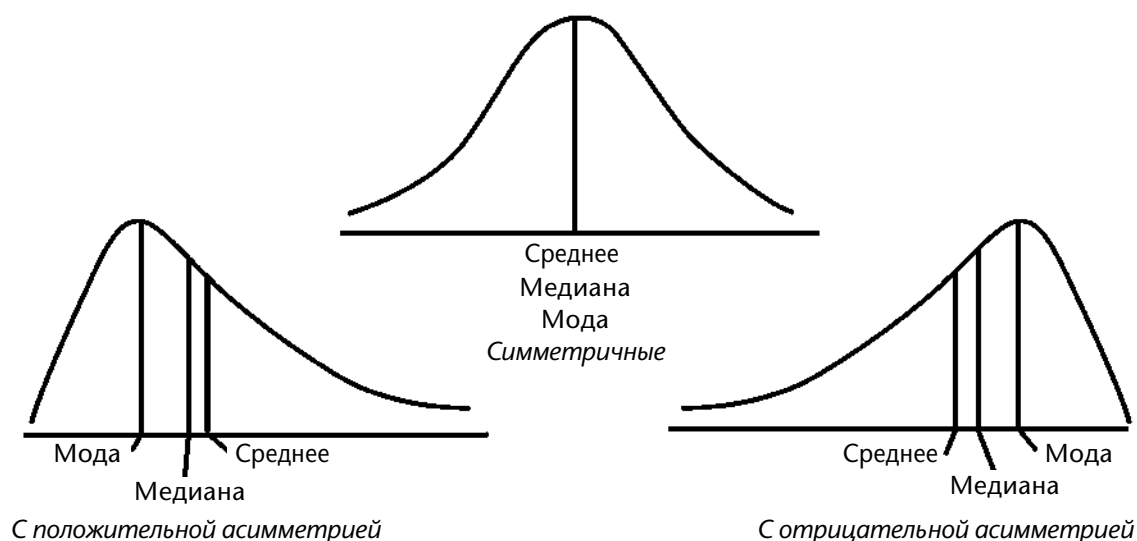


Рисунок 4.15. Соотношения между значениями средней величины, медианы и моды

(притянута справа), средняя величина будет иметь наибольшее значение, за которым следуют медиана и затем мода. Эта последовательность будет противоположной, если асимметричное распределение повторяемости притягивается к малым значениям. Эти соотношения (рисунок 4.15) и показатели (таблица 4.1) должны рассматриваться во всех случаях, когда выбирается мера центральной тенденции для отображения комплекта данных.

Таблица 4.1. Сравнение некоторых показателей центральной тенденции

Показатели	Среднее значение	Медиана	Мода
Испытывает влияние выбросов в данных	Да	Нет	Нет
Репрезентативно для центральной тенденции, когда распределения повторяемости имеют незначительный разброс	Да	Да	Да
Репрезентативно для центральной тенденции, когда распределения повторяемости имеют значительный разброс	Нет	Возможно	Нет
Репрезентативно для центральной тенденции, когда данные наблюдений сгруппированы более чем в одну группу	Нет	Возможно	Нет
Репрезентативно для центральной тенденции, когда распределения повторяемости с одним кластером асимметричны	Нет	Да	Да
Легкость расчета	Легче всего	Легко по систематизированным данным	Легко по гистограмме
Отклонения равны нулю	Да	Не всегда	Не всегда
Возможность для превышения 1	Нет	Нет	Да
Показатель изменчивости	Нет	Нет	Только если больше одной моды

4.4.3 Меры изменчивости

После того как выбрано соответствующее возможное значение центральной тенденции, можно охарактеризовать изменчивость отдельных результатов наблюдений вокруг этого значения. Измерение изменчивости и её объяснение имеют фундаментальное значение. Однако регистрация всего нескольких результатов наблюдений обычно дает слабое основание для составления суждения об изменчивости.

Изменчивость может быть измерена в абсолютных или относительных величинах. Отклонение каждого отдельного результата наблюдений от центральной тенденции может быть сведено к значению, представляющему и описывающему весь комплект данных. Это единичное число является абсолютной изменчивостью.

Самой простой мерой абсолютной изменчивости является размах данных наблюдений. Размах — это разница между самым большим и самым маленьким значениями. Несмотря на лёгкость расчета, размах имеет множество ограничений. Если экстремальных значений очень мало или они находятся далеко за пределами основной массы данных наблюдений, то размах будет вводить в заблуждение. Размах не несет в себе информации о характере распределения повторяемости в пределах экстремальных ограничений. Размах также почти целиком оставляет без внимания степень концентрации значений и не может в целом эффективно характеризовать комплект данных. Кроме того, размах не позволяет судить о надежности центральной тенденции.

Межквартильный размах является другой общепринятой мерой абсолютной изменчивости. Это разница между третьей и первой квартилями. Первая квартиль представляет собой значение упорядоченных данных наблюдений, по отношению к которому 25 процентов данных расположены ниже этого значения, и 75 процентов — выше, а третья квартиль представляет собой значение упорядоченных данных наблюдений, по отношению к которому 75 процентов данных расположены ниже этого значения, и 25 процентов — выше. Межквартильный размах, таким образом, занимает срединный диапазон в 50 процентов упорядоченных данных наблюдений. В связке с медианой он описывает некоторые характеристики распределения повторяемости. Другие срединные диапазоны могут быть рассчитаны подобным образом. Например, интердецильный размах представляет собой разницу между 90-м и 10-м процентилями, и его диапазон равен срединным 80 процентам данных наблюдений.

Среднее отклонение — это среднее абсолютного значения всех отклонений в отдельных наблюдениях из выбранной меры центральной тенденции. Несмотря на то, что отклонения могут быть рассчитаны по среднему значению, медиане или моде, теоретически их следует рассчитывать по медиане, потому что сумма абсолютных отклонений по медиане меньше или равна сумме, рассчитанной по среднему значению или по моде.

Стандартное отклонение — это квадратный корень среднего квадрата всех отдельных отклонений от среднего значения. Отклонения берутся по среднему значению, а не по медиане или моде, поскольку сумма квадратов по среднему значению минимальна. Квадратичные отклонения дают больший вес экстремальным колебаниям величины. Стандартное отклонение используется для получения многих статистических мер. Оно также широко применяется для сравнительных оценок в качестве нормативной величины при стандартизации различных распределений.

Для сравнительных оценок абсолютные меры изменчивости могут иметь серьезные ограничения. Сравнения могут производиться, только если средние величины, по которым были получены отклонения, приблизительно равны по своему значению и когда были использованы одни и те же единицы измерения. Например, бессмысленно проводить сравнение стандартных отклонений, рассчитанных по комплекту данных о температуре и по комплекту данных о градусо-днях отопительного сезона.

Зачастую требуется провести сравнения, когда средние величины приблизительно не равны по своему значению или когда были использованы не одни и те же единицы измерения. Поэтому для целей сравнения требуется некая мера, которая учитывает

среднее значение, от которого отсчитываются отклонения, и которая приводит различные единицы измерения к общей основе. Отношение абсолютной изменчивости к величине центральной тенденции является относительной изменчивостью. Одной из таких мер является коэффициент изменчивости, который представляет собой отношение стандартного отклонения к среднему значению комплекта данных.

4.4.4 Мера симметрии

Коэффициент асимметрии является мерой отклонения от симметрии. Это относительная и безразмерная величина, поэтому допускается проводить её сравнение между комплектами данных. Одной из простых мер асимметрии является разница между средней величиной и модой, деленная на стандартное отклонение. Асимметрия положительна, когда средняя величина больше, чем мода, и отрицательна, когда мода больше, чем средняя величина. Также могут быть определены и другие меры, например, основанные на межквартильном размахе и медиане.

Положительная асимметрия характерна для некоторых комплектов данных об атмосферных осадках, которые имеют нижнее ограничение равное нулю, но не ограничены максимумом. Комплекты данных о суточной максимальной температуре часто также стремятся к положительной асимметрии, а данные о суточной минимальной температуре часто стремятся к отрицательной асимметрии.

4.4.5 Мера островершинности распределения

Симметричные распределения повторяемости могут иметь различные степени сглаженности в центральной части распределения. Куртозис — это безразмерное соотношение, отражающее относительную величину для целей сравнения сглаженности или островершинности. Положительный куртозис показывает суженный максимум в центре распределения повторяемости с резко ниспадающей от средней величины плотностью данных в сторону низких значений. Отрицательный куртозис говорит о большой и плоской центральной области, типичной для многих распределений метеорологических параметров, таких как влажность в верхних слоях атмосферы.

4.4.6 Индексы

Индекс предназначен для сведения данных о сложных условиях к одному числу, которое сохраняет некий физический смысл и может быть использовано для наблюдения за конкретным процессом. Он представляет соотношение между наблюдаемыми и базисными условиями в виде одного значения. Базисом обычно, но не всегда, является средний климатический режим. Например, индекс интенсивности засухи Палмера является результатом сопоставления сложной системы водного баланса атмосферных осадков, испарения, стока, пополнения запасов подземных вод и свойств почвы со средними условиями с точки зрения климата. Формирование индекса состоит из четырех компонентов: отбор элементов, которые должны быть включены в этот индекс; выбор и расчет базиса; метод составления индекса; и определение веса или важности каждого включенного элемента.

Изучение и отбор данных, которые должны быть включены в индекс, часто представляют собой более сложную задачу, чем собственно расчет индекса. Одной из проблем, вызывающих озабоченность при выборе базиса, является то, что характеристики данных наблюдений, использованные для определения базиса, могли со временем измениться; крайне важно, чтобы использованные данные наблюдений были однородными (см. 5.2). Другая озабоченность связана с тем, что базис должен отражать нормальные, стандартные или ожидаемые условия, поскольку большинство пользователей индекса исходит из того, что базис отражает именно такие условия. При выборе базиса необходимо позаботиться о том, чтобы совершенно ясно представлять себе, что именно должно сравниваться и с какой целью.

Выбору весов придается особенно большое значение. Следует очень внимательно взвешивать значимость каждого элемента, вносящего свой вклад в индекс, по отношению к цели расчета этого индекса. Если в будущем необходимо будет рассчитывать индекс, обязательно нужно позаботиться о том, чтобы периодически пересматривался вклад каждого элемента для внесения изменений, например, в значимость, точность данных, размер выборки и обработку данных.

Существуют другие индексы, разработанные специально для оценки изменяющегося климата на основе наблюдений. Эти индексы называются индексами изменения климата (см. *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation* (Руководящие положения по анализу экстремальных явлений в условиях изменяющегося климата в поддержку обоснованных решений для целей адаптации) (WCDMP-No. 72, WMO/TD-No. 1500).

4.5 КОРРЕЛЯЦИЯ

Часто необходимо определить или описать взаимосвязь между элементами. Взаимосвязь может быть очевидной из визуального отображения данных, но количественные величины часто рассчитываются. Корреляция является мерой, выражающей соотношение в количественной форме. Не имеет значения, какая именно мера рассчитывается, но важно принимать во внимание, что корреляция не подразумевает причинно-следственное соотношение, а только то, что эти элементы ведут себя аналогичным образом. Зачастую факторы, помимо тех, что рассматриваются исследователем, могут отвечать за выявленные взаимосвязи; многие очевидные взаимосвязи в метеорологии и климатологии обычно слишком сложны, чтобы их можно было объяснить какой-то одной причиной. Как положительная или отрицательная корреляция не означает причинную зависимость, так и нулевая корреляция не обязательно означает отсутствие причинной взаимосвязи.

4.5.1 Таблицы сопряженности

Таблицы сопряженности представляют собой простой, но эффективный способ обнаружения важных взаимосвязей между факторами, особенно когда дело касается больших наборов данных. Таблицы сопряженности состоят чаще всего из качественных дескрипторов (например, «слабый», «умеренный» или «сильный»), или из дихотомических переменных (событие происходило или не происходило). Они также могут состоять из данных о совместной частоте повторяемости двух элементов, например, скорости и направления ветра или суточного распределения видимости. Примером таблицы сопряженности является таблица 4.2.

Таблица 4.2. Таблица сопряженности, состоящая из данных о несчастных случаях на автомобильных дорогах и данных наблюдений за видимостью

	Видимость менее 200 метров	Видимость более 200 метров	Всего
Наличие происшествий	16	4	20
Отсутствие происшествий	13	332	345
Всего	29	336	365

Независимость элементов таблицы сопряженности часто оценивается с помощью критерия хи-квадрат. Когда применяется этот критерий, последовательная зависимость, часто выявляемая из климатологических временных рядов, в соответствии с которыми данные наблюдений с большей вероятностью будут похожими на предшествующие данные, чем отличными от них (см. 4.6), нарушает допущения этого критерия, так что выводы по этому критерию могут не внушать доверия.

4.5.2 Меры корреляции

Диаграмма рассеяния — это другое простое, но эффективное средство визуализации взаимосвязей. Она может показать взаимосвязь между двумя элементами или тренд одного элемента во времени или существует ли какая-либо применимая взаимосвязь. Примерами диаграммы рассеяния являются рисунки 4.16 и 4.17. Связь между элементами и временными закономерностями иногда может быть выражена мерой корреляции. Коэффициент корреляции чаще всего используется в качестве меры ассоциации. Иногда также используется другая мера, коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Коэффициент корреляции — это число, значение которого лежит между -1 и $+1$. Он является мерой линейной зависимости между двумя элементами. Нулевой коэффициент свидетельствует об отсутствии аналогии в поведении между элементами. На рисунке 4.16 приведен пример закономерности, которую можно ожидать, когда между двумя элементами имеется очень слабая корреляция. Коэффициент $+1$ показывает, что по мере возрастания значения одного элемента, значение другого элемента увеличивается прямо пропорционально. На рисунке 4.17 приведен пример закономерности, ожидаемой в случае, если между двумя элементами имеется сильная положительная корреляция. Коэффициент -1 показывает, что по мере возрастания значения первого элемента значение другого элемента уменьшается обратно пропорционально. Одной из проблем, связанных с использованием простого коэффициента корреляции, является то, что подразумеваемая связь является линейной. Часто метеорологические переменные находятся в нелинейной зависимости, и комплект данных может нуждаться в трансформации (см. 5.4) перед тем, как будет рассчитываться коэффициент корреляции.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена измеряет соответствие между упорядоченными рангами двух комплектов данных. Мерой опять является число, значение которого лежит между -1 и $+1$. Если данные наблюдений в двух комплектах данных не придерживаются одинакового относительного порядка, то мера будет малой или отрицательной; если они имеют одинаковый относительный порядок, то коэффициент будет высоким и положительным. Мера Спирмена менее чувствительна к предельным значениям, чем коэффициент корреляции; она служит мерой линейной связи и иногда указывает на нелинейную связь.

4.6 ВРЕМЕННЫЕ РЯДЫ

Данные наблюдений, расположенные по времени их регистрации, называются временными рядами (рисунок 4.18). График с нанесенными в зависимости от времени значениями данных является важным качественным методом выявления связанной со временем изменчивости. В климатологии тренд является содержательной характеристикой, потому что он обобщает ретроспективную динамику данных наблюдений за элементом. Чаще всего изучаются линейные тренды заданных временных рядов, но иногда тренд может быть лучше описан в нелинейном виде, например, в виде кривой или даже в виде скачкообразного восходящего или нисходящего сдвига. Как линейные, так и нелинейные тренды обычно сохраняются в климатических рядах в течение ограниченного периода времени, который может быть довольно долгим. В течение продолжительного времени климатическая система часто показывает тренды в одном направлении, которые, в конечном счете, сменяются на тренды в обратном направлении. То, что может казаться устойчивым трендом в самом последнем периоде регистрации климатических данных, может быть частью долгопериодного колебания, относящегося к мультideкадной изменчивости, которую нельзя ясно выявить из-за того, что временной интервал кажущегося устойчивым тренда является только частью всего процесса колебания или потому, что неизвестна природа рядов, спроецированных в будущее. В этом отношении антропогенное изменение климата представляет собой особенно сложную проблему, поскольку решения, принимаемые человеком, вероятно, будут играть роль в обуславливании, например того, как долго будет оставаться устойчивым тренд глобального потепления, наблюдаемого на протяжении последнего столетия. Исчерпывающее изучение временного ряда требует выявления не только трендов, но и



Рисунок 4.16. Диаграмма рассеяния со слабой корреляцией

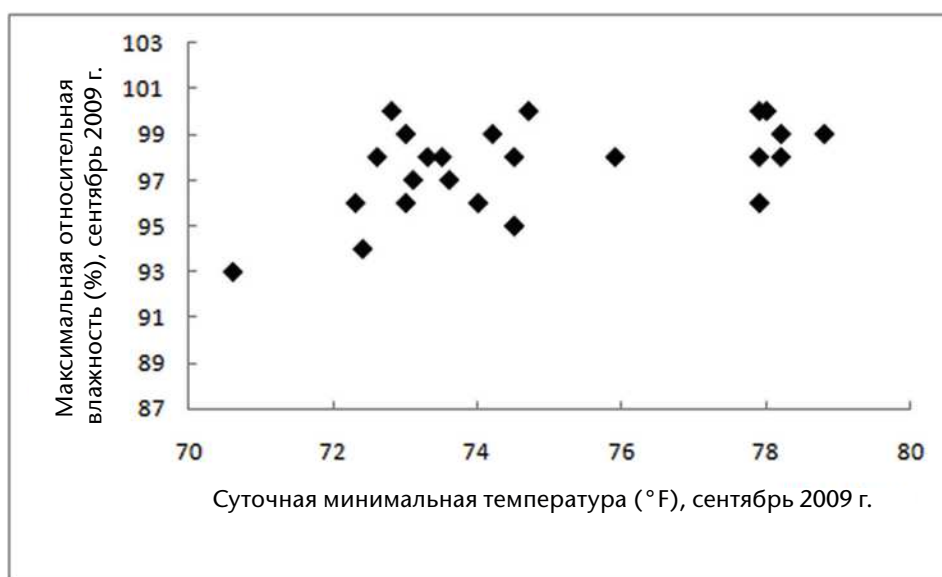


Рисунок 4.17. Диаграмма рассеяния с сильной положительной корреляцией

периодических или квазипериодических колебаний, а также беспорядочных или, по всей видимости, случайных изменений, обнаруженных в данных. Анализ временных рядов проводится для того, чтобы понять, как изменчивость во временных рядах распределяется в виде функции масштаба времени.

Обычно в метеорологии и климатологии результаты последовательных наблюдений имеют тенденцию быть более схожими между собой, чем разнородными. Мерой, используемой для обобщения взаимосвязей между каждым и его предшествующим результатом наблюдений, является коэффициент автокорреляции. Эта мера рассчитывается точно так же, как и коэффициент корреляции (см. 4.5.2), за исключением того, что второй ряд является точно таким же, как и первый, только он смещен на один временной шаг или более.

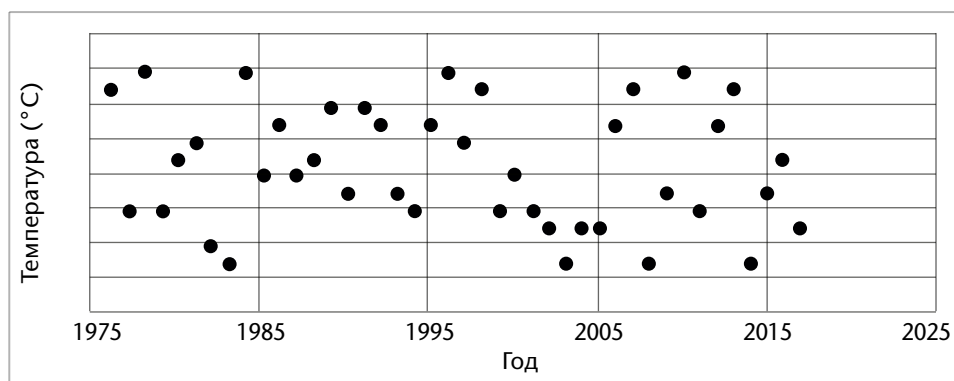


Рисунок 4.18. Временной ряд средних значений температуры в марте

Меры, обобщающие тренды, зависят от вида отдельного рассматриваемого тренда. Линейные тренды представлены углом наклона прямой линии. Нелинейные тренды представлены коэффициентами математических переменных, определяющих уравнение для построения кривой, например коэффициенты полиномиальной функции. Аналогичным образом, периодические признаки также представлены коэффициентами математических переменных, определяющих колебания, таких как частота, фаза и амплитуда тригонометрических функций

4.7 ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛИМАТА

Несмотря на то, что можно рассчитать многочисленные обобщающие меры, может оказаться нецелесообразным использовать их для описания комплекта данных. Все меры, сокращающие данные наблюдений с целью определения и описания климатического отклика или взаимосвязи, основаны на допущениях, и если эти допущения несостоятельны, то обобщающие меры могут привести к неверному толкованию. Существует четыре вопроса, которые обязательно необходимо подробно рассмотреть перед использованием обобщающих мер: ошибки в массиве данных, неоднородность, независимость данных наблюдений и пренебрежение значимыми факторами.

Зачастую данные являются ошибочными из-за ошибок при их регистрации (например, перестановка чисел), искажений при передаче данных, неправильного понимания наблюдателем методов кодирования, ошибок при обработке данных (например, неправильный перевод градусов Фаренгейта в градусы Цельсия), логических ошибок и ошибок кодирования в компьютерных программах, неправильной идентификационной информации (место или время) о значениях физических величин. Эти типы ошибок (см. 3.3.3 и 3.4) не относятся к наблюдаемым физическим условиям, и они могут исказить данные так, что анализ данных приведет к неправильным выводам.

Часто делаются ошибочные предположения, когда количественные меры используются для сравнения данных, которые фактически не сопоставимы, например, когда сравниваются неоднородные данные наблюдений. По возможности, любой анализируемый комплект данных следует сделать однородным (см. 5.2).

Многие метеорологические комплекты данных нарушают допущение о независимости. Прежде чем обобщать комплект данных, следует позаботиться об устранении, если возможно, зависимости между данными наблюдений. Например, воздействие известных годовых циклов может быть в значительной степени устранено за счет обобщения отклонений от известного цикла. Другой пример: если известно, что инерционность (автокорреляция) влияет на ряд наблюдений, как это иногда происходит с суточными температурами, отмечаемыми в антициклоническом синоптическом образовании у земной поверхности, она должна учитываться в аналитической модели. Если зависимость не учитывается в моделях, взятие какой-то части из всей выборки путем выделения

только одного результата наблюдений из нескольких имеющихся, полученных в течение непрерывного явления, устраняет инерционность, влияющую на данные всех наблюдений, произведенных в течение этого явления. В этом процессе, в то же время, обязательно нужно позаботиться о том, чтобы не привнести искажения в какие-либо лежащие в основе колебания, что может привести в результате к некорректным результатам анализа.

Неполное или ошибочное объяснение может быть вызвано представлением количественного результата только по одному фактору при игнорировании других значимых факторов. Примером может служить сравнение температур в холодное время года на берегу моря и в континентальных районах. Средние температуры могут быть почти одинаковыми, на основании чего можно предположить, что климат аналогичный, но к такому выводу не пришли бы, если бы приняли во внимание более широкий диапазон изменчивости температуры в континентальных районах.

Конкретные статистические допущения в отношении, например, совместимости и однородности данных наблюдений или природы зависимости между наблюдениями неявно подразумеваются во всех методиках статистического анализа. Исследователю следует ясно определить и оценить эти допущения, и интерпретация обобщающей меры должна быть сдержанной настолько, чтобы соответствовать этим допущениям. Если любое из этих допущений нарушено, то интерпретацию обобщающей меры следует изменить для отражения этих нарушений. Обычная интерпретация меры может, однако же, быть удовлетворительной, но истинные или предполагаемые нарушения следует раскрыть в этой мере. Например, если среднегодовые температуры рассчитывались по комплекту данных, о котором из метаданных известно, что он неоднородный, то нарушены допущения о сравнимости всех данных. Это нарушение и его влияние на расчет средней величины должны быть раскрыты.

4.8 НОРМЫ

Климатические нормы используются в двух главных случаях. Они служат контрольной точкой, с которой могут сравниваться недавно проведенные или текущие наблюдения, в том числе обеспечивая основу для многих климатических комплектов данных, основанных на аномалии (например, глобальные средние температуры). Они также широко используются в явном или неявном виде для предсказания условий, которые могут ожидаться с наибольшей вероятностью в заданном районе.

Случаи применения, касающиеся норм, в прошлом (как описывается в предыдущих изданиях настоящего Руководства, *Технического регламента* (ВМО-№ 49), том I, *Определения*, и *Пособия по подготовке сводок CLIMAT и CLIMAT TEMP* (ВМО/ТД-№ 1188), 1.2.3), берут своё начало в первой половине двадцатого столетия. Общей рекомендацией было использовать 30-летние базовые периоды. 30-летний базовый период был выбран в качестве стандарта главным образом потому, что в наличии для обобщения имелись данные только за 30 лет, когда эта рекомендация была впервые сделана. Первоначальным предназначением норм было проведение сравнений между наблюдениями, произведенными по всему миру. На протяжении двадцатого века использование норм в качестве предикторов постепенно получило повсеместное применение.

Традиционно климатологические нормы ориентированы на среднее значение климатического элемента за какой-то период времени. Как было показано в 4.4.2, среднее значение не полностью описывает климат, и многие применения требуют информации о других аспектах распределения повторяемости этого элемента и его статистического поведения, например, частоты повторяемости продолжительных периодов, когда значение этого элемента превышает пороговую величину. Экстремальные значения элемента за какой-то конкретный период и другие статистические показатели распределения повторяемости элемента (например, стандартное отклонение среднесуточных или среднемесячных значений) являются полезными идентификаторами климата в определенном месте и должны включаться в комплекты данных о нормах.

Многие НМГС рассчитывают суточные нормы наряду с месячными и годовыми нормами. Расчет суточных норм не требуется ВМО, но они показывают неслучайные закономерности суточной изменчивости элемента, которые невозможно уловить с помощью месячных норм. Они рассчитываются путем осреднения значений элемента на конкретную календарную дату за какой-то период времени. Наблюдаемые значения обычно сглаживаются за счет получения 3-х или 7-дневных скользящих средних или биномиального сглаживания с целью сокращения влияния случайной высокочастотной временной изменчивости метеорологических систем. Другой подход к сглаживанию значений заключается в приведении рядов суточных средних, рассчитанных по наблюдениям, в соответствие со сплайн-функцией, тригонометрической или полиномиальной сглаживающей функцией, и эти сглаженные ряды становятся суточными нормами (см. 5.8).

4.8.1 Период расчёта

Существует необходимость в относительно стабильном базовом периоде для оценок долгосрочной климатической изменчивости и мониторинга изменения климата. Исторически сложилось так, что климатологические стандартные нормы рассчитывались каждые 30 лет за 30-летние периоды (1901—1930 гг., 1931—1960 гг., 1961—1990 гг. и так далее). Для конкретных целей долгосрочного мониторинга изменения климата нормы, рассчитанные для периода 1 января 1961 года — 31 декабря 1990 года, называются стабильным базовым периодом ВМО и должны сохраняться бессрочно или же до тех пор, пока не возникнет неоспоримая научно обоснованная причина, требующая его изменения.

Вместе с тем, существует также потребность в более частых расчетах климатических норм в условиях меняющегося климата. Например, комплекты данных о глобальной температуре были рассчитаны как аномалии по отношению к базовому периоду 1961—1990 гг. Использование более поздних периодов осреднения, например 1981—2010 гг. (см. рисунок 4.19), приводит к повышению «прогностической точности» для элементов, показывающих тренд за большой период (иначе говоря, когда временной ряд показывает устойчивый рост или падение его значений, измеренных за продолжительный период времени). Кроме того, нормы за 1981—2010 годы рассматривались бы многими пользователями как более «современные», чем за 1961—1990 гг. Климатологические стандартные нормы рассчитываются каждые 10 лет для тридцатилетних периодов в начале каждого десятилетия с года, кончающегося цифрой 1 (1981—2010 гг., 1991—2020 гг. и т. д.). Перерасчет норм каждые 10 лет требует также перерасчета многочисленных рядов данных, использующих нормы в качестве базиса (градусо-сутки, отклонения от норм и т. п.). Появление современной вычислительной техники и все более совершенных систем баз данных должно сделать производство таких вычислений относительно простым.

В ряде исследований делается вывод, что 30-летний период обычно не является оптимальным периодом осреднения для норм, используемых в ориентировочных прогнозах на перспективу. Оптимальный период для температур часто существенно короче 30 лет, а оптимальный период для атмосферных осадков часто существенно больше 30 лет. Более подробно использование норм для целей прогнозирования нескольких элементов рассматривается в документе *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (Роль климатологических норм в изменяющемся климате) (WMO/TD-№ 1377), а также в других работах, упомянутых в конце настоящей главы в списке литературы. Для прогностических задач НМГС рекомендуется подготавливать средние значения и средние за период. Оптимальная продолжительность ряда наблюдений для использования норм в прогностических целях колеблется и зависит от элемента, географии и тренда за большой период. Обычно новейшие пятилетние и десятилетние периоды наблюдений имеют такую же прогностическую ценность, как и 30-летние ряды данных. Более короткие периоды позволяют рассчитать нормы для большего ряда станций, чем это обычно возможно сделать для норм стандартного периода. Для элементов, показывающих значительную скрытую тенденцию (таких, как средняя температура), точность прогноза повышается за счет частого обновления средних значений и средних за период.

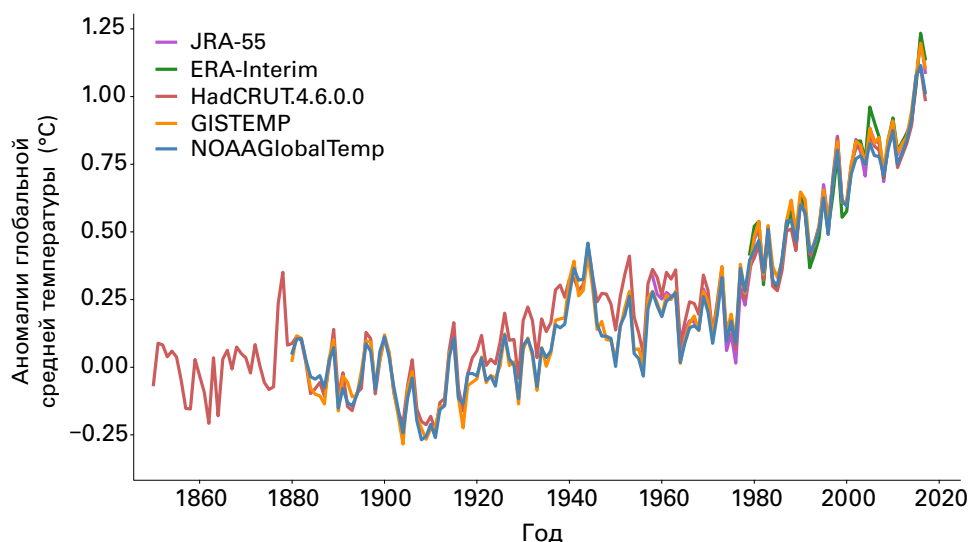


Рисунок 4.19. Аномалии глобальной средней температуры по сравнению с базовым периодом 1850—1990 гг. для пяти глобальных наборов данных (любезно предоставлен Центром им. Гадлея Метеобюро, Соединенное Королевство)

В любой публикации базовых периодов, норм и средних значений, а также в любой публикации, в которой они используются для проведения анализа данных и выявления изменчивости климата, важно документировать период, использованный для расчета, и методологии расчета.

4.8.2 Станции, для которых рассчитываются нормы и средние значения

Климатические нормы и средние значения следует рассчитывать для как можно большего числа станций, при условии выполнения требования, чтобы станция соблюдала стандарты в отношении количества и полноты рядов имеющихся данных наблюдений. По возможности их следует рассчитывать как минимум для всех станций, чьи данные распространяются по каналам Глобальной системы телесвязи (см. *Наставление по Глобальной системе телесвязи* (ВМО-№ 386), приложение I-3, 2.1(с), приложение I-5, 4.1(е) и таблицу D, 3.1(a)).

4.8.3 Однородность данных

Данные, используемые для расчета климатических норм и средних значений, должны быть, по мере возможности, однородными. Более подробно вопрос однородности данных рассматривается в 5.2. В контексте норм и средних значений к вопросам однородности, требующим особого внимания, относятся: изменения места наблюдений, изменения процедуры производства наблюдений, включая изменения сроков наблюдений; смена типа прибора; изменения в размещении прибора с течением времени; изменения в обработке данных.

На практике для многих мест наблюдений будет невозможно построить достаточно однородные массивы данных. Вместо этого может быть необходимо получить нормы по составным двум и более частям неоднородного ряда наблюдений. Другим вариантом является внесение корректив в более ранние данные, для того чтобы сделать их, насколько это возможно, однородными с более поздними данными ряда наблюдений.

4.8.4 Отсутствующие данные

Нормы, рассчитанные по неполным комплектам данных, могут быть искаженными. Например, если один год в каком-то периоде был особенно холодным, норма, рассчитанная без данных за этот год, была бы выше, чем норма с учетом этих данных. Поскольку в климатологических данных часто наблюдается значительная автокорреляция, отсутствующие последовательные данные наблюдений могут иметь более значительное воздействие на нормы, чем такое же число отсутствующих отдельных данных наблюдений, рассредоточенных по всему рассматриваемому периоду.

Как руководство к действию, нормы или средние за период следует рассчитывать только тогда, когда имеются данные по годам, составляющим по меньшей мере 80 процентов от всего количества лет с результатами наблюдений, с не более чем тремя пропущенными последовательными годами. В качестве альтернативы, когда имеется продолжительный период отсутствующих данных, но при этом имеются довольно полные данные после этого периода, необходимо рассчитать среднее за период с использованием данных только тех лет, которые следуют после периода с отсутствующими данными.

Годовые нормы или средние величины следует рассчитывать как среднюю величину или сумму (в зависимости от ситуации) 12 месячных норм или средних величин без учета меняющейся продолжительности месяцев (см. *Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм* (ВМО-№ 1203), 4.4). Не допускается отсутствие каких-либо месячных норм при расчете годовых норм.

Рекомендуется не рассчитывать месячные значения, если отсутствует более десяти суточных значений, либо пять или более последовательных суточных значений. В случае, когда элементы, для которых месячные значения представляют собой сумму суточных значений, а не среднее значение (например, для дождевых осадков или солнечного сияния), месячные значения следует рассчитывать, только если имеются все суточные данные наблюдений или если любые данные за пропущенные дни включены в данные наблюдений, накопленные за период, когда отсутствовали данные за день, когда наблюдения были возобновлены. В публикации *Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals* (Расчёт месячных и годовых 30-летних стандартных норм) (WMO/TD-№ 341) даны рекомендации по строгим критериям для расчета средних значений с ограничениями на наличие более пяти пропущенных дней всего или более трех последовательно пропущенных дней.

4.8.5 Среднесуточная температура

Существует множество методов расчёта среднесуточной температуры. Они включают в себя методы, использующие суточный максимум и суточный минимум, ежечасные наблюдения в течение 24 часов, наблюдения в синоптические сроки и наблюдения в определенные точно установленные часы в течение дня. Лучшая статистическая аппроксимация среднего основана на интеграции непрерывных наблюдений за какой-то период времени; чем чаще производятся наблюдения, тем точнее среднее значение. На практике обычно исключается расчет среднесуточного значения по большому количеству наблюдений, равномерно распределенных за 24-часовой период, потому что многие станции, где производятся наблюдения, не измеряют элемент непрерывно. Для проведения сравнений желательно иметь стандартную методику обработки данных для всех станций по всему миру с максимально возможным количеством станций.

Все обычные климатологические станции производят наблюдения за суточной максимальной и минимальной температурой (см. 2.2.1). Таким образом, рекомендованная методика расчета среднесуточной температуры представляет собой определение среднего значения по суточной максимальной и минимальной температуре. Несмотря на то, что этот метод не является наилучшей статистической аппроксимацией, его согласованное использование отвечает целям проведения сравнения норм. НМГС следует также рассчитывать среднесуточные значения с использованием других методов, если такие расчеты повышают понимание климата страны.

4.8.6 Квинтили атмосферных осадков

Квинтили атмосферных осадков используются для того, чтобы установить соотношение между зарегистрированным общим месячным количеством осадков и распределением повторяемости значений, зарегистрированных за период, для которого были рассчитаны нормы. Не существует общепринятых методов расчёта квинтильных границ, и выбор метода может привести к существенным различиям в результирующих значениях. Тем не менее, рекомендуемая процедура для расчёта этих границ нижеследующая:

- a) для любого месяца берутся 30 месячных значений атмосферных осадков, зарегистрированных в течение 30-летнего нормального периода, которые располагают в возрастающей последовательности. Затем список делится на пять квинтильных групп по шесть значений в каждой группе. Первый квинтиль содержит шесть наименьших значений для рассматриваемого месяца, зарегистрированных за 30-летний период, второй квинтиль содержит следующие шесть наименьших значений и так далее до пятого квинтиля, который содержит шесть наибольших значений;
- b) граница между двумя граничащими квинтилями устанавливается посередине между самым верхним значением одного квинтиля и первым значением следующего квинтиля. Квинтильный индекс присваивается по номеру наименьшего квинтиля, содержащего значение месячных осадков в месяце, для которого готовится сводка, с учетом следующих специальных правил:
 - i) если осадки равны 0, используйте индекс 0, если осадки не наблюдались в течение базового периода; используйте 1, если осадки были, но не более 6 раз; используйте 2, если осадки были от 7 до 12 раз; используйте 3, если осадки были от 13 до 18 раз, и так далее;
 - ii) если количество осадков было ниже, чем любое значение в базовом периоде: используйте 0 (независимо от того, равняются ли осадки 0);
 - iii) если количество осадков было выше, чем любое значение в базовом периоде: используйте индекс 6.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 2015: *Технический регламент* (ВМО-№ 49), том I: Общие метеорологические стандарты и рекомендуемая практика. Женева.
- , 2004: *Пособие по подготовке сводок CLIMAT и CLIMAT TEMP* (ВМО/ТД-№ 1188). Женева.
- , 2015: *Наставление по Глобальной системе телесвязи* (ВМО-№ 386). Женева.
- , 2017: *Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм* (ВМО-№ 1203). Женева.
- World Meteorological Organization, 1989: *Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals* (WMO/TD-No. 341, WCDP-No. 10). Geneva.
- , 1990: *On the Statistical Analysis of Series of Observations* (WMO-No. 415). Geneva.
- , 2007: *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate* (WMO/TD-No. 1377, CDMP-No. 61). Geneva.
- , 2009: *Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation* (WCDMP-No. 72, WMO-TD No.1500). Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Angel, J.R., W.R. Easterling and S.W. Kirtsch, 1993: Towards defining appropriate averaging periods for climate normals. *Climatological Bulletin*, 27:29–44.
- Asnani, G.C., 1993: *Tropical Meteorology* (2 vols.). Pune, Sind Society.
- Barnston, A.G. and R.E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115:1083–1126.
- Bhalme, H.N. and D.A. Mooley, 1980: Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108:1197–1211.
- Bhalme, H.N., D.A. Mooley and S.K. Jadhav, 1984: Large-scale April pressure index connected with the southern oscillation and its potential for prediction of large-scale droughts over India. *Mausam*, 35(3):355–360.
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones, 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research* 111, D12106.
- Dixon, K.W. and M.D. Shulman, 1984: A statistical evaluation of the predictive abilities of climatic averages. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23:1542–1552.
- Guttman, N.B., 1989: Statistical descriptors of climate. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 70:602–607.
- Huang, J., H.M. van den Dool and A.G. Barnston, 1996: Long-lead seasonal temperature prediction using optimal climate normals. *Journal of Climate*, 9:809–817.
- Lamb, P.J. and S.A. Changnon, 1981: On the “best” temperature and precipitation normals: the Illinois situation. *Journal of Applied Meteorology*, 20:1383–1390.
- Matheron, G., 1973: The intrinsic random functions and their applications. *Advances in Applied Probability*, 5:207–221.
- Rao, G.A., S.V. Datar and H.N. Srivastava, 1992: Study of drought indices in relation to rice crop production over some States of India. *Mausam*, 43(2):169–174.
- Srivastava, A.K., P. Guhathakurta and S.R. Kshirsagar, 2003: Estimation of annual and seasonal temperatures over Indian stations using optimal normals. *Mausam*, 54:615–622.
- Tukey, J.W., 1977: *Exploratory Data Analysis*. Reading, Massachusetts, Addison Wesley.
- Von Storch, H. and F.W. Zwiers, 1999: *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Wilks, D.S., 1995: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. San Diego, Academic Press.
-

ГЛАВА 5. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА КОМПЛЕКТОВ ДАННЫХ

5.1 ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе описываются некоторые статистические понятия и методы, используемые климатологами, но не приводятся всесторонние характеристики сложных предметов. Некоторые статистические методы приводятся только для поверхностного рассмотрения, а другие оставлены без внимания. Более полная информация представлена в справочной литературе и учебных пособиях по теории и методам статистики, перечисленных в конце главы. На книжной полке у каждого климатолога должны стоять издания: *Some Methods in Climatological Analysis* (Некоторые методы климатологического анализа) (WMO-№ 199) и *On the Statistical Analysis of Series of Observations* (О статистическом анализе рядов данных наблюдений) (WMO-№ 415). Поскольку постоянно появляются новые и усовершенствованные статистические и аналитические методологии, климатологам следует быть в курсе современных методик, имеющих практическое применение в климатологии.

Основной интерес при использовании полученных метеорологических или климатологических данных наблюдений заключается не в описании этих данных (см. главу 4), а в том, чтобы сделать выводы на основе ограниченного количества данных (выборка данных наблюдений) о сложных физических явлениях, которые помогают пользователям климатологической информации. Интерпретация климатологических данных обычно подразумевает проведение пространственно-временных сравнений характеристик распределений повторяемости. Эти сравнения дают ответ на следующие общие вопросы:

- Являются ли одинаковыми средние значения температур, измеренных через определенные промежутки времени в различных местах наблюдений?
- Одинакова ли изменчивость атмосферных осадков в различных местах наблюдений?
- Изменяется ли со временем суточный ход температуры в какой-либо местности, и если да, то как именно?
- Какова вероятность возникновения тропических штормов в каком-либо районе?

Предположения основываются непосредственно на теории вероятности, и поэтому в основе использования статистических методов для выдвижения предположений лежит формальное математическое умозаключение. Статистика может рассматриваться в качестве теоретической и прикладной науки о создании, разработке и применении методов, с помощью которых можно оценить неопределенность индуктивных умозаключений. Статистика — это средство, используемое для устранения пробела между первичными необработанными данными и полезной информацией, и она используется для проведения анализа данных, климатических моделей и предсказания климата. Статистические методы позволяют излагать уверенно любое решение, основанное на применении этих процедур.

Уверенность, с которой может быть принято решение, очень важна ввиду рисков, которые могут возникнуть вследствие принятия ошибочного решения. Зарегистрированные данные представляют собой лишь единичное проявление физической системы климата и погоды, и они обычно регистрируются с некоторым уровнем погрешности. Выводы могут быть правильные или неправильные. Поэтому необходимы количественные факторы, указывающие на достоверность решений, для использования информации, содержащейся в комплекте данных, должным образом.

5.2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ (ГОМОГЕНИЗАЦИЯ)

Анализ климатических данных для выявления изменений и трендов является более достоверным, если используется комплект однородных данных. Однородным является такой комплект климатических данных, в котором все колебания значений, содержащиеся в его временных рядах, отражают фактическую изменчивость и изменение представленного климатического элемента. В большинстве статистических методов предполагается, что исследуемые данные не содержат, насколько это возможно, погрешностей, связанных с измерительными приборами, кодированием и обработкой данных, и других погрешностей неметеорологического и неклиматологического характера. Однако метеорологические или климатологические данные, как правило, не являются ни однородными, ни свободными от погрешностей. Погрешности варьируют от систематических (они влияют одинаковым образом на весь комплект данных наблюдений, например, постоянные погрешности калибровки измерительных приборов или некорректный перевод единиц измерения) до случайных (любое отдельно взятое наблюдение подвержено погрешности измерения, которая может быть положительной или отрицательной, например, разные параллаксы среди наблюдателей, считывающих показания ртутного барометра).

Лучшим способом сохранить однородность данных является недопущение изменений в сборе, обработке, передаче и обработке данных. Настоятельно рекомендуется сохранять неизменными, по-возможности, процедуры производства наблюдений и измерительные приборы (см. *Guide to the GCOS Surface and Upper-Air Networks: GSN and GUAN* (Руководство по приземным и аэрологическим сетям ГСНК: СПНГ и ГУАН) (WMO/TD-No. 1106), 3.4. К сожалению, большинство комплектов многолетних климатологических данных были подвержены воздействию ряда факторов, не относящихся к климату как таковому. Эти факторы включают в себя изменения в географическом местоположении; местное землепользование и почвенно-растительный покров; типы, размещение, монтаж и укрытие измерительных приборов; методики наблюдений; расчёты, коды и единицы измерения; исторические и политические события. Некоторые изменения могут вызывать резкие разрывы или скачки (например, после замены измерительного прибора или изменения места его установки), тогда как другие изменения могут быть причиной постепенного смещения (в результате, к примеру, роста процесса урбанизации вблизи станции). В обоих случаях соответствующие временные ряды становятся неоднородными, и эта неоднородность может сказаться на корректной оценке климатических трендов. Следует отметить, что изменения в месте производства наблюдений не всегда влияют на результаты наблюдений за всеми элементами, да и не воздействуют на наблюдения за всеми элементами в одинаковой степени. Целесообразность иметь однородные записи обусловлена, главным образом, необходимостью выделить и определить изменения в климате как таковом. Тем не менее, существует несколько предметов исследований, которые могут потребовать определенной «неоднородности», которая должна быть отражена в данных, например, исследование влияния урбанизации на локальный климат или влияние роста растительности на микроклимат экосистемы.

Статистические тесты следует использовать в сочетании с метаданными при исследовании однородности. В случаях, когда история станции хорошо документирована и было проведено достаточно много параллельных измерений при переносе в другое место и замене измерительных приборов, следует выполнить гомогенизацию на основе этой качественной и количественной информации. Поэтому архивация всех исторических метаданных чрезвычайно важна для оптимального обеспечения однородности климатологических временных рядов, и её следует проводить с особым вниманием в отношении всех видов метеорологического обслуживания (см. главы 2 и 3).

После проведения анализа метаданных статистические тесты могут обнаружить дополнительные неоднородности. Такие тесты обычно зависят от временных рамок данных; тесты, применяемые для суточных данных, отличаются от тестов, применяемых для месячных данных или данных в других временных масштабах. Результаты выполнения таких процедур статистической гомогенизации должны быть вновь сверены с имеющимися метаданными. В принципе, можно использовать любой статистический тест, при котором сопоставляются статистические параметры двух выборок данных. Но

обычно используются специальные тесты на однородность, когда проверяется вся длина временного ряда за один раз. Можно использовать эффективно как непараметрические тесты (в которых не делается предположений относительно статистических распределений), так и параметрические тесты (в которых известно или корректно допускается распределение повторяемости).

При выборе теста на однородность очень важно иметь в виду форму распределения повторяемости данных. Некоторые комплекты данных имеют распределение, напоминающее форму колокола (нормальное, или распределение Гаусса); для таких данных параметрический подход работает хорошо. Для других (например, данные об атмосферных осадках в районе с заметной межгодовой изменчивостью), не напоминающих форму колокола, основанные на ранжировании непараметрические критерии могут быть лучше. При оценке доверительности, которая может относиться к результатам любого теста, следует также учитывать воздействие последовательной автокорреляции, число потенциальных точек изменения в ряду (документированных в метаданных и недокументированных), тренды и колебания, а также короткие периоды регистрации, которые могут быть аномальными.

Многие методы основаны на сравнении данных, которые должны быть гомогенизированы (рассматриваемый ряд), с опорным рядом. В идеале опорный временной ряд должен отражать все те же разнообразные климатические влияния, которым подвергается рассматриваемый ряд, но не содержать его возможных систематических погрешностей неприродного характера. Если этот рассматриваемый ряд является однородным, при сравнении рассматриваемого и опорного рядов путем вычисления разницы (в случае, когда элементы измерялись через какой-то интервал времени, как измеряется температура) или путем расчета соотношений или логарифмических отношений (для элементов, измеряемых по пропорциональной шкале, как измеряются атмосферные осадки), получаемые временные ряды не покажут ни внезапных изменений, ни трендов, но будут колебаться вокруг какой-то постоянной величины. Однако если имеется одна или более неоднородностей, они проявятся в разнице или соотношении временных рядов. На рисунке 5.1 показан пример рассматриваемого и опорного рядов, а на рисунке 5.2 приводится пример разностного ряда, раскрывающего неоднородность в рассматриваемом ряду.

Опорные временные ряды работают хорошо, когда комплект данных имеет достаточно большое число значений для того, чтобы обеспечить хорошее климатологическое

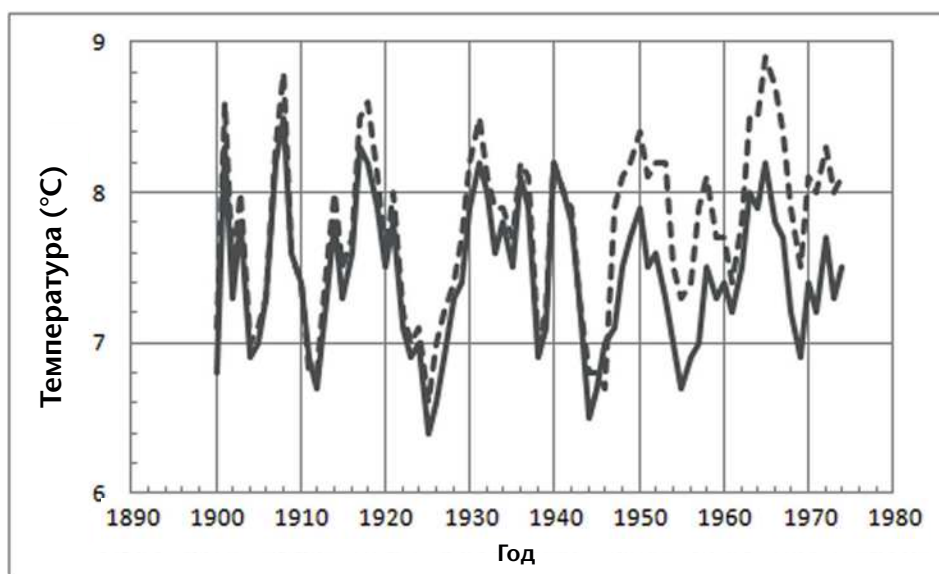


Рисунок 5.1. Пример рассматриваемого временного ряда (пунктирная линия) и опорного временного ряда (сплошная линия)

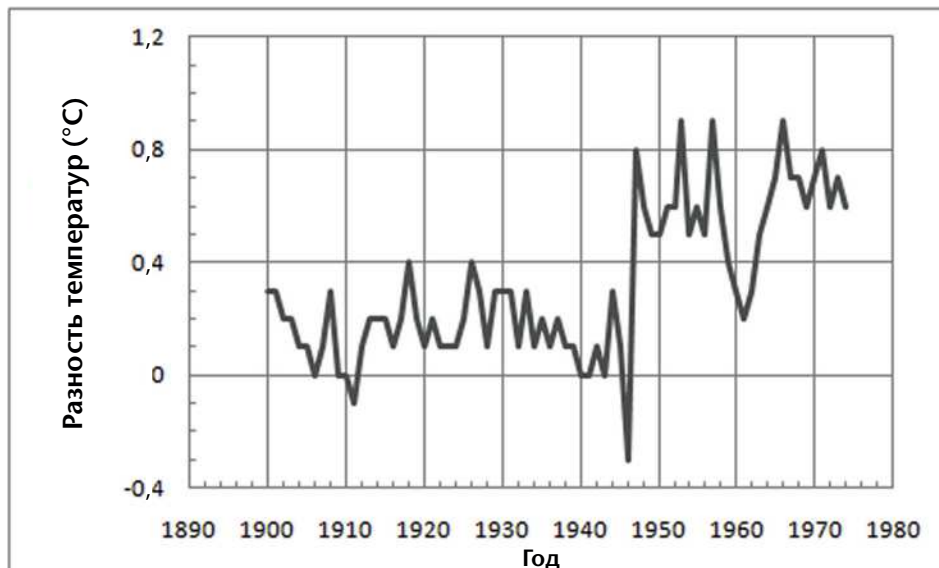


Рисунок 5.2. Пример разностного временного ряда

соотношение между каждой рассматриваемой и смежной точками наблюдений, используемое при построении опорных рядов, и когда нет неоднородностей, влияющих на все или большинство станций или имеющиеся значения. Обычно нужна более густая сеть станций для климатических элементов или климатических типов с высокой степенью пространственной изменчивости (например, требуется больше точек с данными для атмосферных осадков, чем для температуры, и требуется больше точек с данными для гомогенизации данных об осадках при климате с очень изменчивой температурой, чем при климате с менее изменчивой температурой). Когда замена измерительных приборов происходит почти одновременно на всей сети, опорные ряды не помогут, потому что все точки с данными будут одинаково подвержены последствиям этой замены. Когда подходящие опорные ряды не могут быть построены, необходимо оценить возможные точки излома и поправочные коэффициенты без использования каких-либо данных со станций, расположенных рядом.

Двойная интегральная кривая часто используется в области гидрометеорологии для верификации измерений атмосферных осадков и стока, но она может использоваться для большинства элементов. Для каждого имеющегося периода на график наносится суммарное количество осадков из рассматриваемого ряда относительно суммарного количества осадков из опорного ряда. Если соотношение между рассматриваемым и опорным рядами остается постоянным во времени, результирующая двойная интегральная кривая должна иметь постоянный наклон. Любая существенная изменчивость в наклоне или форме кривой указывает на изменение в соотношении между этими двумя рядами. Поскольку колебания могут происходить естественным образом, рекомендуется делать вывод о неоднородности, если очевидные изменения наклона происходили в течение отчётливо выраженного продолжительного периода, длящегося по меньшей мере пять лет, и если они соответствовали событиям, отраженным в метаданных станции. На рисунке 5.3 показана двойная интегральная кривая для тех же самых данных, которые были использованы для рисунков 5.1 и 5.2. Поскольку зачастую трудно определить, где именно на двойной интегральной кривой изменяется наклон, остаточный график кумулятивной разницы между данными с рассматриваемой и опорной станций вычерчивается как функция времени (рисунок 5.4). Остаточный график отчётливее показывает изменения наклона. Двойная интегральная кривая может использоваться для выявления более одного изменения во времени. Когда двойная интегральная кривая показывает изменение наклона, можно вывести поправочные коэффициенты, рассчитав соотношение этих наклонов до и после точки излома.

Существует несколько критериев стационарности (предположений, что характеристики временного ряда не изменяются во времени). Одним из них является критерий серий,

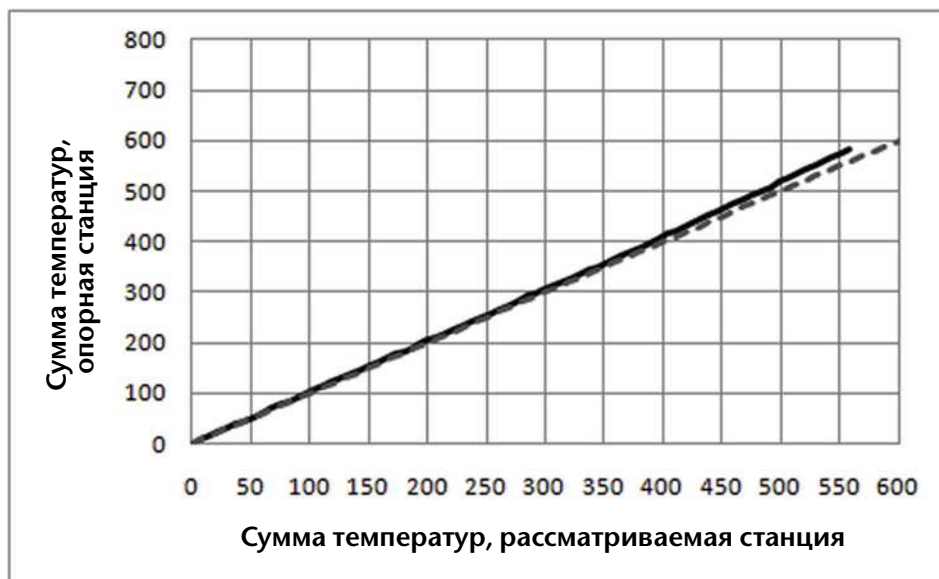


Рисунок 5.3. Пример двойной интегральной кривой с пунктирной линией, представляющей наклон, равный 1

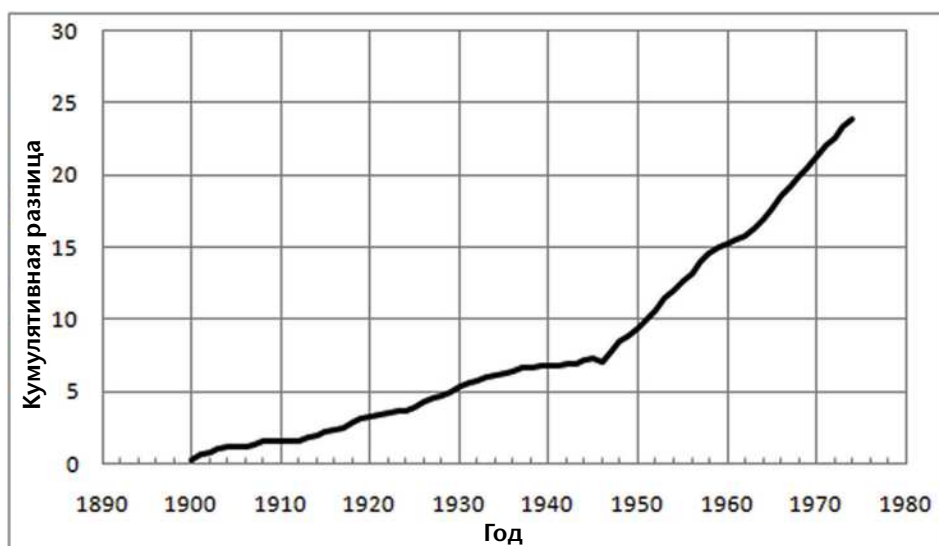


Рисунок 5.4. Пример остаточной двойной интегральной кривой

который предполагает, что тренды и другие формы устойчивости в последовательности данных наблюдений происходят только случайно. Он основывается на общем числе изменений направления в последовательных значениях. Слишком малое число серий показывает на устойчивость или тренды, а слишком большое число показывает на колебания. Стационарность центральных тенденций и изменчивость между частями ряда имеют большое значение. Способы проверки этих характеристик включают в себя как параметрические, так и непараметрические методы.

Необходимо соблюдать осторожность, когда данные имеют дискретность менее месяца (например, суточные или ежечасные наблюдения), потому что одним из видов использования однородных суточных данных является оценка изменений экстремальных значений. Экстремальные значения, вне зависимости от того, как они определялись, являются редкими явлениями, зачастую вызванными уникальным сочетанием метеорологических условий. Задача приведения ряда к однородному виду для этих уникальных условий может быть трудной при наличии для оценки малого числа точек с

данными об экстремальных значениях. Экстремальные значения следует рассматривать как часть всего комплекта данных, и поэтому их следует гомогенизировать не отдельно, а вместе со всеми данными. Способы гомогенизации данных о месячных, сезонных и годовых температурах обычно удовлетворительные, но гомогенизация суточных данных и экстремальных значений остается сложной задачей.

Хотя существует много объективных способов определения неоднородности данных и их выравнивания, фактическое применение этих способов остается субъективным. По крайней мере решение о том, применять или нет данный способ, остается сугубо субъективным. Это означает, что независимые попытки осуществить гомогенизацию могут легко привести к совершенно разным данным. Важно вести подробную и полную запись о каждом шаге и решениях, принятых в течение этого процесса. Выровненные данные не следует рассматривать как абсолютно «правильные», в то же время не следует всегда рассматривать исходные первоначальные данные как «неправильные». Исходные первоначальные данные следует всегда сохранять.

Оценка однородности и методы выравнивания данных являются активно развивающейся областью, поэтому и теория, и практические методы продолжают эволюционировать. Следует прилагать усилия для того, чтобы быть в курсе новейших методов.

5.2.1 Оценка однородных данных

Оценка результатов контроля однородности и процесса ее улучшения требует много времени, но является неизбежной, вне зависимости от того, какой подход был использован. Очень важно понимать, какие способы корректировки рядов применялись для повышения достоверности временных рядов и для сопоставимости измерений на всем протяжении их проведения. Иногда может понадобиться применить методику, созданную для другой совокупности обстоятельств (например, другой климат, метеорологические или климатологические элементы или плотность сети наблюдений), и важно проанализировать, насколько успешно была осуществлена гомогенизация. Например, большинство методик, используемых для гомогенизации месячных или годовых данных об атмосферных осадках, были разработаны и проверены в дождливом климате, где осадки выпадают в течение всего года, и они могут иметь серьезные недостатки, если применяются к данным о климате с очень сухими сезонами.

Для того чтобы оценить поправки, можно сравнить выровненные и невыровненные данные с независимой информацией, такой как данные с территории соседних государств, комплекты данных с координатной привязкой или косвенные данные, например, фенологические, из журналов наблюдений, или календарные даты образования льда и таяния. При использовании таких стратегий необходимо также осознавать ограниченность их применения. Например, комплекты данных в узлах координатной сетки могут быть подвержены изменениям в отношении количества станций, проводивших наблюдения в разное время, или в конкретных узлах сетки они могут не очень хорошо согласовываться с исходными первоначальными данными, полученными с совмещенной или расположенной рядом станции.

Другой подход состоит в том, чтобы изучить в целом по стране усредненные по районам временные ряды для скорректированных и нескорректированных данных, и увидеть, изменили ли процедуры гомогенизации тренды, ожидавшиеся на основании информации о сети станций. Например, когда на обширном пространстве происходит переход от послеполуденных к утренним наблюдениям, неоткорректированные данные о температуре во временных рядах имеют смещение в сторону охлаждения, поскольку значения, полученные в результате утренних наблюдений, обычно ниже тех, что сделаны после полудня.

Если результаты приведения к однородности верны, новые выровненные временные ряды в целом будут описывать временную изменчивость анализируемого элемента лучше, чем исходные данные. Однако некоторые единичные значения могут оставаться неправильными или становиться даже хуже в результате гомогенизации. Более полное

описание нескольких широко используемых тестов приводится в документе *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (Руководящие принципы по вопросам климатических метаданных и обеспечения однородности данных) (WMO/TD-Nº 1186), 3.4, таблица 4, а также в нескольких справочных изданиях, перечисленных в конце настоящей главы.

5.3 ПОДБОР МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ

После того как в комплекте данных устранены известные погрешности и неоднородности, получившееся распределение повторяемости следует смоделировать статистическими распределениями, описанными в 4.4.1, для того чтобы можно было использовать статистические методы. Теоретическое распределение повторяемости может быть подобрано для имеющихся данных путем внесения оценок параметров распределения, где эти оценки рассчитываются по выборке зарегистрированных данных. Оценки могут основываться на различном количестве информации или данных. Число не связанных бит информации или данных, которые используются для оценки параметров распределения, называется числом степеней свободы. Обычно чем выше число степеней свободы, тем лучше будет результат оценки. Когда теоретически полученная плавная кривая наносится на график с данными, степень совпадения между этой подобранной кривой и данными может быть оценена визуально.

Определение остаточных погрешностей является мощным средством для понимания данных и подсказывает, какие изменения необходимо внести в модель или данные. Остаточная погрешность представляет собой разницу между наблюдаемым значением и значением из соответствующей модели. Остаточная погрешность не является синонимом аномального значения. Аномальное значение — это странное, необычное или уникальное значение в исходном ряду данных. Графическое представление остаточных погрешностей полезно использовать для определения закономерностей. Если отмечаются типичные остаточные погрешности, такие как осцилляции, кластеры и тенденции, то используемая модель обычно не очень хорошо подходит для этих данных. Выбросы (несколько значений остаточной погрешности, которые очень сильно отличаются от большинства значений) являются индикаторами потенциально сомнительных или ошибочных значений данных. Обычно они определяются как экстремальные значения при последующих анализах. Если не существует закономерностей и если значения остаточных погрешностей оказываются беспорядочно разбросанными, то эта модель может быть принята в качестве хорошо подходящей для этих данных.

Если наблюдаемое распределение повторяемости должно быть подобрано по статистической модели, то допущения, на которых строится модель, и процесс подгонки должны быть обоснованными. В большинстве моделей допускается, что данные не зависят друг от друга (одно наблюдение не испытывает влияния никакого другого наблюдения). Большинство сравнительных методов, используемых в проверках с применением критерия согласия, исходит из того, что распределение ошибок носит случайный и независимый характер. Если эти допущения не применимы, то любые утверждения, сделанные на основе анализа, могут быть некорректными.

Как только под эти данные подобрано подходящее статистическое распределение повторяемости, удовлетворяющее каждому из необходимых критериев независимости, случайности или другому критерию выборки, и это подобранное распределение было подтверждено (см. 4.4), модель может использоваться для представления данных. Могут быть сделаны предположения, которые поддерживаются математической теорией. Модель обеспечивает оценки центральной тенденции, изменчивости и свойств высшего порядка этого распределения (таких, как асимметрия или эксцесс). Можно также определить достоверность того, что эти оценки выборки представляют реальные физические условия. Другие характеристики, такие как вероятность превышения отдельным наблюдением заданного значения, также можно оценить с помощью применения вероятностной и статистической теорий к смоделированному распределению

повторяемости. Все эти задачи становится значительно труднее или даже невозможно решить, когда используются исходные первоначальные данные вместо подобранного распределения повторяемости.

5.4 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ДАННЫХ

Нормальное, или Гауссово, распределение повторяемости широко используется, поскольку оно было всесторонне изучено в статистике. Если данные не вполне соответствуют нормальному распределению, то применение преобразования к этим данным может дать в результате распределение повторяемости, близкое к нормальному, что позволяет с помощью теории, лежащей в основе нормального распределения, сформировать базу для многих логически следующих приложений. Преобразование данных должно выполняться с осторожностью, так чтобы преобразованные данные по-прежнему представляли те же физические процессы, что и исходные данные, и чтобы можно было сделать убедительные выводы.

Существует несколько способов определения того, является ли распределение значений элемента по существу ненормальным. Относительно легко провести визуальное изучение гистограмм, графиков рассеяния или графиков вероятность-вероятность (P-P) или квантиль-квантиль (Q-Q). Более объективная оценка может варьировать от простого изучения асимметрии и эксцесса (см. 4.4.4 и 4.4.5) до логически выведенных критериев нормальности.

Прежде чем применять любое преобразование, исследователь должен убедиться, что ненормальность вызвана убедительной причиной. Неубедительные причины ненормальности включают в себя ошибки при вводе данных и отсутствующие значения данных, не заявленные как отсутствующие. Другой причиной ненормальности может быть наличие выбросов, поскольку они вполне могут быть реальной деталью нормального распределения.

Наиболее распространенным преобразованием данных, используемым для улучшения нормальности, являются преобразование квадратного корня, кубического корня, логарифмическое и обратное преобразования. Квадратный корень делает значения менее 1 относительно больше, а значения больше 1 относительно меньше. Если значения могут быть положительными или отрицательными, прежде чем извлекать корень, обязательно нужно добавлять фиксированное смещение, для того чтобы все значения были больше или равны 0. Кубический корень имеет такой же эффект, что и квадратный корень, но не требует контроля отрицательных значений. Логарифмическое преобразование сжимает диапазон значений, делая малые значения относительно больше и большие значения относительно меньше. Если присутствуют значения, равные или меньше 0, сначала должно быть добавлено фиксированное смещение. Обратное преобразование делает очень маленькие числа очень большими и очень большие числа очень маленькими; значение 0 не должно допускаться.

Эти преобразования были описаны в относительной последовательности по степени от самого слабого до самого сильного. Хорошим принципом является использование минимального количества преобразований, необходимых для улучшения нормальности. Если метеорологический или климатологический элемент имеет присущее ему в высшей степени ненормальное распределение повторяемости, например U-образная форма распределения облачности и солнечного сияния, то не существует простых преобразований, позволяющих нормализовать эти данные.

Преобразования всегда сжимают правую сторону распределения сильнее, чем левую сторону; они уменьшают более высокие значения больше, чем более низкие значения. Таким образом, они эффективны для распределений с положительной асимметрией, например для атмосферных осадков и скорости ветра. Если распределение имеет отрицательную асимметрию, это должно быть отражено (значения умножаются на -1 и затем добавляется постоянная величина для того, чтобы сделать все значения больше 0),

чтобы сменить знак асимметрии распределения на противоположный, прежде чем применять преобразование, и затем снова отражено, чтобы восстановить исходный порядок элемента.

Преобразование данных предоставляет много преимуществ, но его следует применять должным образом на основе осознанного подхода. Все преобразования, описанные выше, пытаются улучшить нормальность за счет сжатия кривой распределения справа больше, чем слева. Однако именно это действие по изменению относительных расстояний между точками с данными, которое улучшает нормальность, одновременно поднимает вопросы в отношении интерпретации данных. Все точки с данными остаются в том же самом относительном порядке, как они были до преобразования, что позволяет интерпретировать результаты по возрастающим значениям этого элемента. Однако преобразованные распределения будут, вероятно, становиться все более сложными для физического осмысления по причине нелинейной природы таких преобразований. Поэтому исследователь должен быть внимательным при интерпретации результатов, полученных на основе преобразованных данных.

5.5 АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Принципы, определяющие подбор модели (см. 5.3), являются также принципами анализа временных рядов. Модель подбирается под ряды данных; модель может быть линейной, нелинейной, экспоненциальной, периодической или какой-то другой математической формулировкой. Обычно наилучшее соответствие (соответствие, сводящее к минимуму различия между рядами данных и моделью) достигается за счет использования методов наименьших квадратов (минимизирующих сумму квадратов отклонений от данных, взятых из подобранной кривой). Остаточные погрешности наилучшего соответствия изучаются на предмет наличия закономерностей, и если таковые выявлены, то модель настраивается для включения этих закономерностей.

Временные ряды в климатологии анализируются разнообразными методами, при использовании которых ряды разбиваются на компоненты либо во временной либо в частотной области. Важнейшим условием этих моделей является стационарность (когда характеристики ряда, такие как среднее значение и дисперсия, не меняются на всей протяженности этого ряда). Обычно этому условию не отвечают климатологические данные, даже если эти данные являются однородными (см. 5.2).

Анализ Габора и вейвлет-анализ являются детализацией классического метода спектрального анализа. Условие стационарности смягчается за счет того, что допускается моделирование с разбиением на подинтервалы временных рядов с различными масштабами или разрешениями. Эти анализы особенно годятся для представления временных рядов с подинтервалами, которые имеют отличающиеся характеристики. Вейвлет-анализ дает хорошие результаты, когда временные ряды имеют резкие максимумы или резкие разрывы. По сравнению с классическими методами они особенно эффективны для сигналов, в которых изменяются со временем и амплитуда и частота. Одним из основных преимуществ этих «локальных» анализов является способность представлять временные ряды климатических процессов в координатах повторяемости и времени, изучая и визуально представляя эволюцию различных мод изменчивости за большие периоды. Они используются не только в качестве средства для выявления нестационарных масштабов изменчивости, но также и как средство анализа данных с целью достижения начального понимания комплекта данных. Существует множество применений этих методов в климатологии, например, в изучении явления Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК), Североатлантического колебания, атмосферной турбулентности, взаимосвязей в пространственно-временном распределении атмосферных осадков и характеристик океанских волн.

Эти методы имеют, однако, некоторые ограничения. Самым важным ограничением для вейвлет-анализа является наличие бесконечного числа вейвлет-функций в качестве основы для анализа, и зачастую результаты отличаются в зависимости от того, какой

вейвлет используется. Это делает интерпретацию результатов до некоторой степени затруднительной, из-за того, что могут быть сделаны разные выводы из одного и того же комплекта данных, если использовались различные математические функции. Поэтому важно соотносить вейвлет-функцию с физическим миром, прежде чем делать выбор конкретного вейвлета. Методы анализа Габора и вейвлет-анализа являются развивающимися областями, и хотя математическая сторона определена, будущие усовершенствования методов и методологии их применения могут смягчить ограничения.

Другими распространенными способами анализа временных рядов являются методы авторегрессии и скользящего среднего. Авторегрессия представляет собой линейную регрессию значения во временном ряду по сравнению с одним или более значениями в последовательности (автокорреляция). Процесс скользящего среднего выражает наблюдаемый ряд как функцию случайной последовательности. Комбинацию из этих двух методов называют смешанной авторегрессионной моделью со скользящим средним (ARMA). Модель ARMA, допускающая нестационарность, называется смешанной авторегрессионной моделью с интегрированным скользящим средним (ARIMA). Эти основанные на регрессии модели могут быть более сложными, чем это необходимо, что приводит к чрезмерно близкой подгонке. Такая чрезмерно близкая подгонка может повлечь за собой моделирование рядов значений с минимальной разницей между моделью и значениями данных, но поскольку значения данных являются всего лишь представлением выборки, связанной с каким-либо физическим процессом, незначительное несовпадение при подгонке может быть даже желательным для того, чтобы представить истинный процесс. Другие проблемы включают в себя нестационарность параметров, используемых для определения модели, неслучайные остаточные погрешности (указывающие на неподходящую модель) и периодичность, присущую данным, но не смоделированным. Валидация по частям является эффективной при определении чрезмерно близкой подгонки модели. Валидация по частям касается практики разработки модели, основанной на использовании части имеющихся данных, и затем валидации модели по оставшимся данным, которые не были использованы при разработке модели.

Как только данные временного ряда были смоделированы с помощью надлежащей кривой, подгонка проверена, математические характеристики этой смоделированной кривой могут быть использованы для проведения оценок, которые были бы невозможны при использовании исходных данных. Оценки включают в себя измерение трендов, циклического поведения или автокорреляции и инерционности, наряду с оценками достоверности этих величин.

5.6 МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Комплекты данных со многими переменными представляют собой компиляцию данных наблюдений более чем за одним элементом или компиляцию данных наблюдений за одним элементом по времени и/или пространству. Эти комплекты данных часто изучаются для достижения многих различных целей. Самые важные цели заключаются в выяснении того, существуют ли более простые способы представления сложных комплектов данных; распадаются ли данные наблюдений на группы, которые могут быть классифицированы, и существует ли взаимозависимость между элементами. Такие комплекты данных также используются для проверки гипотез в отношении данных. Последовательность наблюдений обычно не рассматривается при многомерном анализе; временные ряды более одного элемента обычно рассматриваются в качестве отдельной задачи анализа с применением таких методов, как перекрёстный спектральный анализ.

Анализ главных компонент, иногда именуемый методом эмпирических ортогональных функций, является методом сокращения размерности данных со многими переменными. Этот процесс упрощает сложный комплект данных и обычно широко используется при анализе климатологических данных. С помощью методов анализа главных компонент некоторое количество коррелированных данных наблюдений разлагается на новый комплект некоррелированных (ортогональных) функций, которые включают в себя

изначальную дисперсию. Эти эмпирические ортогональные функции, называемые также главными компонентами, располагаются таким образом, чтобы первая компонента рассматривалась как поясняющая большую часть дисперсии, вторая компонента поясняет вторую наибольшую долю дисперсии и так далее. Поскольку обычно большая часть дисперсии объясняется всего несколькими компонентами, эти методы эффективны для сокращения «шума» в полях наблюдений. Часто отдельные компоненты могут относиться к одному метеорологическому или климатологическому элементу. Этот метод используется для анализа разнообразных областей исследований, которые включают в себя: температуру поверхности моря, региональные закономерности в температуре поверхности суши и распределении атмосферных осадков, исследования по кольцам стволов спиленных деревьев, давление на уровне моря, загрязнители воздуха, радиационные характеристики атмосферы и климатические сценарии. Главные компоненты используются также в качестве средства для реконструкции климата, например, при оценке сетки координат для климатического элемента по косвенным данным, когда отсутствуют фактические наблюдения за этим элементом.

Факторный анализ уменьшает комплект данных с обширного комплекта данных наблюдений до небольшого комплекта факторов. Он похож на анализ главных компонент, за исключением того, что факторы не являются некоррелированными. Поскольку фактор может представлять наблюдения за более чем одним элементом, метеорологическая или климатологическая интерпретация фактора часто затруднена. Этот метод используется, главным образом, в исследованиях по синоптической климатологии.

Кластерный анализ предназначен для разделения данных наблюдений на группы с похожими характеристиками. Существует много методов группировки данных, и разные методы используются для обнаружения различных комбинаций точек. Тем не менее, большинство из этих методов основывается на определении того, насколько расстояние между средними величинами двух групп больше, чем среднее расстояние внутри группы. Мерой расстояния не обязательно должно быть обычное евклидово расстояние, но она должна удовлетворять определенным критериям. Одним из таких критериев является условие, чтобы эта мера расстояния от точки А до точки В была равна расстоянию от точки В до точки А (симметрия). Вторым критерий заключается в том, что расстояние должно иметь положительное значение (не отрицательное). Третий критерий требует, чтобы для трёх точек, образующих треугольник, длина одной стороны была меньше или равна сумме длин двух других сторон (неравенство треугольника). Суть четвертого критерия состоит в том, что если расстояние от А до В равно нулю, то А и В — это одно и то же (определенность). Большинство методов несколько раз разделяют данные на все большее число групп, тем самым создавая проблему для исследователя в определении того, когда число групп является достаточным. К сожалению, не существует объективных правил для принятия такого решения. Поэтому исследователю следует использовать накопленные знания и опыт в определении того, когда с метеорологической или климатологической точки зрения достигнуто целесообразное число групп. Кластерный анализ используется для различных целей, например, для построения участков однородности атмосферных осадков, проведения исследований в области синоптической климатологии и прогнозирования состояния воздуха в городской среде.

Анализ канонических корреляций направлен на определение взаимозависимости между двумя группами элементов. С помощью этого метода обнаруживается линейная комбинация распределения первого элемента, вызывающая корреляцию со вторым распределением. Эта линейная комбинация извлекается из комплекта данных, и процесс повторяется с остальными данными с тем ограничением, что вторая линейная комбинация не согласуется с первой комбинацией. Процесс вновь повторяется до тех пор, пока линейная комбинация не прекращает быть статистически значимой. Этот анализ применяется, например, для подготовки прогнозов явлений на основе дальних связей, при статистическом даунскейлинге (см. 6.3.5), при определении однородных регионов для прогнозирования паводков в бассейне, где не проводятся наблюдения, и при реконструкции пространственного ветрового режима по барическим полям. Аналогичным анализом, который может быть использован, является разбиение на единичные величины.

Этот метод, как и анализ канонических корреляций, обнаруживает линейные комбинации двух групп элементов таким образом, чтобы линейные комбинации старались отразить максимальную возможную ковариацию.

Все эти методы имеют допущения и ограничения. Интерпретация результатов в значительной степени зависит от разрешенных допущений и от опыта исследователя. Другие методы, например, метод множественной регрессии и ковариационный анализ, накладывают даже ещё большие ограничения на большинство метеорологических и климатологических данных. Мультивариационный анализ — очень сложное исследование с множеством возможных результатов, и он требует осторожности при его применении.

5.7 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Подбирая модельную функцию к данным, будь то распределение повторяемости или временной ряд, возможно использование характеристик этой модели для дальнейшего анализа. Особенности модельных характеристик в основном хорошо изучены, что позволяет делать целый ряд выводов. Если же характеристики изучены недостаточно хорошо, то можно использовать бутстреппинг. Бутстреппинг — это оценка характеристик модели по множественным случайным выборкам, взятым из исходного ряда наблюдений. Он является альтернативой получению логических выводов по допущениям, основанным на параметрах, когда эти допущения сомнительны, когда параметрические выводы невозможны либо когда параметрический вывод требует применения очень сложных формул. Бутстреппинг просто применять, но он может скрадывать свой собственный набор допущений, которые могут быть более формально заявлены при других подходах.

В частности, существует много критериев для сравнения характеристик двух моделей с целью определения степени уверенности, которая может быть заложена в утверждения, что два комплекта смоделированных данных имеют общие основополагающие характеристики. При сравнении двух моделей сначала нужно решить, какие характеристики должны сравниваться. Они могут включать в себя среднее значение, медиану, дисперсию или вероятность явления на основе распределения, либо фазу или повторяемость во временном ряде. В принципе, любую вычисляемую характеристику подобранных моделей можно сравнивать, хотя должна быть некая имеющая смысл причина (основанная на физических аргументах) делать это.

Следующим шагом является формулирование основной гипотезы. Это такая гипотеза, которая рассматривается в качестве правильной ещё до того, как выполнена проверка, и в этом случае обычно смоделированные характеристики оказываются одинаковыми. Альтернативная гипотеза, противоположная первой, заключается в том, что смоделированные характеристики неодинаковы.

Затем выбирается подходящий критерий для сопоставления характеристик из этих двух моделей. Некоторые из этих критериев параметрические, зависящие от допущений в отношении распределения, например нормальности. Параметрические критерии включают в себя *t*-критерий Стьюдента (для сравнения средних величин) и *F*-критерий Фишера (для сравнения изменчивости). Другие критерии непараметрические, поэтому они не дают допущений в отношении распределения. Они включают в себя критерии знаков (для сравнения медиан) и критерий Колмогорова-Смирнова для сравнения распределений. Параметрические критерии обычно лучше (с точки зрения достоверности выводов), но только если необходимые допущения в отношении распределения являются правильными.

Значимость непринятия основной гипотезы (или принятия неправильной гипотезы) выражается в виде уровня достоверности или вероятности. Выбранный критерий покажет, может ли быть принята эта основная гипотеза для требуемого уровня достоверности. Некоторые из критериев покажут, на каком уровне достоверности может быть принята основная гипотеза. Если основная гипотеза отвергнута, то должна быть принята альтернативная гипотеза. Используя этот процесс, исследователь может

утверждать, например, что средние значения двух комплектов данных наблюдений равны с 99-процентным уровнем достоверности; соответственно остается только 1 процент, что средние значения не одинаковые.

Независимо от того, какая гипотеза принята, основная или альтернативная, вывод может быть ошибочным. Когда отвергается основная гипотеза, но она является фактически верной, совершена ошибка типа I. Когда принимается основная гипотеза, но она является фактически неверной, совершена ошибка типа II. К сожалению, уменьшение риска ошибки типа I повышает риск ошибки типа II, поэтому необходимо соблюдать баланс между этими двумя типами. Этот баланс должен основываться на серьезности последствий совершения любого типа ошибок. В любом случае, достоверность вывода может быть рассчитана по показателю вероятности, и о ней следует сообщать вместе с выводом.

5.8 СГЛАЖИВАНИЕ

Методы сглаживания перекидывают мостик между непринятием допущений, основанных на формальной структуре наблюдаемых данных (непараметрический подход), и принятием очень строгих допущений (параметрический подход). Принятие слабого допущения о том, что правильное распределение данных может быть представлено плавной кривой, позволяет исследователю раскрыть основополагающие комбинации данных. Сглаживание повышает уровень сигнала, характеризующего климатические закономерности, и сокращает шум, индуцированный случайными флуктуациями. Применения сглаживания включают в себя процесс разведочного анализа данных, построение модели, проверку адекватности репрезентативной (гладкой) кривой имеющимся данным, параметрическую оценку и корректировку стандартной методологии.

Оценка плотности в ядре является одним из методов сглаживания; примерами служат скользящие средние, Гауссово сглаживание и биномиальное сглаживание. Сглаживатели оценивают значение в точке путем объединения наблюдаемых значений в окрестностях ядра. Метод комбинации часто является взвешенным средним с весами, зависими от расстояния от исследуемой точки. Размер используемых окрестностей называется диапазоном; чем шире диапазон, тем больше сглаживание. Оценки с помощью метода ядра просты, но они имеют недостатки. Таким оценкам могут быть присущи систематические ошибки, когда область определения данных ограничена, например, вблизи начала или конца временного ряда. Поскольку один диапазон используется для всей кривой, применяется постоянный уровень сглаживания. Кроме того, оценка имеет тенденцию выравнивать точки максимума и минимума на кривой распределения данных. Улучшения в оценке с помощью метода ядра достигаются, в частности, путем корректировки граничных смещений (систематических ошибок), используя специальный выбор центра ядра только вблизи границ, и за счет изменения диапазонов в различных секторах распределения данных. Для улучшения оценки можно также использовать преобразование данных (см. 5.4).

Слайн-оценки описывают распределение повторяемости для конечных подинтервалов распределения с помощью многочленов разной степени. И в этом случае число и положение подинтервалов влияет на степень сглаживания. Оценка вблизи границ данных также проблематична. Выбросы могут серьезно повлиять на соответствие сплайна, особенно в регионах с малым количеством данных наблюдений.

Имеется также ряд более сложных, часто непараметрических сглаживателей. К ним относится локальная оценка методом максимального правдоподобия, которая особенно полезна, когда предварительные знания о поведении комплекта данных могут привести к хорошему «нулевому приближению» для типа анализируемой кривой. Эти оценочные функции иногда трудно объяснить теоретически.

В случае с данными со многими переменными сглаживание является более сложным из-за количества возможностей сглаживания и количества параметров сглаживания, которые

необходимо установить. По мере возрастания числа элементов данных сглаживание делать становится все труднее. Поскольку размерность большинства графиков не превосходит двух, визуальный просмотр сглаживателя ограничен. Плотность данных в ядре может использоваться для сглаживания данных со многими переменными, но проблемы оценки граничных условий и фиксированных диапазонов при этом методе могут быть даже сложнее, чем в случае с одной переменной.

В случае анализа со многими переменными обычно существуют обширные области, не заполненные наблюдениями. Исключением являются случаи, когда количество данных очень большое. Метод сглаживания заключается в значительном сокращении размерности с помощью, например, анализа главных компонент. Сокращение размерности должно иметь целью сохранение любой интересной структуры или сигнала меньшей размерности в процессе устранения ненужных атрибутов или шумов.

Одним из наиболее широко используемых способов сглаживания является регрессия. Регрессионные модели, как линейные, так и нелинейные, являются эффективными для моделирования целевого элемента как функции совокупности предикторов, позволяющих описывать взаимосвязи и разрабатывать критерии оценки силы этих взаимосвязей. Однако эти модели чувствительны к тем же самым проблемам, что и любая другая параметрическая модель, и заключаются они в том, что сделанные допущения влияют на достоверность выводов и предсказаний.

Регрессионные модели страдают также от проблем на границе области и нереалистичных сглаживаний в подинтервалах диапазона данных. Эти проблемы могут быть также разрешены взвешиванием подинтервалов области данных с меняющимися диапазонами и применением полиномиальной оценки вблизи границ. Оценки регрессии, основанные на оценивании методом наименьших квадратов, могут быть подвержены влиянию наблюдений с несвойственными значениями отклика (выбросы). Если какое-то значение данных очень отличается от большинства значений, гладкая кривая будет иметь тенденцию тяготеть ближе к выпадающему значению, чем это может быть оправдано. При применении адаптируемого непараметрического сглаживания часто затруднительно однозначно определить значение как выброс, поскольку решается задача по сглаживанию всех данных наблюдений. Выбросы могут быть действительным метеорологическим или климатологическим откликом, или они могут быть отклонением; необходимо провести дополнительное изучение выброса для того, чтобы обеспечить достоверность этого значения. Оценки регрессии также подвержены влиянию корреляции. Оценки основываются на допущении, что все ошибки статистически не зависят друг от друга; корреляция может влиять на асимптотические свойства оценок и на поведение диапазонов, установленных по данным.

5.9 ОЦЕНИВАНИЕ ДАННЫХ

Одним из основных применений статистических методов в климатологии является оценка значений элементов, когда имеется мало данных наблюдений или их нет вовсе, либо когда ожидаемые данные отсутствуют. Во многих случаях планирование и реализация проектов пользователями не могут быть отложены до тех пор, пока не накопится достаточное количество данных метеорологических и климатологических наблюдений; оценка используется для продолжения комплекта данных. Оценка также играет роль в управлении качеством, позволяя проводить сравнение данных наблюдений с соседними данными в пространстве и времени. Методы оценивания данных, главным образом, заключаются в применении статистических методов, но они должны также основываться на физических характеристиках изучаемой системы. Во всех случаях необходимо, чтобы значения, оцениваемые статистически, были реалистичными и находились в соответствии с физическими факторами.

Интерполяция использует данные, имеющиеся до и после отсутствующих значений (временная интерполяция) или окружающие отсутствующее значение (пространственная интерполяция), для того чтобы оценить отсутствующее значение. В некоторых случаях

оценка пропущенного значения может быть проведена с помощью простого действия, например путем расчёта среднего значений наблюдений по обеим сторонам пробела. Сложные методы оценки также используются, когда принимаются во внимание корреляции с другими элементами. Эти методы включают в себя средневзвешенные величины, сплайн-функции, линейные регрессии и кригинг. Они могут полагаться только на данные наблюдений за элементом или учитывать другую информацию, такую как выходные данные топографической или численной модели. Сплайн-функции могут использоваться, когда пространственные изменения являются регулярными. Линейная регрессия позволяет включать многие виды информации. Кригинг — это геостатистический метод, который требует оценки ковариаций изучаемого поля. Кокригинг вводит в уравнения кригинга информацию, полученную за счет другого независимого элемента.

Экстраполяция увеличивает диапазон значений имеющихся данных. Существует больше возможностей для погрешности при экстраполяции величин, потому что используются соотношения вне области значений, по которым эти соотношения были получены. Даже если эмпирические соотношения, найденные для заданного места или периода времени, кажутся правдоподобными, должна проявляться осторожность при их применении к другому месту или времени, поскольку лежащие в их основе физические процессы, зарегистрированные в одном месте и времени, могут быть не теми же самыми в другом месте и в другое время. Те же самые методы, используемые для интерполяции, могут быть использованы и для экстраполяции.

5.9.1 Методы математической оценки

Математические методы подразумевают использование только геометрических и полиномиальных характеристик совокупности значений точек для создания непрерывной поверхности. Примерами являются методы взвешивания инверсного расстояния и подбора кривой, например сплайн-функции. Методы являются точными интерполяторами; наблюдаемые значения сохраняются в месте, где они были измерены.

Взвешивание инверсного расстояния основано на расстоянии между местоположением, для которого значение должно быть интерполировано, и местоположениями пунктов наблюдений. В отличие от простого метода ближнего соседа (где выбирается наблюдение с ближайшей станции), взвешивание инверсных расстояний объединяет данные наблюдений с нескольких соседних станций. Веса присваиваются данным наблюдений в зависимости от расстояния до целевой позиции; близкорасположенные станции имеют больший вес, чем более отдаленные. Часто используется пороговый критерий либо для ограничения расстояния до точек наблюдений, либо для ограничения числа рассматриваемых наблюдений. Часто используется взвешивание инверсных квадратов расстояний для придания даже большего веса ближе всего расположенным пунктам. Никакие физические доводы не используются при этом методе; предполагается, что чем ближе местоположение наблюдений к местоположению, где оцениваются данные, тем лучше оценка. Следует тщательно проверить правильность этого предположения, поскольку может не существовать никаких неотъемлемых метеорологических или климатологических причин для оправдания этого предположения.

Подбор сплайна страдает от того же ограничения, что и взвешивание инверсного расстояния. Поле, получаемое в результате подбора сплайна, предполагает, что физические процессы могут быть представлены математическим сплайном; редко существует внутренняя мотивация этого предположения. Оба метода лучше всего работают на гладких поверхностях, поэтому они могут в результате не дать адекватного представления на поверхности, имеющей заметные флуктуации.

5.9.2 Оценка на основе физических соотношений

Физическая совместимость, существующая между различными элементами, может быть использована для оценки. Например, если необходимо оценить отсутствующие

значения измерений глобальной радиации, такие элементы, как продолжительность солнечного сияния и облачность, могли бы быть использованы для оценки недостающего значения. Косвенные данные могут быть также использованы для оценки в качестве подтверждающей информации. Когда сравниваются значения, полученные одновременно на двух станциях, расположенных близко друг от друга, иногда либо разница, либо результат деления этих значений является приблизительно постоянной величиной. Это чаще верно для сводных данных (за месяцы или годы), чем для данных за более короткие отрезки времени (например, суточные данные). Постоянная величина разницы или соотношение может использоваться для оценки данных. При использовании этих методов сравниваемые ряды следует адекватно скоррелировать, для того чтобы сравнение имело смысл. Впрочем, выбор метода должен зависеть от временной структуры двух рядов. Разностный метод можно использовать, когда изменчивость метеорологического или климатологического элемента от станции к станции относительно одинакова. Метод соотношений может применяться, когда временная изменчивость двух рядов неодинаковая, но, тем не менее, пропорциональная (обычно это относится к рядам, имеющим нижнюю нулевую границу, как, например, в случае с атмосферными осадками или скоростью ветра). В случае, если эти условия не выполняются, особенно когда дисперсии рядов на двух станциях не одинаковы, применять эти методы не следует. Более сложные методы, связанные с физической совместимостью, включают в себя регрессию, дискриминантный анализ (в отношении наличия явлений) и анализ главных компонент.

Детерминистские методы основываются на известном соотношении между значением данных наблюдений *in situ* (прогнозируемый элемент) и значениями других элементов (предикторы). Это соотношение часто основано на эмпирических знаниях о прогнозируемом элементе и предикторе. Эмпирическое соотношение можно найти с помощью физического или статистического анализа, и оно зачастую представляет собой комбинацию, в которой статистическое соотношение происходит из значений, основанных на знании физического процесса. Для установления такого соотношения часто используются статистические методы, например регрессия. Детерминистский подход стационарен во времени и пространстве и поэтому должен рассматриваться как глобальный метод, отражающий свойства всей выборки. Предикторами могут являться другие наблюдаемые элементы или другие географические параметры, такие как высота над уровнем моря, уклон или расстояние до моря.

5.9.3 Методы пространственной оценки

Пространственная интерполяция является процедурой оценки значений характеристик в местах, не вошедших в выборку в пределах района, охваченного существующими данными наблюдений. Логическое обоснование, лежащее в основе интерполяции, заключается в том, что в местах наблюдений, расположенных близко друг от друга в пространстве, с большей вероятностью отмечаются подобные значения, чем в местах, расположенных на большом расстоянии друг от друга (пространственная когерентность). Все методы пространственной интерполяции основаны на теоретических соображениях, предположениях и условиях, которые обязательно должны выполняться, для того чтобы метод использовался надлежащим образом. Поэтому при выборе алгоритма пространственной интерполяции должны рассматриваться цели интерполяции, характеристики интерполируемого явления и ограничивающие условия для этого метода.

Стохастические методы для пространственной интерполяции часто рассматриваются как геостатистические методы. У этих методов есть одно общее свойство, заключающееся в том, что они используют функцию пространственного соотношения для описания корреляции между значениями в различных местах наблюдений как функцию расстояния. Сама по себе интерполяция тесно связана с регрессией. Эти методы требуют, чтобы выполнялись определенные статистические допущения, как например, процесс следует нормальному распределению, он стационарен в пространстве или постоянен во всех направлениях.

Несмотря на то, что кригинг не значительно лучше, чем другие методы, он представляет собой метод пространственной интерполяции, который часто используется для

интерполяции таких элементов, как температура воздуха и почвы, атмосферные осадки, загрязнители воздуха, солнечная радиация и ветер. Основой метода служит интенсивность, с которой разница между точками изменяется в пространстве; она отражается на вариограмме. Вариограмма показывает, как средняя разница между значениями в точках изменяется с расстоянием и направлением между точками. При построении вариограммы необходимо сделать некоторые допущения в отношении природы наблюдаемых изменений на поверхности. Некоторые из этих допущений связаны с постоянством средних значений по всей поверхности, существованием лежащих в основе трендов, случайностью и независимостью изменений. Целью является увязывание всех изменений с расстоянием. Соотношение между вариограммой и физическими процессами может быть обеспечено путем выбора подходящей модели вариограммы (например, сферическая, экспоненциальная, гауссова или линейная).

Некоторые существующие проблемы с кригингом связаны с интенсивностью вычислений для больших комплектов данных, сложностью проведения оценки вариограммы и важными допущениями, которые обязательно должны быть сделаны в отношении статистической природы изменений. Эта последняя проблема — самая важная. Несмотря на то, что многие варианты кригинга предоставляют гибкость, этот метод изначально был разработан для применений, в которых расстояние между точками наблюдений обычно было небольшим. В случае с климатологическими данными расстояния между точками наблюдений обычно большие, и часто допущение о плавно изменяющихся полях между точками наблюдений не отражает действительности. В этих случаях могут также быть изучены альтернативные подходы, например, интерполяция с помощью климатологии (CAI).

Поскольку метеорологические и климатологические поля, такие как атмосферные осадки, сильно подвержены влиянию топографии, некоторые методы, например Analysis Using Relief for Hydrometeorology (Анализ с использованием топографии местности для гидрометеорологии, AURELHY) и Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model (параметрические высотные регрессии по независимой модели уклонов, PRISM), включают топографию в интерполяцию климатических данных путем объединения результатов анализа главных компонент, линейной множественной регрессии и кригинга. В зависимости от использованного метода, топография описывается высотой места над уровнем моря, уклоном и направлением уклона, обычно усредненным по какому-либо району. Топографические характеристики обычно имеют более высокое пространственное разрешение, чем климатические данные.

Среди большинства усовершенствованных и основанных на физических принципах методов существуют и такие, которые содержат описание динамических характеристик климатической системы. Подобные модели ежедневно используются при прогнозировании погоды и моделировании климата (см. 6.3). По мере увеличения производительности компьютеров и ёмкости запоминающих устройств, которые все быстрее обновляются, эти модели используются все шире в мониторинге климата, особенно для оценки значений климатических элементов в районах, удаленных от мест фактического производства наблюдений (см. 6.2.4 по реанализу).

5.9.4 Оценка временных рядов

Временные ряды часто имеют отсутствующие данные, которые необходимо оценить, или значения, которые обязательно должны быть оценены в масштабах времени, более детальных, чем значения, полученные в результате наблюдений. Одно или всего несколько наблюдений могут быть оценены лучше, чем продолжительный период последовательно отсутствующих наблюдений. Как общее правило, чем больше период, подлежащий оценке, тем меньше становится достоверность в отношении этих оценок.

Для анализа данных по одной станции одно или два последовательно пропущенных значения обычно оцениваются с помощью простой линейной, полиномиальной или сплайновой аппроксимации, которые подбираются по данным наблюдений, проведенных до и после оцениваемого периода. При этом предполагается, что условия в пределах

этого оцениваемого периода подобны условиям до и после оцениваемого периода; обязательно нужно удостовериться, что это предположение верно. Примером нарушения этого предположения при оценке ежечасных температур является прохождение четко выраженного холодного фронта в течение оцениваемого периода. Оценка значений за более длительные периоды обычно осуществляется с помощью методов анализа временных рядов (см. 5.5), применяемых для части ряда, не имеющего пропущенных данных. Затем модель для анализа фактически существующих значений применяется для этих пропусков. Как и в случае пространственной интерполяции, следует осуществить проверку достоверности временной интерполяции, для того чтобы убедиться в том, что оцененные значения правдоподобны. Для оценки правдоподобности полезно использовать метаданные или другую дополнительную информацию.

В региональном или локальном масштабах разработан ряд средств, включающий стохастические генераторы погоды, которые используют статистические характеристики наблюдаемых временных рядов метеорологических данных для моделирования временных рядов метеорологических данных с целью заполнения и оценки метеорологических переменных в районах с недостаточным охватом данными.

5.9.5 Валидация

Любая оценка основывается на несущей структуре или физических доводах. Поэтому очень важно проверить выполнение допущений, сделанных при применении оценочной модели. Если они не выполнены, то полученные в результате оценки значения могут давать погрешность, которая может быть серьезной и привести к неправильным выводам. В климатологическом анализе допущения модели часто не выполняются. Например, в пространственном анализе интерполяция между далеко отстоящими друг от друга станциями означает, что климатологические закономерности между станциями известны и могут быть смоделированы. На самом деле многие факторы (например, топография, местные особенности или наличие водных объектов) влияют на климат региона. Если эти факторы надлежащим образом не включены в пространственную модель, то интерполированные значения, вероятно, будут иметь погрешность. Во временном анализе интерполяция на большом интервале пропущенных данных подразумевает, что значения, представляющие условия до и после пропуска, могут использоваться для оценки значений в пределах этого пропуска. На практике чем больше изменчивость метеорологических условий в месте наблюдений, тем меньше вероятность того, что это допущение будет выполнено, и, соответственно, значения, полученные в результате интерполяции, могут быть недостоверными.

Серьезность любой погрешности интерполяции связана с использованием данных. Выводы и суждения, основанные на требованиях к микромасштабным процессам и на подробной информации о локальном районе, будут значительно больше подвержены погрешностям, чем выводы и суждения, основанные на макромасштабных процессах и общей информации для большого района. При оценке данных следует тщательно рассмотреть чувствительность результатов к использованию этих данных.

Валидация обязательна всегда, когда производится оценивание. Валидация по частям является простым и эффективным методом. Большая часть комплекта данных используется для разработки процедур оценки и один, меньший по размеру, подкомплект из этого комплекта данных, резервируется для опробования методологии. Данные из меньшего подкомплекта оцениваются по процедуре, разработанной на основе большей части данных, и значения, полученные в результате оценки, сравниваются с наблюдаемыми значениями. Перекрестная проверка является ещё одним простым и эффективным способом сравнения различных допущений либо в отношении моделей (например, типа вариограммы и её параметров или размера окрестностей кригинга) или в отношении данных, использующих только информацию, имеющуюся в данной выборке комплекта данных. Перекрестная проверка достоверности осуществляется путем изъятия одного наблюдения из выборки данных и затем оценки этого изъяттого значения на основе оставшихся данных наблюдений. Этот процесс повторяется с изъятием различных наблюдений из выборки, и повторяется вновь и вновь с изъятием каждого наблюдения,

одного за другим. Остаточные погрешности между наблюдаемыми и оцененными значениями могут затем быть проанализированы статистически или могут быть нанесены на график для визуального изучения. Перекрестная проверка достоверности обеспечивает количественное понимание того, как работает любой метод оценки. Анализ пространственного расположения остаточных погрешностей часто дает возможность дальнейшего улучшения оценочной модели.

5.10 АНАЛИЗ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Решение многих практических проблем в климатологии требует знаний о поведении экстремальных значений некоторых климатологических элементов. Это особенно относится к инженерному проектированию сооружений, чувствительных к высоким или низким значениям метеорологических или климатических явлений. Например, большое количество атмосферных осадков и обусловленный этим объем стока влияют на канализационные сети, дамбы, водохранилища и мосты. Большая скорость ветра повышает нагрузку на здания, мосты, краны, деревья и линии электропередачи. Сильные снегопады требуют строить крыши так, чтобы они могли выдерживать дополнительный вес. Органы государственной власти или страховые компании могут захотеть определить пороговые величины, превышение которых дает основание считать ущерб в результате экстремальных условий требующим оказания материальной помощи.

Критерии проектирования часто выражены таким показателем, как период повторяемости, который является средним интервалом времени между двумя регистрациями значений, равных заданному значению или превышающих его. Концепция периода повторяемости используется для того, чтобы избежать применения высоких коэффициентов запаса прочности, что обходится очень дорого, а также и для предотвращения большого ущерба оборудованию и сооружениям от экстремальных явлений, которые могут возникнуть в течение срока службы оборудования и сооружений. Поскольку оборудование может сохраняться в течение многих лет или даже столетий, точная оценка периода повторяемости может быть решающим фактором при их проектировании. Критерии проектирования могут также быть описаны числом ожидаемых возникновений явлений, превышающим установленную пороговую величину.

5.10.1 Подход с учетом периода повторяемости

Классические подходы к анализу экстремальных значений описывают поведение выборки экстремальных значений с помощью вероятностного распределения, которое достаточно хорошо подобрано под наблюдаемое распределение. Распределения экстремальных значений предполагают допущения, такие как стационарность и независимость значений данных. Три широко известные распределения экстремальных значений — это распределения Гумбеля, Фреше и Вейбулла. Обобщенное распределение экстремальных значений (GEV) объединяет эти три распределения в одной формулировке, которая характеризуется параметром формы модели.

Данные, которые моделируются распределением экстремальных значений, представляют собой максимумы (или минимумы) значений, зарегистрированных за конкретный интервал времени. Например, если суточные температуры регистрируются на протяжении многих лет, комплект годовых максимумов мог бы быть представлен распределением экстремальных значений. Построение и адекватное представление комплекта максимумов или минимумов из подинтервалов всего комплекта данных требует большого комплекта данных, что может являться сильным ограничением, если выборка данных охватывает ограниченный период. Альтернативой является выбор значений за пределами заданных пороговых величин, также известный как ряд частичной обеспеченности. Обобщенное распределение повторяемости Парето обычно подходит для подбора данных за пределами пороговых величин. Также могут использоваться такие методики подбора, как максимальная вероятность и L-моменты.

Как только распределение подобрано для комплекта данных экстремальных значений, рассчитываются периоды повторяемости. Период повторяемости представляет собой среднюю повторяемость, с которой значение, как ожидается, будет оказываться равным или превышать его (например, раз в 20 лет). Несмотря на то, что продолжительные периоды повторяемости регистрации значения могут быть рассчитаны математически, достоверность полученных результатов может быть минимальной. Как общее правило, достоверность периода повторяемости быстро уменьшается, когда период более чем примерно в два раза превышает продолжительность исходного комплекта данных.

Экстремальные климатические явления могут иметь значительные последствия как для природных, так и для созданных человеком систем, поэтому важно знать, изменяются ли и как изменяются экстремальные значения климатических величин. Некоторые виды инфраструктуры в настоящее время имеют небольшой запас прочности для амортизации воздействий, связанных с изменением климата. Например, в мире есть много поселений в низменных прибрежных зонах, которые подвержены риску затопления в результате повышения уровня моря. Стратегии адаптации к экстремальным явлениям нестабильного климата должны учитывать изменения климата в масштабе десятилетий, наблюдавшиеся в недавнем прошлом, а также будущие изменения, проецируемые с помощью климатических моделей. Были разработаны новые статистические модели, такие как нестационарное обобщенное экстремальное значение, для того чтобы попытаться преодолеть некоторые ограничения более традиционных распределений. По мере того как модели будут продолжать развиваться и их характеристики будут становиться более понятными, они, вероятно, заменят обычные подходы к проведению анализа экстремальных явлений. В публикации *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation* (Руководящие положения по анализу экстремальных явлений в условиях изменяющегося климата в поддержку обоснованных решений для целей адаптации) (WMO/TD-No. 1500) представлено более глубокое понимание того, как следует учитывать изменяющийся климат при определении и оценке экстремальных явлений.

5.10.2 Вероятный максимум осадков

Вероятный максимум осадков определяется как теоретически самый большой слой осадков за определенную продолжительность, который физически возможен в штормовой зоне определенного размера в конкретных географических условиях в определенное время года. Он широко используется при проектировании плотин и других больших гидравлических систем, для которых очень редкое явление может иметь катастрофические последствия.

Оценка вероятного максимума осадков обычно основывается на эвристических методах, включая следующие шаги:

- a) использование концептуальной модели шторма для представления процессов выпадения осадков по показателям физических элементов, таких как точка росы в приземном слое, высота штормовой ячейки, приток и отток;
- b) калибровка модели с использованием данных наблюдений за вертикальной протяженностью шторма и сопутствующей атмосферной влаги;
- c) использование откалиброванной модели для оценки того, что могло бы произойти при максимуме наблюденной атмосферной влаги;
- d) пересчет наблюденных характеристик шторма из района проведения измерений для места, где требуется оценка, с учетом влияния топографии, континентальности климата и соответствующих неметеорологических и неклиматологических условий.

5.11 РОБАСТНАЯ СТАТИСТИКА

Робастная статистика обеспечивает оценки, которые не слишком подвержены влиянию небольших отклонений от допущений модели. Статистические выводы основаны на наблюдениях, а также на допущениях базовых моделей (такие, как случайность, независимость и подбор модели). Часто климатологические данные нарушают многие из этих допущений из-за временной и пространственной зависимости данных наблюдений, неоднородности данных, погрешностей в данных и других факторов.

При оценке достоверности выводов воздействие допущений на результаты анализа следует определять, по-возможности, в количественных характеристиках и, в крайних случаях, в качественных характеристиках. Цель анализа также важна. Общие выводы, основанные на крупномасштабных по времени и пространству процессах с большим количеством усреднений и на большом комплекте данных, часто менее чувствительны к отклонениям от допущений, чем более конкретные выводы. Методы робастной статистики часто используются для регрессии.

Если результаты чувствительны к нарушениям допущений, то исследователь должен отмечать этот факт в результатах, распространяемых среди пользователей. Можно также проводить анализ данных, используя другие методы, которые не так чувствительны к отклонениям от допущений или которые не делают никаких допущений в отношении факторов, вызывающих проблемы чувствительности. Поскольку параметрические методы предполагают больше условий, чем непараметрические методы, можно проводить повторный анализ данных с применением непараметрических методов. Например, использование медианы и межквартильного размаха вместо средних величин и стандартного отклонения уменьшает чувствительность к выбросам или грубым погрешностям в данных наблюдений.

5.12 ПАКЕТЫ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Поскольку большинство климатологических исследований и анализов основано на универсальных статистических методах, универсальные пакеты программ являются удобными средствами компьютерного программного обеспечения для климатологов. Несколько продуктов программного обеспечения для универсального анализа доступны на различных компьютерных платформах.

Пакеты программ обработки статистических данных предлагают многочисленные средства для управления данными, аналитических исследований и подготовки отчетности. Выбранный пакет программ должен иметь все потенциальные возможности, необходимые для управления, обработки и анализа данных, но он не должен быть отягощен ненужными средствами, которые ведут к неэффективности. Некоторые из основных средств часто входят в Систему управления климатическими данными (см. главу 3).

Основные средства управления данными предоставляют большое разнообразие операций, с помощью которых готовятся данные удобными для обработки и анализа. Эти операции включают в себя сортировку данных, пополнение данных, разделение данных на поднаборы, преобразование матриц, арифметические вычисления и слияние данных. Основные средства статистической обработки данных включают расчёт описательных статистических характеристик выборки, коэффициентов корреляции, таблиц повторяемости и проверку гипотезы. Обычно аналитические средства охватывают многие потребности, связанные с проведением климатического анализа, такие как дисперсионный анализ, регрессионный анализ, дискриминантный анализ, кластерный анализ, многомерный анализ и анализ временных рядов. Вычисленные результаты анализов, как правило, помещаются в итоговые комплекты данных и могут быть сохранены, экспортированы и трансформированы и, таким образом, использованы для дальнейшего анализа и обработки.

Статистические данные включают в себя графические средства для создания двухмерной и трехмерной графики, редактирования графиков и их сохранения в специальных форматах пакетов программ обработки статистических данных или в стандартных графических форматах. Большинство пакетов программ могут создавать графики рассеяния (двухмерные и трехмерные); пузырьковые диаграммы; линейные, ступенчатые и интерполированные (сглаженные) графики; вертикальную, горизонтальную и круговую диаграммы; диаграммы вида «ящик с усами» и график трехмерной поверхности, включая построение контура поверхности. Некоторые пакеты программ содержат средства для отображения значений некоторых элементов на карте, но их не следует рассматривать в качестве замены Географической информационной системы (ГИС). Географическая информационная система соединяет в себе аппаратные средства, программное обеспечение и данные для сбора, управления, анализа и отображения всех форм информации с географической привязкой. Некоторые программы ГИС содержат возможности проведения географической интерполяции, например методы кокригинга и географически взвешенной регрессии.

Средства интерактивного анализа объединяют в себе мощность статистического анализа и возможность визуально контролировать условия любого конкретного статистического анализа. Средства позволяют визуально отобрать значения для их включения или исключения из анализа и пересчитать заново на основе этих отборов значений. Такая гибкость полезна при расчете тренда, когда ряд климатических данных содержит выбросы и другие сомнительные точки. Эти точки в диалоговом режиме могут быть исключены из анализа, основываясь на графике ряда данных, и тренды статистических характеристик могут быть пересчитаны автоматически. Обычно имеются дополнительные возможности для анализа и отображения подгрупп данных.

5.13 ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ДАННЫХ

Извлечение информации из данных представляет собой аналитический процесс, предназначенный для изучения больших объемов данных (большие данные) с целью поиска закономерностей или систематических взаимосвязей между элементами и последующей валидации полученных результатов путем применения обнаруженных закономерностей к новым подкомплексам данных. Этот процесс часто рассматривается как сочетание статистических методов, искусственного интеллекта и исследований базы данных. Он быстро развивается в крупную область, в которой появляются важные теоретические и практические достижения. Извлечение информации из данных полностью применимо к решению климатологических проблем, когда объем данных является достаточно большим, а способы поиска существенных взаимосвязей между климатическими элементами могут быть не очевидны, особенно на ранних стадиях анализа.

Извлечение информации из данных похоже на разведочный анализ данных, который также ориентирован на поиск взаимосвязей между элементами в ситуациях, когда возможные взаимосвязи неясны. Извлечение информации из данных не имеет отношения к выявлению конкретных соотношений между изучаемыми элементами. На самом деле целью его является получение решения, которое может быть источником применимых предсказаний. Для извлечения информации из данных применяется метод «черного ящика», предназначенный для изучения данных или обнаружения знаний, и используются не только традиционные методологии разведочного анализа данных, но и такие методологии, как нейронные сети, которые могут генерировать правильные предсказания, но которые не в состоянии определить особую природу взаимоотношений между элементами, на которых основываются предсказания.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 1994: *Руководство по применениям морской климатологии* (BMO-№ 781). Женева.
- World Meteorological Organization, 1966: *Some Methods in Climatological Analysis* (WMO/TN-No. 81, WMO-No. 199). Geneva.
- , 1990: *On the Statistical Analysis of Series of Observations* (WMO/TN-No. 143, WMO-No. 415). Geneva.
- , 2003: *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization* (WCDMP-No. 53, WMO/TD-No. 1186). Geneva.
- , 2009: *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation* (WCDMP-No. 72, WMO/TD-No. 1500). Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Acharya, N., A. Frei, J. Chen, L. De Cristofaro and E.M. Owens, 2017: Evaluating Stochastic Precipitation Generators for Climate Change Impact Studies of New York City's Primary Water Supply. *Journal of Hydrometeorology*, 18 (3):879–896, doi:10.1175/JHM-D-16-0169.1.
- Ailliot, P., D. Allard, V. Monbet and P. Naveau, 2015: Stochastic weather generators: an overview of weather type models. *Journal de la Société Française de Statistique*, 156 (1):101–113.
- Alexandersson, H., 1986: A homogeneity test applied to precipitation data. *International Journal of Climatology*, 6:661–675.
- Angel, J.R., W.R. Easterling and S.W. Kirtsch, 1993: Towards defining appropriate averaging periods for climate normals. *Climatological Bulletin*, 27:29–44.
- Beljaars, A.C.M., L. van de Berg, J. Bidlot, N. Bormann, S. Caires, F. Chevallier, A. Dethof, M. Dragosavac, M. Fisher, M. Fuentes, S. Hagemann, E. Hólm, B.J. Hoskins, L. Isaksen, P.A.E.M. Janssen, R. Jenne, A.P. McNally, J.-F. Mahfouf, J.-J. Morcrette, N.A. Rayner, R.W. Saunders, P. Simon, A. Sterl, K.E. Trenberth, A. Untch, D. Vasiljevic, P. Viterbo and J. Woollen, 2005: The ERA-40 reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131:2961–3012.
- Bénichou, P. and O. Le Breton, 1987: Prise en compte de la topographie pour la cartographie des champs pluviométriques statistiques. *La Météorologie*, 7(19):23–34.
- Burrough, P.A., 1986: *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12. Oxford, Oxford University Press.
- Cook, E.R., K.R. Briffa and P.D. Jones, 1994: Spatial regression methods in dendroclimatology: A review and comparison of two techniques. *International Journal of Climatology*, 14:379–402.
- Daley, R., 1993: *Atmospheric Data Analysis*. New York, Cambridge University Press.
- Dalgaard, P., 2002: *Introductory Statistics with R*. New York, Springer.
- Daly, C., R.P. Neilson and D.L. Phillips, 1994: A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33:140–158.
- Della-Marta, P.M. and H. Wanner, 2006: Method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements. *Journal of Climate*, 19:4179–4197.
- Deutsch, C.V. and A.G. Journel, 1998: *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, second edition. Oxford, Oxford University Press.
- Dixon, K.W. and M.D. Shulman, 1984: A statistical evaluation of the predictive abilities of climatic averages. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23:1542–1552.
- Domonkos, P. and J. Coll, 2017: Homogenisation of temperature and precipitation time series with ACMANT3: method description and efficiency tests. *International Journal of Climatology*, 37(4):1910–1921.
- Donat, M.G., L.V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose, R.J.H. Dunn, K.M. Willett, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A.M.G. Klein Tank, A.C. Kruger, J. Marengo, T.C. Peterson, M. Renom, C. Oria Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, A.S. Elayah, S.S. Sekele, A.K. Srivastava, B. Trewin, C. Villarreal, L.A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang, S. Kitching, 2013: Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118:2098–2118, doi:10.1002/jgrd.50150.

- Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2008: *ArcGIS Geographical Information System*. Redlands.
- Fisher, R.A. and L.H.C. Tippett, 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 24:180–190.
- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A.M.G. Klein Tank and T. Peterson, 2002: Global changes in climatic extreme events during the second half of the 20th century. *Climate Research*, 19:193–21.
- Gabor, D., 1946: Theory of communication. *J. IEEE*, 93:429–457.
- Gandin, L., 1963: Objective Analysis of Meteorological Fields. Leningrad, Hydrometeoizdat, in Russian (English translation: Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, 1965).
- Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New, 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research*, 113: D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
- Heino, R., 1994: *Climate in Finland During the Period of Meteorological Observations*. Contributions, No. 12. Helsinki, Finnish Meteorological Institute.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1997: *An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report: IPCC Technical Paper II* (J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, D.J. Griggs and K. Maskell, eds.). Geneva.
- International ad hoc Detection and Attribution Group (IDAG), 2005: Detecting and attributing external influences on the climate system: A review of recent advances. *Journal of Climate*, 18:1291–1314.
- Jenkinson, A.F., 1955: The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81:158–171.
- Jones, P.D., S.C.B. Raper, B. Santer, B.S.G. Cherry, C. Goodess, P.M. Kelly, T.M.L. Wigley, R.S. Bradeley and H.F. Diaz, 1985: *A Grid Point Surface Air Temperature Data Set for the Northern Hemisphere*, DOE/EV/10098-2. Washington, DC, United States Department of Energy.
- Jones, P.D., E.B. Horton, C.K. Folland, M. Hulme and D.E. Parker, 1999: The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, 42:131–149.
- Jureckova, J. and J. Picek, 2006: *Robust Statistical Methods with R*. Boca Raton, Chapman and Hall/CRC.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deavan, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woolen, Y. Zhu, A. Leetmaa, R. Reynolds, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, R. Jenne and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77:437–471.
- Kaplan, A., Y. Kushnir, M. Cane and M. Blumenthal., 1997: Reduced space optimal analysis for historical datasets: 136 years of Atlantic sea surface temperatures. *Journal of Geophysical Research*, 102:27835–27860.
- Karl, T.R., C.N. Williams Jr and P.J. Young, 1986: A model to estimate the time of observation bias associated with monthly mean maximum, minimum, and mean temperatures for the United States. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25:145–160.
- Kharin, V.V. and F.W. Zwiers, 2005: Estimating extremes in transient climate change simulations. *Journal of Climate*, 18:1156–1173.
- Kohler, M.A., 1949: Double-mass analysis for testing the consistency of records for making adjustments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 30:188–189.
- Mann, M. E., 2004: On smoothing potentially non-stationary climate time series. *Geophysical Research Letters*, 31:L07214, doi:10.1029/2004GL019569.
- Mehan, S., T. Guo, M.W. Gitau, D.C. Flanagan, 2017: Comparative study of different stochastic weather generators for long-term climate data simulation. *Climate*, 5 (2), article No. 26, doi:10.3390/cli5020026.
- National Climatic Data Center (NCDC), 2006: *Second Workshop on Climate Data Homogenization*, National Climatic Data Center (Asheville, North Carolina, 28–30 March 2006). Jointly organized by the Climate Research Division, Environment Canada, and the National Climatic Data Center, NOAA.
- Palus, M. and D. Novotna, 2006: Quasi-biennial oscillations extracted from the monthly NAO index and temperature records are phase-synchronized. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 13:287–296.
- Peterson, T.C., D.R. Easterling, T.R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Boehm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O. Mestre, T. Szentimrey, J. Salinger, E.J. Forland, I. Hanssen-Bauer, H. Alexandersson, P. Jones, and D. Parker, 1998: Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology*, 18:1493–1517.
- Peterson, T.C., C. Folland, G. Gruza, W. Hogg, A. Mokssit and N. Plummer, 2001: *Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998–2001*. International CLIVAR Project Office (ICPO) Publication Series, 48. Southampton, United Kingdom.

- Peterson, T. C. et al., 2002: Recent changes in climate extremes in the Caribbean Region. *Journal of Geophysical Research*, 107(D21):4601.
- Philipp, A., P.M. Della-Marta, J. Jacobeit, D.R. Fereday, P.D. Jones, A. Moberg and H. Wanner, 2007: Long-term variability of daily North Atlantic–European pressure patterns since 1850 classified by simulated annealing clustering. *Journal of Climate*, 20:4065–4095.
- Ribeiro, S., J. Caineta and A. Costa, 2016: Review and discussion of homogenisation methods for climate data. *Physics and Chemistry of the Earth*, 94: 167-179.
- Ribeiro, S., J. Caineta, A.C. Costa, R. Henriques, 2017: GSIMCLI: A geostatistical procedure for the homogenisation of climatic time series. *International Journal of Climatology*, 37 (8):3452-3467.
- Schnase, J.L., T.J. Lee, C.A. Mattmann, C.S. Lynnes, L. Cinquini, P.M. Ramirez, A.F. Hart, D.N. Williams, D. Waliser, P. Rinsland, W.P. Webster, D.Q. Duffy, M.A. Mcinerney, G.S. Tamkin, G.L. Potter and L. Carrier, 2016: Big data challenges in climate science: Improving the next-generation cyberinfrastructure. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4 (3):10-22, doi:10.1109/MGRS.2015.2514192.
- Sen, P.K., 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379–1389.
- Sensoy, S., T.C. Peterson, L.V. Alexander and X. Zhang, 2007: Enhancing Middle East climate change monitoring and indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88:1249–1254.
- Shabbar, A. and A.G. Barnston, 1996: Skill of seasonal climate forecasts in Canada using canonical correlation analysis. *Monthly Weather Review*, 124(10):2370–2385.
- Torrence, C. and G.P. Compo, 1998: A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79:61–78.
- Ulbrich, U. and M. Christoph, 1999: A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics*, 15:551–559.
- Uppala, S.M., P.W. Kållberg, A.J. Simmons, U. Andrae, V. da Costa Bechtold, M. Fiorino, J.K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, G.A. Kelly, X. Li, K. Onogi, S. Saarinen, N. Sokka, R.P. Allan, E. Andersson, K. Arpe, M.A. Balmaseda, 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.
- von Storch, H. and F.W. Zwiers, 1999: *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Wackernagel, H., 1998: Kriging, cokriging and external drift. In: *Workshop on Dealing with Spatialisation* (B. Gozzini and M. Hims, eds.). Toulouse, European Union COST Action 79.
- Wahba, G. and J. Wendelberger, 1980: Some new mathematical methods for variational objective analysis using splines and cross-validation. *Monthly Weather Review*, 108:36–57.
- Wang, X.L. and V. R. Swail, 2001: Changes of extreme wave heights in Northern Hemisphere oceans and related atmospheric circulation regimes. *Journal of Climate*, 14:2204–2221.
- Wang, X.L., 2008: Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47:2423–2444.
- Wilks, D.S., 2002: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Second edition. New York, Academic Press.
- Willmott, C.J. and S. Robeson, 1995: Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air-temperature. *International Journal of Climatology*, 15 (2):221-229.
- Yozgatligil, C. and C. Yazici, 2016: Comparison of homogeneity tests for temperature using a simulation study. *International Journal of Climatology*, 36 (1):62-81, doi:10.1002/joc.4329.
- Yue, S., P. Pilon and G. Cavadias, 2002: Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*, 259:254–271.
- Zhang, X., E. Aguilar, S. Sensoy, H. Melkonyan, U. Tagiyeva, N. Ahmed, N. Kutaladze, F. Rahimzadeh, A. Taghipour, T.H. Hantosh, P. Albert, M. Semawi, M. Karam Ali, M. Halal Said Al-Shabibi, Z. Al-Oulan, Taha Zatari, I. Al Dean Khelet, S. Hammoud, M. Demircan, M. Eken, M. Adiguzel, L. Alexander, T. Peterson and Trevor Wallis, 2005: Trends in Middle East climate extremes indices during 1930–2003. *Journal of Geophysical Research*, 110:D22104, doi:10.1029/2005JD006181.

ГЛАВА 6. КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ И ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

6.1 ОБЩИЕ РУКОВОДЯЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Климатическая продукция представляет собой информационные пакеты, в которые входят данные, обобщения, таблицы, графики, карты, отчеты и анализы. На картах может быть показано пространственное распределение. Более сложная продукция, например климатические атласы или анализы, может объединять в себе несколько типов визуализации с описательным текстом. Это могут быть также базы данных с программными средствами, позволяющими пользователям в режиме онлайн производить статистические расчеты и визуализацию в соответствии с их собственными потребностями.

Продукция и данные, на которых она основывается, должны быть наивысшего качества, достижимого в пределах существующих временных ограничений для предоставления информации. Существует настоятельное и всевозрастающее требование, чтобы климатическая продукция предоставлялась как можно скорее после периода агрегации. Поддержание стандартов качества такой продукции является сложной задачей. Короткий промежуток времени между наблюдением и предоставлением продукции пользователю оставляет мало времени или отсутствие такового для осуществления управления качеством данных, кроме случаев, когда это можно делать автоматически. По крайней мере, какие-то основные проверки должны проводиться сразу, как только данные получены (см. главу 3). Пользователи должны быть предупреждены о возможных проблемах с данными, и поскольку эта продукция обычно доставляется автоматически, такие предупреждения следует включать в состав продукции. Надежная система обеспечения качества предоставит структуру, которая позволяет обрабатывать эту информацию вместе с данными.

Продукция, связанная с данными за прошлые периоды, должна быть более высокого качества, чем продукция, подготовленная с использованием самых последних данных. Все данные, составляющие ряды климатических данных, должны быть проверены на случайные и систематические ошибки, однородность, пространственную репрезентативность и пропуски во временном ряде. Для такой продукции, как климатические атласы или технические нормы, данные должны быть за стандартный базовый период (см. 4.8). Следует избегать частых пересмотров с использованием новых периодов регистрации данных. Если какая-либо составная часть данного вида продукции не является стабильной на протяжении большого периода времени, возникает необходимость в дополнительной информации, описывающей природу изменчивости или изменения.

Обычно ценность таблиц с историческими и статистическими климатологическими данными может быть повышена за счет включения вспомогательного текста, который помогает пользователю интерпретировать эти данные и акцентирует его внимание на более важных климатологических элементах. Во всех публикациях обязательно должна содержаться исчерпывающая информация и данные в отношении местоположения и высоты над уровнем моря станции наблюдений, однородности данных со всех станций, периодов использованных записей, примененных статистических или аналитических процедур.

Отображение продукции следует тщательно проверять, прежде чем она станет доступна для потенциальных пользователей. Например, климатические карты следует хорошо продумывать и тщательно подбирать цвета и масштабы, понятные надписи и условные обозначения того, что анализируется, указание периода регистрации данных и перечень ответственных организаций. Для облегчения сравнения карт следует соблюдать приемлемое единообразие (в отношении используемых цветов, компоновки и данных) между картами.

Рекомендуется проведение консультаций со всеми, кого касается обслуживание информацией об окружающей среде. Следует принимать во внимание замечания и предложения заинтересованных сторон при создании, доработке или прекращении производства продукции и обслуживания.

6.1.1 Периодические издания с климатологическими данными

К периодическим климатологическим изданиям относятся публикации, планируемые к подготовке и изданию на постоянной основе через установленные промежутки времени. Большинство периодических изданий с климатологическими данными выпускается на ежемесячной или ежегодной основе. Однако некоторые службы публикуют также периодические издания через другие интервалы времени, такие как неделя или сезон. Еженедельные или ежемесячные издания обычно выпускаются сразу после окончания рассматриваемого периода и обычно содержат последние данные, которые не подвергались процедурам контроля качества. Эти периодические издания содержат актуальные данные, которые могут быть очень важны для различных экономических, социальных и природоохранных секторов, и поэтому их публикация высоко ценится, даже если данные могут содержать незначительное количество погрешностей или упущений. Периодические издания с данными часто выпускаются на квартальной или сезонной основе для распространения обобщенных сезонных данных, таких как количество выпавшего за зиму снега, количество атмосферных осадков за вегетационный период, градусо-дни охлаждения воздуха за лето и градусо-дни за зимний период.

Большинство национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) выпускают ежемесячные бюллетени, содержащие данные с выборочных станций, расположенных в пределах определенных районов или областей или страны в целом. При выпуске через неделю или две после окончания каждого месяца эти периодические издания обычно содержат последние данные, которые, возможно, не подвергались полноценному контролю качества, но, если они были выпущены спустя месяц или более, все данные должны отвечать обычным стандартам контроля качества, касающимся исторических климатологических данных. Должны быть включены данные за каждый день о минимальной и максимальной температуре и общем количестве атмосферных осадков, а также, возможно, о температуре в определенные часы вместе с соответствующими значениями влажности. Данные о среднесуточной скорости ветра и преобладающих направлениях ветра, о продолжительности солнечного сияния или другие важные для определенного места данные (например, градусо-дни отопительного сезона, охлаждения воздуха и роста растений) также могут быть включены в издание. Месячные усредненные значения, экстремальные значения и другие статистические данные со всех станций также следует включать, когда они имеются.

Несмотря на то, что большинство ежемесячных бюллетеней содержит только приземные климатологические данные, некоторые НМГС включают в них выборку базовых данных с аэрологических станций или выпускают отдельные ежемесячные бюллетени с аэрологическими данными. В таких ежемесячных бюллетенях обычно публикуются среднесуточные и среднемесячные данные для стандартных изобарических поверхностей. Обычно данные включают высоту (в геопотенциальных метрах), температуру, влажность и скорость и направление ветра, полученные в результате одного или двух запусков зонда каждый день.

К наиболее полезным климатологическим публикациям относятся такие, в которых содержатся простые таблицы с месячными и годовыми значениями среднесуточной температуры и общего количества атмосферных осадков. Такие таблицы составляются НМГС и выпускаются в рукописном или электронном формате. Службам следует издавать, по крайней мере раз в десять лет, полный комплект статистических климатологических данных по выбранным репрезентативным станциям.

Периодические издания, спонсируемые ВМО, содержат данные, предоставленные Членами. Примером могут служить *Monthly Climatic Data for the World* (Месячные климатические данные по всему миру (данные со всех станций, выпускающих сводки

CLIMAT)), *World Weather Records* (Мировые данные о погоде (с отдельной станции, исторические, месячные и годовые значения давления на станции и на уровне моря, температуры и осадков)) и *Marine Climatological Summaries* (Морские климатологические сборники (месячные, годовые и декадные климатологические статистические данные и карты для океанов).

С 1993 года ВМО по линии Комиссии по климатологии и при сотрудничестве с Членами, также выпускает ежегодные заявления о состоянии глобального климата с целью предоставления достоверной научной информации о климате и его изменчивости.

Полезной ежемесячной публикацией, особенно в связи с явлением Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) и другими дальними климатическими корреляционными связями, является *Climate Diagnostics Bulletin* (Бюллетень диагностики климата), выпускаемый Центром предсказаний климата Национального управления США по исследованиям океанов и атмосферы (НУОА).

6.1.2 Разовые издания

В отличие от периодических изданий с климатическими данными, которые выпускаются по графику, разовые издания выпускаются по мере необходимости. Они издаются в форме, которая будет удобна для большинства пользователей в течение значительного времени, и эти издания не требуют частого обновления. Разовые издания предназначены для тех пользователей, которые нуждаются в информации при планировании капитальных вложений или проектировании оборудования и сооружений, которые должны служить в течение десятилетий и столетий; для широкого круга лиц с академическими или случайными интересами и для исследователей в области наук об атмосфере и океане. Они также предназначены для обобщения или объяснения непредвиденных явлений, например экстремальных погодных условий, и для описания важных предсказанных явлений, таких как сильное Эль-Ниньо, или предоставления последних данных о них. Содержание и формат специального разового издания должны отражать интересы и потребности пользователей, для которых оно издается.

Многолетние, непрерывные и однородные ряды данных представляют большую ценность для сравнительных климатологических исследований и для изучения климатических колебаний, трендов и изменений. Несколько НМГС опубликовали такие ряды по выбранным станциям, на которых методы наблюдений и окружающая среда вокруг станции остаются в сущности неизменными на протяжении длительных периодов времени. К наиболее распространенным и востребованным относятся ряды данных о температуре и атмосферных осадках, хотя данные о ветре, давлении, продолжительности солнечного сияния, облачности и других климатических элементах также могут быть опубликованы. Некоторые НМГС включают ряды исторических климатологических данных в ежегодники или другие ежегодно издаваемые бюллетени. Монографии по климату страны или какой-то области представляют большой интерес для широкого круга пользователей, и их следует периодически издавать и обновлять. Рекомендуется также, чтобы публикации и данные имелись в электронном формате для облегчения к ним доступа и обмена ими.

Сборник карт в виде атласа является ещё одной ценной разовой публикацией. Текстовые и цифровые сведения и надписи на климатических картах должны содержать точную информацию о нанесенном на карту элементе, о периоде регистрации данных, по которым была составлена карта или диаграмма, и указание числа станций, с которых данные были получены.

6.1.3 Стандартная продукция

Несмотря на то, что продукция, специально разработанная с учетом потребностей отдельных пользователей, может быть наилучшим вариантом для этих пользователей, обычно предпочтительнее разработать стандартный продукт, который может быть

интересен широкому кругу пользователей. Например, и для предприятий, деятельность которых связана с планированием и контролем энергопотребления, и для садоводов может быть полезна продукция с информацией о градусо-днях. Если содержание, формат и структура какого-либо вида продукции тщательно продуманы, то расходы на эту разработку могут быть распределены между многими пользователями. Такая стандартная продукция заполняет пробел между периодическими изданиями с климатическими данными и изданиями, специально подготовленными для отдельных пользователей. Стандартную продукцию следует разрабатывать на местах для удовлетворения потребностей групп пользователей.

Все чаще продукция запрашивается и доставляется с использованием Интернета. Интерфейс пользователя этих систем можно рассматривать как ещё один вид продукции в рамках климатического обслуживания, и стандартизация такого интерфейса может служить целям повышения качества и полезности такого вида продукции.

6.1.4 Специализированная продукция

Часто необходимо разработать продукцию, которая является специализированной и предназначена для отдельного пользователя или сектора. Конкретные требования одной группы пользователей не всегда совпадают с требованиями других групп, следовательно, возмещение расходов на публикацию продукции для общего доступа не гарантировано.

Такая прикладная климатологическая продукция специально изготавливается для удовлетворения потребностей конкретного пользователя или группы пользователей. Эта продукция служит мостом между полученными данными наблюдений и специальными требованиями пользователей; в ней данные наблюдений трансформируются в продукт с добавленной стоимостью для конкретных получателей. Для подготовки этой продукции применяется анализ данных и представление информации с акцентированием внимания на спецификациях, которые позволят пользователю извлечь оптимальную выгоду из применения этой информации. Обычно использование продукции обуславливает виды анализа и преобразования данных, которые необходимо выполнить, а также методы доставки продукции.

Поставщики климатического обслуживания должны быть в состоянии принять к исполнению запросы на специализированную продукцию и разработать эту продукцию таким образом, чтобы она была приемлемой для пользователей, что потребует применения всех профессиональных навыков по взаимодействию с пользователями и маркетинговых усилий, уже рассмотренных выше. Несмотря на то, что продукция может быть не опубликована для широкой публики, пользователи будут ожидать, как минимум, такого же уровня качества в отношении её содержания и представления.

Примером продукции, обусловленной применением, могут служить данные о суточных градусо-часах, предоставление которых продиктовано потребностью садовода в применении пестицидов для борьбы с заболеванием плодовых деревьев, а именно бактериальным ожогом. Когда для искомой местности имеются только данные о суточной максимальной и минимальной температуре, можно рассчитать градусо-дни по средним максимальным и минимальным значениям. Поскольку требуются градусо-часы, данные о которых отсутствуют, необходим анализ для установления взаимосвязей между градусо-днями, рассчитанными по данным, содержащим экстремальные значения суточной температуры, и градусо-часами. Обязательной оценке должны быть подвергнуты условия, для которых эти взаимосвязи имеют силу, и доля погрешности в этих взаимосвязях. После выявления взаимосвязей пользователю можно предоставить продукцию, содержащую градусо-часы, даже несмотря на то, что градусо-часы непосредственно не измерялись.

Другим примером является анализ паводка. Паводок представляет собой природное явление и варьирует по своему масштабу от стекания вод с пропитанных водой склонов холмов до выхода из берегов больших рек. Последствия паводков могут колебаться от затопленных полей и заблокированных дорог до обширных затоплений домов и объектов коммерческой недвижимости и иногда гибели людей. Оценки повторяемости

паводка требуются для планирования и экспертизы защитных сооружений от паводка; проектирования строений, например мостов, дренажных труб и водосбросных устройств водохранилищ; а также для подготовки карт с указанием риска возникновения паводков для планирования новых строительных объектов и в интересах страховщиков. Продукция, содержащая вероятностную оценку количества выпавших атмосферных осадков, является необходимым компонентом при подготовке оценок повторяемости паводков. Для подготовки информации о рисках, связанных с атмосферными осадками, требуется дополнительный статистический анализ (см. главу 5) данных о наблюдаемом количестве осадков, которые обычно содержатся в стандартных обзорах. Если итоговый анализ рисков окажется полезным для ряда различных пользователей, то выпуск общедоступной публикации может быть обоснованным.

6.1.5 **Продукция мониторинга климата**

Мониторинг изменчивости климата по всему миру является целью Всемирной программы климатических данных и мониторинга (ВПКДМ). Сохранение климатических данных и информации и обеспечение к ним доступа поставщиками климатического обслуживания содействуют достижению этой цели ВПКДМ. Для мониторинга и диагностики климата страны необходимо понимать нынешние климатические условия в стране как часть глобальной климатической системы. Помимо мониторинга местных климатических условий в национальных интересах и текущих эпизодов, связанных с отмечавшимися ранее закономерностями, поставщики климатического обслуживания должны рассматривать изменчивость климата на локальном уровне в более масштабном региональном и даже глобальном контексте.

Наблюдения за климатом и его мониторинг могут проводиться более чем одним учреждением в стране. Когда учреждение публикует данные наблюдений, результаты анализа и статистические данные, продукция обычно представлена в форматах, удобных для собственных целей этого учреждения. Вследствие этого продукция не обязательно может подходить для использования другими учреждениями. Кроме того, отдельным пользователям может быть не просто выбрать продукцию для их собственных потребностей среди видов продукции, подготавливаемых на основе данных мониторинга климата, которые распространяются различными учреждениями, или свести воедино несопоставимый комплект продукции, чтобы суметь понять всю климатическую систему. Для многих пользователей представляется также затруднительным понять связь между компонентами глобальной климатической системы и текущими климатическими условиями в их собственной стране. Таким образом, для поставщиков климатического обслуживания необходимо обрабатывать свои данные и результаты анализа и объединять их, когда это возможно, с материалами других учреждений в комплект продукции, которая может оперативно распространяться с упоминанием точки зрения каждого учреждения на текущие климатические условия.

Если необходимые данные отсутствуют в какой-либо стране, соответствующая НМГС должна получить региональные или глобальные данные и результаты анализа от иностранных или международных организаций и обработать эту информацию, приведя в форму, удобную для использования на национальном и местном уровнях. Однако НМГС следует дополнить эти результаты глобальных исследований своими собственными оценками связей между местными климатическими условиями и крупномасштабными климатическими полями. Деятельность по мониторингу требует, чтобы поставщики климатического обслуживания совершенствовали опыт проведения анализа состояния климата прошлого и настоящего и дальних корреляционных связей на глобальном и региональном уровнях, и предоставляли обобщенную информацию как пользователям из государственного, так и частного секторов. Хорошая продукция, основанная на результатах мониторинга климата, необходима для предсказания климата и обновления баз данных.

6.1.6 Индексы

Представление пользователю климатических режимов, отмечавшихся в прошлом, в простой и доступной для понимания форме часто можно осуществить с помощью индексов (см. 4.4.6). Климатические индексы широко используются с целью иллюстрации основных характеристик климата для предсказания климата и выявления изменения климата. Они могут применяться в отношении отдельных климатологических станций или описывать некоторые особенности климата в каком-то районе. Обычно индексы объединяют несколько элементов в характеристики, например, засухи, континентальности климата, фенологической фазы развития растений, градусо-дней отопительного сезона, крупномасштабных режимов циркуляции и дальних корреляционных связей. При предоставлении информации пользователям поставщикам климатического обслуживания часто необходимо разъяснять смысловое содержание значения индекса, изменений значений во времени и иногда процедуры вычислений. Примерами индексов могут служить: индекс Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК); индекс Североатлантического колебания; такие показатели, как индекс увлажнения, используемый для разработки стратегий планирования производства зерновых культур; агрометеорологические индексы, например индекс интенсивности засухи Палмера, индекс аридности и индекс листовой поверхности, которые используются для описания и мониторинга доступности влаги; и средний индекс муссонности, который суммирует области засухи и паводков. Создание и количественное определение индексов, связанных с выявлением изменения климата, климатической изменчивости и климатических экстремумов, являются непрерывно продолжающимися процессами, о чем говорится в публикации *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation* (Руководящие принципы по анализу экстремальных явлений в условиях изменяющегося климата в поддержку обоснованных решений в целях адаптации) (WMO/TD-No. 1500, WCDMP-No. 72).

6.2 ДАННЫЕ В УЗЛАХ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ

Продукцией данных в узлах координатной сетки являются значения приземных или аэрологических климатических переменных (например, температура воздуха, атмосферная влажность или температура поверхности моря) или индексов (например, количество дней с отрицательной минимальной температурой), размещенных в узлах регулярной координатной сетки с охватом в диапазоне от локального до регионального и глобального. В дополнение к масштабу охвата, разрешение данных в узлах сетки может варьироваться от совсем малого, величиной в несколько квадратных метров в случае комплектов данных для пригородных районов, до 200-300 км, которое наблюдается в комплектах данных глобального масштаба. Аналогичным образом, временное разрешение может варьироваться от менее, чем часового, до годового временного масштаба.

Поскольку данные в узлах регулярной сетки по сути своей являются альтернативой инструментальных измерений, вне зависимости от того, получены ли данные в узлах регулярной сетки в результате первоначальных наблюдений с использованием методов интерполяции (см. 5.9) или из выходных данных численных или статистических климатических моделей, они часто подвергаются проверке достоверности. Это достигается посредством сравнения с данными наблюдений приземных и аэрологических станций, которые находятся либо в конкретных узлах координатной сетки, либо вблизи от них.

В производстве комплектов климатических данных в узлах координатной сетки участвует целый ряд организаций, например, национальные или региональные климатические центры и университетские научно-исследовательские группы. Некоторые комплекты данных обновляются регулярно или периодически, другие являются статичными или содержат временные ряды или климатические переменные.

Комплекты данных в узлах координатной сетки облегчают пространственный анализ климатических переменных и статическую или динамическую визуализацию закономерностей и тенденций.

6.2.1 Комплекты данных в узлах координатной сетки на основе наблюдений

Разочарованность результатами климатологических анализов часто объясняется фрагментарностью данных как в пространстве, так и во времени ввиду неравномерного географического и временного распределения климатических наблюдений. За последнее десятилетие или около того не только системы повторного анализа открыли новые возможности для климатических анализов (см. 6.2.4), но и наличие основанных на наблюдениях комплектов данных в узлах координатной сетки помогло решить некоторые проблемы, вызываемые неполнотой данных наблюдений. Несмотря на то, что некоторые комплекты климатических данных в узлах координатной сетки основываются исключительно на данных приземных наблюдений, другие комплекты представляют собой сочетание данных наблюдений как с поверхности Земли, так и со спутниковых платформ. Как правило, комплекты данных в узлах координатной сетки состоят из величин, интерполированных со станций, для которых данные были откорректированы и гомогенизированы.

Некоторые примеры глобальных и региональных комплектов данных в узлах координатной сетки, основанных на наблюдениях, представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Примеры глобальных и региональных комплектов данных в узлах координатной сетки, основанных на наблюдениях

<i>Глобальный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Объединенный анализ осадков (СМАР) ^а Центра прогнозирования климата (ЦПК)	Месячные и пентадные глобальные средние данные об осадках в узлах координатной сетки	Месячные значения: январь 1979 г.— сентябрь 2017 г. Пентадные значения: январь 1979 г.— 27 декабря 2016 г. Долгосрочные месячные средние значения, рассчитанные по данным за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 2,5° по широте x 2,5° по долготе
Влажность почвы ЦПК ^а	Влажность почвы	Месячные средние значения: с января 1948 г. по август 2017 г. Долгосрочные месячные средние значения, полученные из данных за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 0,5° по широте x 0,5° по долготе

<i>Глобальный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
CRU TS v. 4.01 ^b	осадки, среднесут. темп., среднемес. макс. суточная темп., среднемес. мин. суточная темп., суточный диапазон температур, давление водяного пара, облачность, частота дней с дождем, частота дней с заморозками, потенциальная эвапотранспирация	Временной ряд 1901—2016 гг.	Все районы суши: 0,5° по широте x 0,5° по долготе
CRU CY v. 4.01 долготная глобальная сетка ^b	осадки, среднесут. темп., среднемес. макс. суточная темп., среднемес. мин. суточная темп., суточный диапазон температур, давление водяного пара, облачность, частота дней с дождем, частота дней с заморозками, потенциальная эвапотранспирация	Средние значения: 1901—2015 гг.	Страны
ГСИКД ^c Данные в узлах сетки об аномалиях осадков на суше (V2) и температуры (V3)	Месячные осадки и температура	Месячные аномалии: с 1900 г. по май 2015 г. (осадки) С 1880 г. по июль 2016 г. (температура) Месячные средние с 1900 г. по май 2015 г. (только осадки)	Глобальная сетка: 5,0° по широте x 5,0° по долготе
ГСИКД_СМКА ^d Температура на высоте 2 м (суша) в узлах сетки	Проанализированные глобальные приземные температуры	Месячные средние с 1948 г. по сентябрь 2017 г. Долгосрочные месячные средние с использованием данных за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 0,5° по широте x 0,5° по долготе
Глобальный центр климатологии осадков (ГЦКО) ^e	Комплект данных месячных осадков со станций	С 1901 г. по настоящее время Месячные значения: с января 1901 г. по 2013 г. (полные V7) Месячные значения: с января 2007 г. до почти текущего времени (мониторинг) Месячные значения: с января 2014 г. до почти текущего времени (начальное приближение)	Глобальная сетка: 0,5° по широте x 0,5° по долготе Глобальная сетка: 1,0° по широте x 1,0° по долготе Глобальная сетка: 2,5° по широте x 2,5° по долготе

<i>Глобальный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Интерполированная исходящая длинноволновая радиация НУОА (ИДР) ^a	Суточные и месячные данные ИДР в узлах координатной сетки	Месячные значения: июнь 1974 г.—декабрь 2013 г. Суточные значения: июнь 1974 г.—31 декабря 2013 г. Долгосрочные средние для месячных и суточных значений: 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 0,5° по широте x 2,5° по долготе
Расширенные данные ТПМ Каплана (температура поверхности моря) V2 ^a	Глобальные аномалии ТПМ в узлах сетки с 1856 г. по настоящее время, полученные из данных ТПМ Метеорологического бюро СК	Январь 1856 г.—сентябрь 2017 г.	Глобальная сетка: 5,0° по широте x 5,0° по долготе
Расширенные реконструированные данные ТПМ НУОА V3b ^a	Глобальные месячные анализы данных ТПМ с 1854 г. по настоящее время, полученные из Международного всеобъемлющего комплекта данных об океане и атмосфере (ИКОАДС), с отсутствующими данными, дополненными с использованием статистических методов	Месячные величины: январь 1854 г.—настоящее время Долгосрочные месячные средние значения, полученные из данных за 1971—2000 гг. Долгосрочные месячные средние значения, полученные из данных за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 2,0° по широте x 2,0° по долготе
Расширенные реконструированные данные ТПМ НУОА V5 ^a	Глобальные месячные анализы данных ТПМ с 1854 г. по настоящее время, полученные из ИКОАДС, с отсутствующими данными, дополненными с использованием статистических методов	Месячные величины: январь 1854 г.—настоящее время Долгосрочные месячные средние величины, полученные из данных за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 2,0° по широте x 2,0° по долготе
Глобальные объединенные анализы данных ЦПК о суточных осадках, основанные на показаниях осадкомеров	Глобальные объединенные анализы данных о суточных осадках, основанные на показаниях осадкомеров	Суточные величины: 1 января 1979 г.—настоящее время Долгосрочные средние и месячные значения за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 0,50° по широте x 0,50° по долготе
Глобальная суточная температура ЦПК ^a	Глобальная суточная приземная температура	Суточные значения: 1 января 1979 г.—настоящее время Долгосрочные средние суточные и месячные значения за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 0,50° по широте x 0,50° по долготе

<i>Глобальный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Оптимальная интерполяция (ОИ) данных ТПМ НУОА V2 ^a	Температура поверхности моря	Еженедельные средние: 29 октября 1981 г.—28 декабря 1989 г. Месячные средние: декабрь 1981 г.—сентябрь 2017 г. Долгосрочные месячные средние, полученные из данных за 1961—1990 гг. Долгосрочные месячные средние значения, полученные из данных за 1971—2000 гг.	Глобальная сетка: 1,0° по широте x 1,0° по долготе
Исходящая длинноволновая радиация — ежесуточная регистрация климатических данных НУОА (ИДР-ЕРКД): интерполированная версия (ОФН) ^a	Суточные интерполированные значения ИДР в узлах координатной сетки 1x1	Суточные значения: 1 января 1979 г.—12 января 2012 г. Месячные значения: 1 января 1979 г.—12 января 2012 г. Долгосрочные средние величины за 1981—2010 гг.	Глобальная сетка: 1,0° по широте x 1,0° по долготе

<i>Региональный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Канадские аномалии температуры и осадков в узлах координатной сетки (CANGRD) ^f	Аномалии температуры и осадков в узлах координатной сетки	Годовые, сезонные и месячные аномалии температуры и осадков: 1901—2003 гг.	Разрешение 10 км
Почасовые данные ЦПК США об осадках ^a	Осадки	Почасовые величины: январь 1948 г.—сентябрь 2002 гг.	Сетка США: 2,0° по широте x 2,5° по долготе (33x21) 20° с. ш.—60,0° с. ш., 220,0° в. д.—297,5° в. д.
Е (Европа) – комплект данных наблюдений в узлах координатной сетки V16 ^g	Средняя, минимальная и максимальная температура, сумма осадков и средний уровень моря	Суточные значения: 1 января 1950 г.—31 августа 2017 г.	0,25° и 0,5° регулярной широтно-долготной сетки, а также на сетке вращающегося полюса 0,22° и 0,44°
Климатология дождевых осадков Африка ARC2 ^h	Дождевые осадки	Суточные значения: с 1 января 1960 г., 12:00:00, предписано с 1 января 1983 г. по 1 ноября 2018 г.	От 20° з. д. до 55° в. д. с шагом 0,1°

<i>Региональный комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Южноамериканские суточные данные ОФН в узлах координатной сетки ^a	Осадки	Суточные значения: с января 1940 г. по апрель 2012 г.	Только районы суши: 60° ю. ш.—15° с. ш. 85° з. д.—30° з. д. Сетки с шагом 1,0° и 2,5°
Австралийские данные об изменчивости дождевых осадков в узлах координатной сетки ⁱ	Дождевые осадки	Трехмесячные и годовые индексы изменчивости дождевых осадков	Сетки с шагом 0,25°/25 км
Азиатские атмосферные осадки — интеграция наблюдаемых данных высокого разрешения с целью оценки водных ресурсов (APHRODITE) (APHRO_MA/ME/RU_V1101R1) ^j	Осадки	Суточные значения: 1951—2007 гг.	Варьируется в зависимости от вида продукции

- ^a Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), Лаборатория исследований системы Земля, Отдел физических наук (ОФН)
- ^b Отдел климатических исследований (ОКИ), Университет Восточной Англии
- ^c Глобальная сеть исторической климатологии (ГСИК), Национальный центр информации об окружающей среде НУОА
- ^d Система мониторинга климатических аномалий (СМКА)
- ^e Метеорологическая служба Германии
- ^f Министерство окружающей среды и изменения климата Канады
- ^g Проект по оценке климата в Европе и комплекту данных (ЕОК&Д)
- ^h Центр климатических предсказаний НУОА
- ⁱ Австралийское бюро метеорологии
- ^j Научно-исследовательский институт человечества и природы и Научно-исследовательский метеорологический институт Японского метеорологического агентства

6.2.2 Комплекты данных в узлах координатной сетки, основанные на климатических моделях

Существует целый спектр как численных, так и статистических моделей прошлого, настоящего и будущего климата в различных географических и временных масштабах, причем все они выдают продукцию в виде ассоциированных с ними данных в узлах координатной сетки. Несмотря на то, что сформированные моделями данные являются численным или статистическим представлением конкретных климатических условий, одно из преимуществ климатического моделирования состоит в широком разнообразии климатических переменных, превышающем набор переменных, наблюдаемых с помощью традиционных приборов, и которые можно получить в виде выходных данных моделей и, как следствие, в виде комплектов данных в узлах координатной сетки. Некоторые примеры комплектов данных в узлах координатной сетки, основанных на климатических моделях, приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2. Примеры глобальных и региональных комплектов данных в узлах координатной сетки, основанных на климатических моделях

<i>Комплект данных</i>	<i>Переменные</i>	<i>Временной охват</i>	<i>Пространственный охват</i>
Проект по сравнению совмещенных моделей 5 (ПССМ) ^a	Всеобъемлющий комплект приземных и аэрологических переменных, полученных по 62 климатическим моделям	Суточные, месячные, долгосрочные (в масштабе столетия) и краткосрочные (10-30 летние) моделирования климата	Глобальный, размер шага сетки от 1,5° до 3,5°
Скоординированный региональный эксперимент по даунскейлингу (КОРДЭКС) ^b	Всеобъемлющий комплект приземных и аэрологических переменных, полученных по 54 климатическим моделям	Трехчасовое, шестичасовое, суточное, месячное, долгосрочное (столетний временной масштаб) и краткосрочное (10-30 лет) климатическое моделирование	14 районов с размером сетки 50 км/0,5°

^a Программа диагностики и взаимных сравнений климатических моделей, Национальная лаборатория Лоуренса Ливермора, Ливермор, Калифорния, США

^b Шведский метеорологический и гидрологический институт, Норчепинг

6.2.3 Ретроспективные данные

Ретроспективное прогнозирование — это предсказание прошедшего явления, при котором в систему, используемую для прогнозирования, вводятся только наблюдения, предшествующие этому явлению (IPCC, 2013; МЕТЕОТЕРМ ВМО). Иногда ретроспективные прогнозы называют «повторными прогнозами», которые представляют собой стандартизованные комплекты данных, используемые для улучшения прогнозов погоды (см. Namill et al., 2006). Они являются ретроспективными прогнозами погоды, выпускаемыми с помощью той же самой версии модели численного прогноза погоды, которая используется для рассматриваемых оперативных прогнозов погоды. Последовательность ретроспективных прогнозов может использоваться для калибровки прогностической системы или являться мерой осредненного потенциала, которую прогностическая система продемонстрировала в прошлом, как руководство для определения эффективности, которой можно будет ожидать в будущем.

Качество прогноза (или предсказания) измеряется успешностью предсказания по отношению к информации на основе наблюдений. Прогнозы прошедших явлений, т. е. ретроспективные прогнозы, могут анализироваться с целью получения свидетельства о качестве, которого можно ожидать от будущих прогнозов конкретной переменной в конкретном месте. Важность ретроспективного прогноза как инструмента для улучшения знаний физических механизмов, приводящих в движение конкретные процессы, или для выявления систематических погрешностей в экспериментах по моделированию, иллюстрируется несколькими примерами.

В качестве примера применения этой методики Katragkou et al. (2015) представили шесть прогонов модели ретроспективного прогноза в целях исследования и прогнозирования погоды (ИПП) для применения в рамках Европейского скоординированного эксперимента по даунскейлингу (ЕВРО-КОРДЭКС) с различными конфигурациями в микрофизике, конвекции и радиации за временной период 1990—2008 гг. с целью выявить систематические погрешности и области крупных неопределенностей в нынешнем европейском климате и увязать их с конкретными физическими процессами (например, взаимодействие систем облако-радиация или земля-атмосфера).

Другое исследование Dake et al. (2004) представляет ретроспективные прогнозы межгодовых флуктуаций климата в тропической зоне Тихого океана за период 1857—2003 гг., используя сопряженную модель океан-атмосфера. Модель успешно предсказывает все выдающиеся явления Эль-Ниньо за этот период с заблаговременностью до двух лет. Эти результаты показывают, что эволюцию этого явления контролирует самодостаточная внутренняя динамика, а не стохастические вынуждающие воздействия.

Что касается применений, то ретроспективные исследования волновой энергии в конкретных прибрежных районах за короткие периоды помогают определить изменчивость и тенденции в этих районах, ведущие к описанию характеристик климата, что является важным средством для оценки волновой энергии.

6.2.4 Реанализ

В оперативном численном анализе и прогнозе погоды «анализ» обозначает процесс создания внутренне непротиворечивого представления состояния окружающей среды на четырехмерной сетке координат. Критический по времени характер прогноза погоды означает, что обычно анализ, задающий начальные условия, должен начинаться до поступления всех данных наблюдений. Для реанализа используется тот же самый процесс (и часто те же системы), но так как он выполняется спустя недели или даже годы, в нем может использоваться более полный комплект данных наблюдений. Обычно эти системы реанализа включают в себя прогностическую модель, которая предоставляет информацию о том, как меняется во времени окружающая среда, при одновременном сохранении внутренней непротиворечивости. В отличие от «анализа» в оперативном прогнозе погоды, в котором модели постоянно обновляются, чтобы включать в модель последние научно-исследовательские достижения, «реанализ» выполняется с помощью системы моделирования, заданной на весь период проведения реанализа, чтобы избежать неоднородностей, которые обычно существуют в комплекте оперативных данных наблюдений из-за различий в моделях, появляющихся со временем.

Результаты реанализа представлены на регулярной координатной сетке, где нет пропущенных данных. Важно отметить, что значения реанализа не являются «реальными» данными, а представляют собой оценки реальных данных на основе неравномерно распределенных данных наблюдений. Итогом является многолетний ряд наблюдений за состоянием атмосферной среды, для которого все данные были обработаны одинаково. Результаты реанализа часто используются вместо данных наблюдений, но это следует делать очень осторожно. Несмотря на то, что алгоритмы анализа успешно используют данные наблюдений при их наличии, в регионах, где недостаточно данных наблюдений, координатная сетка реанализа будет испытывать сильное влияние прогностической модели. В рамках проектов реанализа, когда охватываются десятилетия, обычно существует много неоднородностей в типе и охвате данными по всему интервалу времени, например различия между данными спутникового периода и периода спутниковых наблюдений. К тому же соответствующее влияние данных наблюдений и модели различается для разных климатических переменных; определенные переменные подвержены сильному влиянию со стороны использованных данных наблюдений, в то время как другие являются целиком производными от модели. Эти аспекты следует тщательно рассматривать при интерпретации продукции, содержащей данные реанализа. Например, реанализ динамических переменных дает значительно лучший результат по сравнению с реанализом атмосферных осадков, отчасти из-за того, что процессы, вызывающие осадки, недостаточно хорошо представлены в этих моделях.

Ограничения результатов реанализа наиболее очевидны в районах со сложными орографическими условиями (в частности, в горных районах), а также в других районах, когда схемы усвоения и обработки данных не в состоянии из-за сглаживания воспроизводить реальные атмосферные процессы с высокими пространственными и временными градиентами. К тому же, всё ещё остается вопрос локализации в более мелких пространственных и временных масштабах, чем это позволяет сетка реанализа. Прикладываются постоянные усилия по проведению «регионального реанализа» с использованием большего массива локальных данных наблюдений и применением

моделей более высокого разрешения для ограниченного района. Как и при любой другой методике проведения анализа, для правильной интерпретации результатов необходимы валидация моделей, обеспечение качества и индикаторы ошибок.

Для создания баз данных о состоянии окружающей среды, по которым можно лучше оценивать систематические изменения, используется информации, полученная не только благодаря атмосферным наукам, но также океанографии, гидрологии и результатам дистанционного зондирования. В настоящее время основными базами данных реанализа в глобальном масштабе являются базы данных Национального центра по атмосферным исследованиям и национальных центров по прогнозированию окружающей среды в США, Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды и Японского метеорологического агентства (таблица 6.3). Все эти результаты, полученные благодаря реанализу, нашли широкое применение в мониторинге климата, исследованиях климатической изменчивости и в предсказании изменения климата. Перед тем как использовать свои данные для дальнейших климатологических исследований, важно оценить относительную способность методик реанализа представить наблюдаемые особенности в заданном регионе. Более глубокое понимание физических, химических и биологических процессов, обуславливающих состояние окружающей среды, наряду с данными, получаемыми из различных источников, не имеющих отношения к атмосферным наукам, должны содействовать повышению качества баз данных реанализа. По мере того, как численные модели становятся все более совершенными, а компьютерные технологии позволяют получать более высокое разрешение модели, будет появляться все более достоверная и содержательная продукция реанализа.

Таблица 6.3. Глобальные и региональные системы реанализа

<i>Система реанализа</i>	<i>Происхождение</i>	<i>Период</i>	<i>Веб-сайт</i>
ASR ^a	Университет штата Огайо	2000—2012 гг.	https://rda.ucar.edu/datasets/ds631.1/
CFSR ^b	НУОА/НЦПСОС (СДАС-Т382) ^c	Январь 1979 г.—декабрь 2010 г.	http://cfs.ncep.noaa.gov/cfsr
CFSv2	НУОА/НЦПСОС (СДАС-Т574)	Январь 2011 г.—настоящее время	http://cfs.ncep.noaa.gov/
COSMO Региональный реанализ (Европа)	Центр Ханс-Эртель, Германская метеорологическая служба (DWD) Боннский университет	1995 г.— настоящее время	http://reanalysis.meteo.uni-bonn.de/?Overview
ERA-20Ca	ЕЦСПП ^d	Январь 1900 г.—декабрь 2010 г.	http://apps.ecmwf.int/datasets/
ERA-40	ЕЦСПП	Сентябрь 1957 г.—август 2002 г.	http://apps.ecmwf.int/datasets/
ERA-Interim	ЕЦСПП	Январь 1979 г.—настоящее время	http://apps.ecmwf.int/datasets/
JRA-25/JCDAS ^e	ЯМА ^f и КРИЕПИ ^g (JRA-25)	Январь 1979 г.—январь 2014 г.	https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html
JRA-55b ^h	ЯМА	Январь 1958 г.—настоящее время	http://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html
MERRA ⁱ	ГМАО НАСА ^j	Январь 1979 г.—февраль 2016 г.	https://gmao.gsfc.nasa.gov/merra/
MERRA-2c	ГМАО НАСА	Январь 1980 г.—настоящее время	https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/
NCEP-DOE ^k R2	Проект НЦПСОС/НУОА и АМИП ДОО ^l -II (R2)	Январь 1979 г.—настоящее время	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html

Система реанализа	Происхождение	Период	Веб-сайт
NCEP-NCAR ^m R1	НЦПСОС/НУОА и НКАР (R1)	Январь 1948 г. — настоящее время	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html
NCEP NARR ⁿ	НЦПСОС	1979 г. — настоящее время	http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/rrean/
NOAA-CIRES ^o 20CR v2d	НУОА и Университет Колорадо СИРЕС(20CR)	Ноябрь 1869 — декабрь 2012 г.	https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.20thC_ReanV2c.html

- ^a Реанализ арктической системы (ASR)
^b Реанализ системы прогноза климата (CFSR)
^c Национальное управление по исследованию океана и атмосферы (НУОА), Национальный центр прогнозов состояния окружающей среды (НЦПСОС), Система ассимиляции климатических данных (СДАС)
^d Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)
^e Японский проект 25-летнего реанализа (JRA-25)/Система ассимиляции климатических данных (JCDAS) Японского метеорологического агентства (ЯМА)
^f Японское метеорологическое агентство (ЯМА)
^g Центральный научно-исследовательский институт электроэнергетики (КРИЕПИ)
^h Японский 55-летний реанализ (JRA-55)
ⁱ Ретроспективный анализ современной эры для научных исследований и применений (MERRA)
^j Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), Бюро глобального моделирования и ассимиляции (ГМАО)
^k Министерство энергетики (DOE)
^l Проект взаимосравнений атмосферных моделей (АМИП)
^m Национальный центр атмосферных исследований (НКАР)
ⁿ Североамериканский региональный реанализ (NARR)
^o Объединенный институт исследований в области наук об окружающей среде (СИРЕС)

6.3 КЛИМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ КЛИМАТА

Климатическая система, ее поведение, ее компоненты и их взаимодействия, а также ее будущее возможное развитие и изменения могут быть смоделированы и исследованы с помощью климатических моделей. Разрабатываемые модели имеют все большее разрешение и степень сложности, особенно по мере того, как наши знания о климатической системе углубляются и расширяются, а в наличии имеются все более мощные и быстродействующие компьютеры. Модели могут использоваться для различных применений, включая климатические предсказания и климатические проекции после того, как представление ими некоторых элементов и процессов климатической системы будет изучено и продемонстрирует свою пригодность.

Ориентировочные прогнозы климата, представляющие собой ожидаемые усредненные или аккумулярованные значения климатических элементов за период в несколько месяцев или лет, производятся в результате анализа и интерпретации наблюдений и выходных данных климатических моделей.

Среди самых простых моделей, однако, имеются такие, которые основаны на эмпирических и статистических взаимосвязях между крупномасштабными полями (например, температуры поверхности моря, ветер) и приземными метеорологическими переменными (например, осадки, температура, скорость ветра). Самые сложные модели, глобальные климатические модели (ГКМ, см. 6.3.4) подвергают анализу и связывают вместе всю климатическую систему по всему земному шару и используются для моделирования климата будущего непосредственно или при определенных допущениях. Региональные климатические модели сконцентрированы на представлении климата в меньших пространственных масштабах для ограниченного района. Использование глобальных и/или региональных климатических моделей называют динамическим подходом. В некоторых случаях применяется гибридный подход (сочетание статистических и динамических методов). Этот метод использует взаимосвязи между выходными данными ГКМ и историческими данными. Поскольку численные прогнозы на основе ГКМ требуют значительных компьютерных мощностей, существует лишь

небольшое количество климатических центров, выпускающих оперативные численные прогнозы климата. Как правило, все эти модели широко используются для выпуска ориентировочных прогнозов климата.

6.3.1 **Продукция ориентировочных прогнозов климата**

Ориентировочные прогнозы климата представляют собой прогнозы значений климатических элементов, усредненных или аккумулярованных во временных масштабах от одного года до нескольких лет. Чаще всего используются сезонные прогнозы, и, как правило, они могут выпускаться с месячными интервалами. В ином случае некоторые прогнозы выпускаются для конкретных сезонов или с другими заранее определенными интервалами. Обычно прогноз климатических элементов состоит из усредненной приземной температуры воздуха и общего количества атмосферных осадков за определенный период. В некоторых центрах прогнозируются также количество дней с осадками, количество выпавшего снега, число случаев возникновения тропических циклонов, наступление и окончание сезонов муссонов.

Прогнозы температуры поверхности моря в тропических широтах могут рассматриваться в качестве продукции прогнозов климата, учитывая важность вынуждающего воздействия температуры поверхности моря (ТПМ) в тропических регионах. В частности, прогнозы ЭНЮК пользуются большим спросом и широко распространяются большинством глобальных центров, выпускающих долгосрочные прогнозы погоды (ГЦПДП), и другими международными учреждениями. В конечном итоге, элементы, частота выпуска и сроки действия прогноза могут варьироваться в зависимости от характеристик климатических условий конкретной страны или региона и, что особенно важно, должны быть увязаны с потребностью пользователей.

Всемирная метеорологическая организация сотрудничает со своими Членами в выпуске глобальных сезонных прогнозов климата, таких как обновленные данные о явлениях Эль-Ниньо/Ла-Нинья и информационные бюллетени по глобальному сезонному климату (ИБГСК). Обновленные данные о явлениях Эль-Ниньо/Ла-Нинья — это согласованный вид продукции, основанный на результатах работы всемирной сети прогностических центров, который предоставляет показатель фазы и интенсивности ЭНЮК. В ИБГСК кратко излагаются текущее состояние и будущее поведение сезонного климата в виде главных особенностей общей циркуляции и крупномасштабных океанических аномалий по всему земному шару, а также их вероятное воздействие на температуры континентального масштаба и характер атмосферных осадков. ИБГСК готовятся благодаря совместным усилиям, среди прочего, ведущих центров долгосрочного прогнозирования на базе мультимодельных ансамблей (ВЦ-ДПМА), ГЦПДП и Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА). Обновленные данные следует рассматривать как дополнительную информацию к более подробным региональным и национальным сезонным ориентировочным прогнозам климата, которые, например, выпускаются региональными форумами по ориентировочным прогнозам климата и НМГС.

Оперативное прогнозирование климата осуществляется НМГС, региональными климатическими центрами (РКЦ), ГЦПДП и другими международными учреждениями. В идеальной ситуации эти учреждения предоставляют свои прогнозы в соответствии с *Наставлением по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485). Глобальная система обработки данных и прогнозирования включает в себя мировые метеорологические центры, региональные специализированные метеорологические центры и НМГС, которые выполняют функции на глобальном, региональном и национальном уровнях (см. рисунок 6.1) Система представляет взаимодействия, которые можно было бы предвидеть при составлении прогноза: производится даунскейлинг продукции ориентировочных прогнозов климата от глобальных моделей климата до регионального масштаба, а затем до национального уровня. Некоторые НМГС выпускают прогнозы для своих стран на основе продукции из ГЦПДП, РКЦ и других международных учреждений.

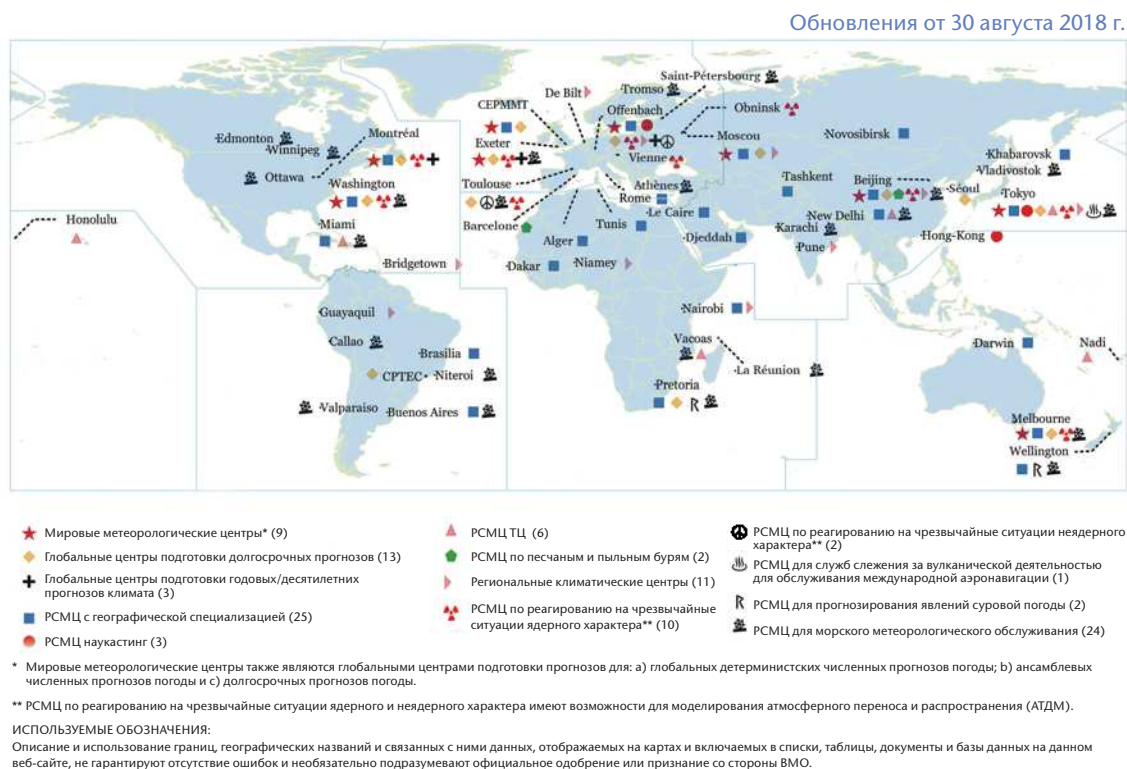


Рисунок 6.1. Центры Глобальной системы обработки данных и прогнозирования ВМО

Прогностическая продукция может напрямую предоставляться конкретным пользователям, и во многих случаях поставщикам климатического обслуживания необходимо разъяснять пользователю смысловое наполнение прогнозов (см. главу 7). Параллельно с этим региональные форумы по ориентировочным прогнозам климата совместно выпускают согласованные на основе консенсуса ориентировочные климатические прогнозы, используя входные данные (климатические предсказания) от национальных, региональных и международных экспертов по вопросам климата. Объединяя страны со сходными климатическими характеристиками, форумы обеспечивают единообразие в доступе к климатической информации и ее интерпретации. Помимо этого, посредством взаимодействия с пользователями в ключевых экономических секторах каждого региона, службами популяризации климатических знаний и политиками форумы оценивают вероятные последствия ориентировочных прогнозов для наиболее важных социально-экономических секторов в данном регионе и изучают пути доведения до них этих ориентировочных прогнозов. Для распространения прогнозов среди населения обычно используются средства массовой информации и сеть Интернет.

Всемирная программа исследований климата (ВПИК) имеет ряд проектов, имеющих целью поддержать ориентировочные прогнозы климата в различных временных масштабах. Например, Прогностический проект по субсезонному-сезонному прогнозированию (ПССП), начатый в 2013 году и направленный на изучение источников предсказуемости в субсезонном-сезонном временных масштабах. Проект по прогнозированию климата на период до 10 лет (ПДПК), который использует ГКМ для изучения многолетних и десятилетних предсказаний, был включен в работы по планированию экспериментов Проекта по сравнению совмещенных моделей (ПССМ). Один из его компонентов предусматривает текущую продукцию, анализ и распространение экспериментальных квазиоперативных мультимодельных прогнозов в качестве основы для производства оперативной прогностической продукции. Эта деятельность поддерживает реализацию главной задачи ВПИК в области короткопериодных прогнозов климата, которая была намечена для ликвидации существенного пробела в области предоставления бесшовной климатической информации и связана с сезонными-межгодовыми прогнозами климата, с одной стороны, и проекциями изменения климата в различных временных масштабах от десятилетних до

более долгосрочных, с другой. Эти усилия направлены на предоставление бесшовного климатического обслуживания, как рекомендовано Глобальной рамочной основой для климатического обслуживания (ГРОКО).

Неопределенность в климатическом прогнозировании неизбежна из-за хаотичной природы атмосферы, проблем с данными наблюдений (например, качество, продолжительность, плотность сети, доступ к метаданным и недостаточные выборки экстремальных явлений) и аппроксимаций прогностических моделей. Неопределенности могут также быть связаны с периодом заблаговременности, искомой переменной и временными и пространственными масштабами. В этом контексте детерминистские прогнозы, как правило, ненадежны. Однако при этом, важнейшее значение имеют прогнозы с оценкой неопределенности, например, вероятностные прогнозы. Прогнозируемые элементы, как правило, представлены такими категориями, как выше нормы, близки к норме и ниже нормы. Вероятностный прогноз дает вероятность возникновения какой-либо категории. Другое представление может быть достигнуто путем указания наиболее вероятной категории. Однако, вероятностные прогнозы наиболее трудны в применении; пользователям необходимо ознакомиться с преимуществами и недостатками вероятностных прогнозов, а также с методикой анализа затрат-выгод. Когда прогнозы элементов представлены как численные величины, неопределенность прогноза может быть выражена границами доверительного интервала или присоединением статистических данных о верификации прогнозов в прошлом. При предоставлении инструкций по использованию вероятностных прогнозов поставщикам климатического обслуживания следует учитывать результаты экспериментов по верификации прогнозов в прошлом.

6.3.2 Предсказания и проекции климата

Вообще говоря, предсказание является выходными данными модели, которая рассчитывает эволюцию целевых параметров от начальных условий до конечного состояния в сезонном, годовом или десятилетнем временных масштабах. Предсказание климата является вероятностным утверждением о будущем климате в масштабе времени от нескольких лет до десятилетий. Оно основано на условиях, которые известны в настоящее время, и на предположениях в отношении физических процессов, которые будут определять будущие изменения. Обычно предсказание допускает, что другие факторы, кроме тех, которые были явно или неявно включены в прогностическую модель, не будут оказывать существенного влияния на то, что должно случиться. В этом смысле на предсказание больше всего влияют текущие условия, которые известны благодаря наблюдениям (начальные условия) и допущения о физических процессах, которые будут определять будущую эволюцию. Например, предсказание климата о том, что крупное явление ЭНЮК будет развиваться в течение предстоящих нескольких месяцев, в основном определяется наблюдаемым состоянием климатической системы и ее состоянием в недавнем прошлом. Небольшие изменения, которые могут произойти за несколько ближайших месяцев и в результате действия других факторов, потенциально важных при более продолжительных временных масштабах, таких как антропогенная деятельность (границные условия), вероятно, будут менее важными для прогноза климата.

Предсказания могут быть сформулированы с помощью детерминистского или вероятностного методов. Детерминистский прогноз представляет единое значение, закрепленное за конкретным периодом. Вероятностный прогноз дает набор возможных величин за конкретный период. Предсказание делается вероятностным за счет учета различных типов неопределенностей. Вероятностный прогноз состоит из нескольких отдельных прогнозов, полученных с помощью климатической модели, начиная от несколько различных исходных условий (как атмосферных, так и океанических) и формируя набор (или ансамбль) прогнозов. В оптимальном случае выборка, относящаяся к неопределенности модели, также оценивается с использованием нескольких моделей (мультимодельный ансамбль). *Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию* (ВМО-№ 1091) содержат полезное руководство по применению этого метода. Предсказанием климата является утверждение в отношении

вероятности того, что что-то произойдет, независимо от вмешательства человека. Это важно для лиц, принимающих решения, поскольку их действия никак не скажутся на погодных или климатических явлениях.

Проекция климата представляет собой утверждение в отношении вероятности того, что что-то произойдет в будущем от нескольких десятилетий до столетий, если будут развиваться определенные условия, оказывающие решающее влияние. В отличие от предсказания, проекция, в частности, позволяет вносить существенные изменения в набор граничных условий, таких как повышение уровня содержания парниковых газов в атмосфере, которое может воздействовать на будущий климат. В результате то, что возникает, является условными математическими ожиданиями (если это происходит, то это именно то, что ожидается). Для проекций, распространенных далеко в будущее, разрабатываются сценарии того, что могло бы случиться при условии, что сбудутся различные предположения и суждения (см. 6.3.3).

Как и для предсказания климата, неопределенность присущая проекциям, должна быть оценена с использованием различных возможных сценариев, а несколько моделей должны также провести выборку неопределенности модели. Для лиц, принимающих решения, они указывают вероятные последствия частично в результате принятия конкретных политических действий.

6.3.3 Климатические сценарии

Модели глобального климата используются, в основном, при составлении климатических сценариев. Климатический сценарий описывает вероятный будущий климат, смоделированный для изучения потенциальных последствий изменения климата в результате деятельности человека, но он также должен отображать будущие условия, которые объясняются природной изменчивостью климата. Доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (например IPCC, 2013) являются соответствующим источником информации о будущих климатических сценариях во временных масштабах от нескольких десятилетий до столетия. К примеру, Пятый оценочный доклад МГЭИК (ОД5) содержит проекции, основанные на ряде возможных значений радиационного вынуждающего воздействия в 2100 году по отношению к доиндустриальным значениям (+2,6; +4,5; +6,0 и +8,5 Вт/м²) (см. [Резюме для политиков](#) в публикации *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* (Изменение климата 2013 г. Физическая научная основа), раздел E.7, таблица SPM.3). Эти потоки называются потоками радиационной концентрации (соответственно, ПРК 2.6, 4.5, 6 и 8.5). Они используются в качестве входных данных в ГKM, выходные данные и последующие анализы которых предоставляют описание возможных четырех перспективных оценок климата будущего, все из которых считаются возможными в зависимости от того, какой объем парниковых газов будет выброшен в атмосферу в предстоящие годы. Путем учета того, как эти потоки радиационной концентрации (ПРК) будут влиять на климат, используя различные модели климата, причем каждая со своей конкретной климатической чувствительностью, проекции изменения климата учитывают широкий диапазон разумных возможностей как развития общества, так и поведения климата. При том, что использование ПРК как входных данных в модели климата является новейшим подходом к получению описаний возможных перспективных оценок будущего климата, предыдущие входные данные, которые широко использовались, включают сценарии, описанные в Специальном докладе МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ) (например A1B, B2).

6.3.4 Глобальные климатические модели

Глобальные климатические модели предназначены в основном для представления климатических процессов в глобальном масштабе. Они обеспечивают необходимые способы изучения изменчивости климата и изменения климата в прошлом, настоящем и будущем. Они основаны на физических законах, управляющих климатическими процессами и взаимодействиями всех компонентов климатической системы, выраженных

в форме математических уравнений в трех измерениях. Высоко нелинейные основные уравнения решаются численно на четырехмерной координатной сетке атмосферы (три пространственных измерения плюс время). Многие физические процессы, такие как отдельные облака, конвекция и турбулентность, происходят в пределах значительно меньших пространственно-временных масштабов, чем соответствующее разрешение этой сетки координат. Эти процессы должны включаться в модель путем упрощенного представления, называемого параметризацией: это метод используемый для замены мелкомасштабных комплексных процессов в модели на упрощенный процесс.

Эти модели впервые стали практически применяться в 1960-х годах, и с тех пор они прошли путь быстрого развития и усовершенствования. Они развивались параллельно с моделями численного прогноза погоды. Изначально ГKM были нацелены на сопряжение атмосферы и океана; сегодня в большинстве самых современных ГKM представлены криосфера, биосфера, поверхность суши, а также химия атмосферы и аэрозоли во все более сложных комплексных интегрированных моделях, которые иногда называют моделями системы Земля.

Значительно возросло доверие к ГKM в результате систематического проведения взаимных сравнений моделей (например, ПССМ), продемонстрированной некоторыми моделями возможности отражать главные тренды в климате двадцатого века и в некоторых видах палеоклимата, а также благодаря улучшенному моделированию основных особенностей общей циркуляции, связанных с такими явлениями как ЭНЮК. Как правило, ГKM обеспечивают для многих частей мира правдоподобные имитационные модели климата в субконтинентальных масштабах и для периодов от сезона до десятилетия, и поэтому они рассматриваются в качестве целесообразного средства для обеспечения полезных проекций будущего климата. Такие ГKM сформировали основу для предсказаний и проекций климата, представленных в оценках МГЭИК, и внесли существенный вклад в оперативное сезонное прогнозирование, особенно через систему ГЦПДП и форумы по ориентировочным прогнозам климата.

Существует значительный интерес к усовершенствованию пространственного разрешения ГKM для того, чтобы моделировать климат для более мелких масштабов, где ощущаются последствия большинства воздействий и имеются адаптивные возможности. Климаты меньшего масштаба определяются взаимодействием внешних вынуждающих воздействий и циркуляций в глобальном, региональном и локальном пространственных масштабах и во временных масштабах от менее суток до нескольких десятилетий. Региональные и локальные внешние вынуждающие воздействия обусловлены сочетанием характеристик топографии и землепользования, особенностями взаимодействия в системе суша-океан, региональной и локальной циркуляциями атмосферы, такими как морские бризы и тропические штормы, распределением аэрозольных твердых частиц и атмосферных газов, а также влиянием озер, снега и морского льда. Климат в каком-то районе может быть также подвержен сильному влиянию в результате процессов дальней корреляционной связи, которые порождают аномалии в удаленных районах. Эти процессы часто являются высоко нелинейными, что делает моделирование и предсказание затруднительным. Как ответ на эти проблемы моделирования, были разработаны региональные климатические модели (РKM) и модели статистического даунскейлинга для получения климатической информации с более мелким пространственным разрешением. Региональные климатические модели – это модели с высоким разрешением для ограниченного пространства, вложенные в глобальные модели с более грубым разрешением. Статистический даунскейлинг предусматривает применение статистических зависимостей между более крупными и более мелкими масштабами. Оба подхода могут быть использованы для предоставления более актуальной информации в региональном и локальном масштабах с целью применения в деле предсказаний и проекций климата.

6.3.5 **Даунскейлинг: региональные климатические модели**

Глобальные климатические модели не могут обеспечивать напрямую информацию для масштабов, которые меньше, чем их собственное разрешение. Процесс, известный как даунскейлинг, устанавливает соотношение между характеристиками крупномасштабной

модели и регионов меньшего масштаба и локальным климатом. Различают следующие основные методы: динамический и статистический даунскейлинг, либо сочетание этих двух методов. Однако перед тем, как проводить даунскейлинг, важно оценить влияние крупномасштабных особенностей на представляющий интерес региональный или локальный климат. В реальности, даунскейлинг может принести дополнительную информацию, только если малые масштабы находятся под значительным вынуждающим воздействием крупных масштабов. Например, влияние орографии на тропические острова может быть значительно усилено под воздействием пассатов.

При динамическом методе используются РКМ, которые, как правило, используют синоптическую и крупномасштабную информацию от ГKM для моделирования регионального климата. Региональные климатические модели способны предоставлять информацию с разрешением в несколько километров. Главной проблемой этих моделей является преодоление барьеров в соотношении информации в ячейке крупной сетки с меньшим разрешением с информацией в ячейках с более высоким разрешением РКМ. Кроме того, специфические проблемы моделирования включают параметризацию конвекции и начальные условия в соответствующих масштабах. Эти проблемы требуют тщательной валидации данных ГKM и РКМ перед тем, как пытаться использовать любой либо оба из их выходных сигналов. Поскольку РКМ управляются, главным образом, глобальными климатическими моделями, надлежащее функционирование ГKM имеет первостепенную важность для моделирования в меньшем масштабе. Метод, описанный здесь, как правило используется для исследований и проекций изменения климата (например, эксперименты КОРДЭК), а не для оперативного сезонного прогнозирования, так как он требует крупных вычислительных ресурсов и предоставления сопрягающих файлов от ГKM в квазиреальном времени для сезонного прогнозирования. Для исследований изменения климата практическую важность имеет оценка неопределенности модели в дополнение к неопределенности сценария. В этом отношении рекомендуется использовать несколько РКМ, идеально сопряженных с несколькими ГKM (см. проектирование эксперимента КОРДЭК).

Статистический даунскейлинг предполагает применение статистических зависимостей между крупномасштабными переменными и региональными и локальными переменными. Крупномасштабные выходные данные от ГKM используются в статистической модели для получения локальных и региональных оценок будущего климата. Главными ограничивающими факторами статистического даунскейлинга являются наличие в достаточном количестве исторических наблюдений (на которых основываются статистические закономерности) и допущение о том, что статистические закономерности являются достоверными для будущих климатических зон (иначе известные как стационарность). Могут быть использованы различные методы, но в целом, чем сложнее метод, тем менее надежны результаты. Были предприняты проекты взаимных сравнений, такие как Статистический и региональный динамический даунскейлинг экстремальных явлений для районов Европы (STARDEX) и КОРДЕКС. Для оперативных целей широко используются линейные методы. Важную роль играет валидация статистической модели. Следует проявлять осторожность при интерпретации успешности модели на основе представленных показателей ее успешности.

При комбинированных методах используется информация, предоставленная ГKM и РКМ, в статистической модели, с целью адаптировать сигнал модели к характеристикам регионального или локального климата. Они довольно популярны в сезонном прогнозировании, поскольку позволяют скорректировать некоторые погрешности (особенно пространственные погрешности), вводимые моделирующей частью и, следовательно, являющиеся очевидным источником потенциального улучшения качества прогноза. Доступ к ретроспективным прогнозам ГKM (для статистики выходных данных модели) или к набору повторных анализов (для методов совершенных моделей) имеет решающее значение для калибровки таких моделей. В отличие от статистических методов, взаимодействия внутри климатической системы, как ожидается, будут представлены благодаря крупномасштабной информации, получаемой с помощью ГKM. Очевидно, что те же замечания, высказанные в отношении статистических методов, также актуальны для статистического слоя гибридных методов.

Все методы подвержены неопределенностям, вызываемым нехваткой знаний о системе Земля, параметрами моделей и структурными аппроксимациями, хаотичностью и действиями человека. Дополнительная неопределенность, вносимая процессом даунскейлинга, должна оцениваться, если даже валидацию и верификацию результатов модели измельчения сетки затруднительно осуществить, особенно если база данных наблюдений неадекватна. В этой связи использование методики пространственной привязки (см. 5.9.3) может помочь интерполировать приземные наблюдения с соответствующим пространственным разрешением и предоставить соответствующий базовый комплект данных для целей валидации и верификации.

6.4 ПРИМЕРЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОДУКЦИИ И ДАННЫХ

Данные могут быть представлены разными способами. На рисунках 6.2—6.13, а также на других рисунках в данном Руководстве показаны некоторые из многих простых, но эффективных способов возможного представления информации.

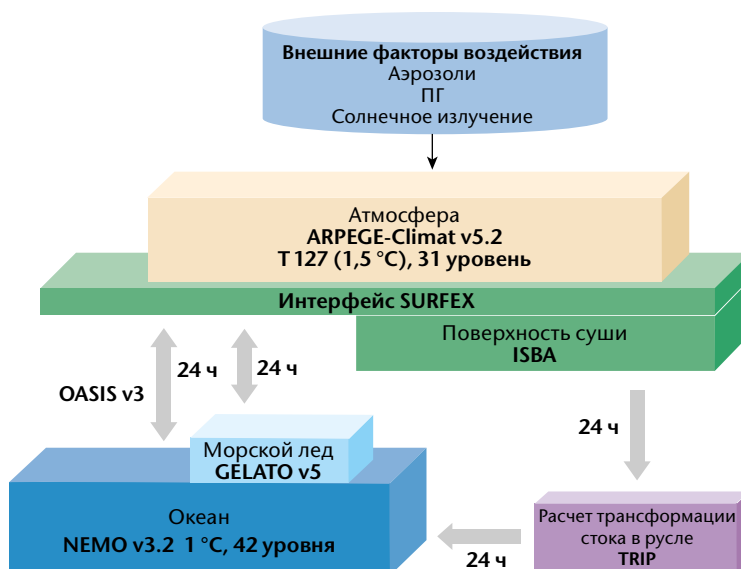
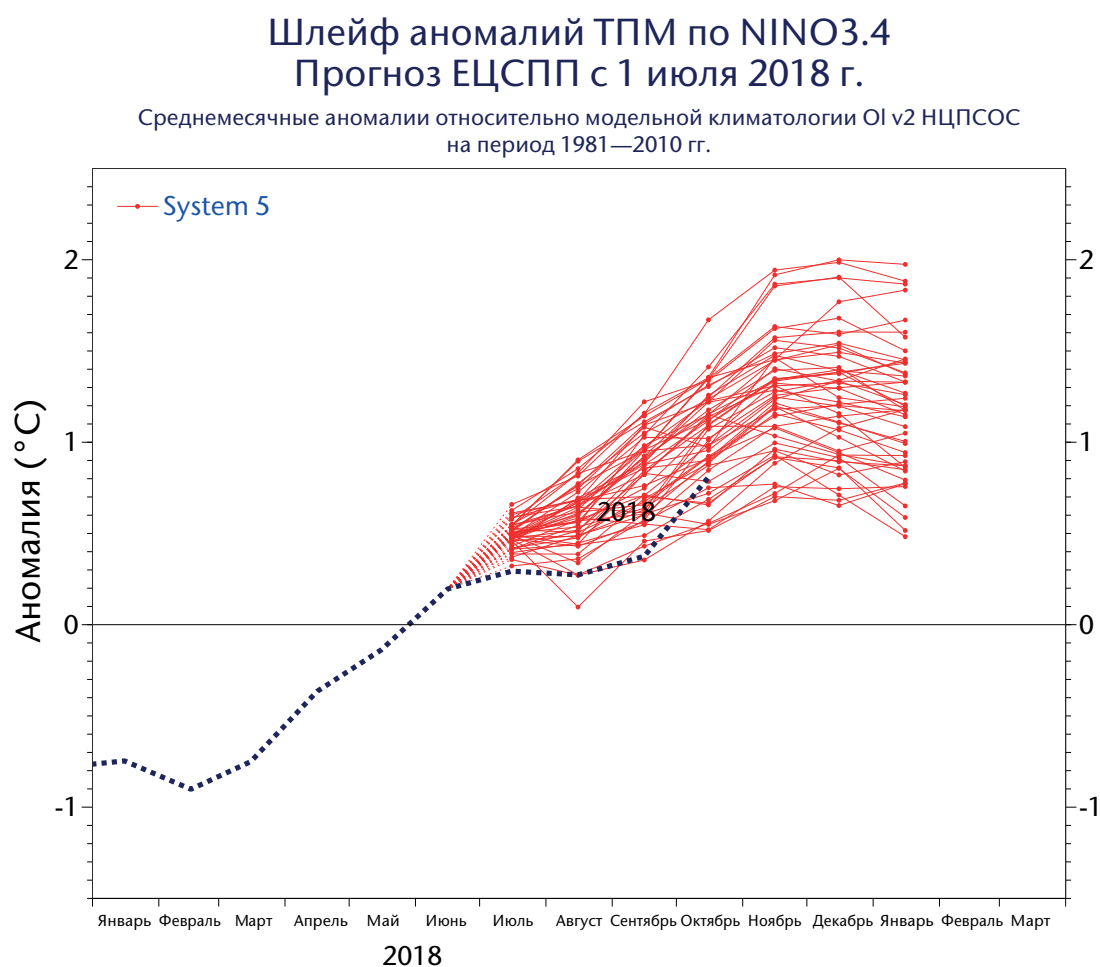


Рисунок 6.2. Пример графического представления компонентов системы Земля в модели, предназначенной для прогона с целью имитации климата



ECMWF

Рисунок 6.3. Пример шлейфов, представляющих разброс сезонного прогноза (например, Эль-Ниньо)

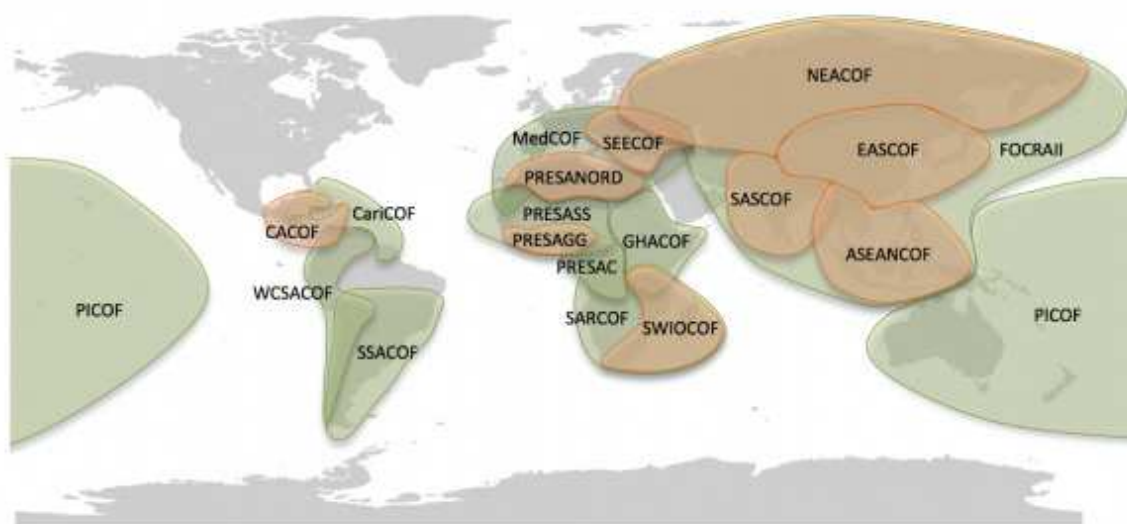


Рисунок 6.4. Пример продукции регионального форума по ориентировочным прогнозам климата (прогноз, основанный на консенсусе)

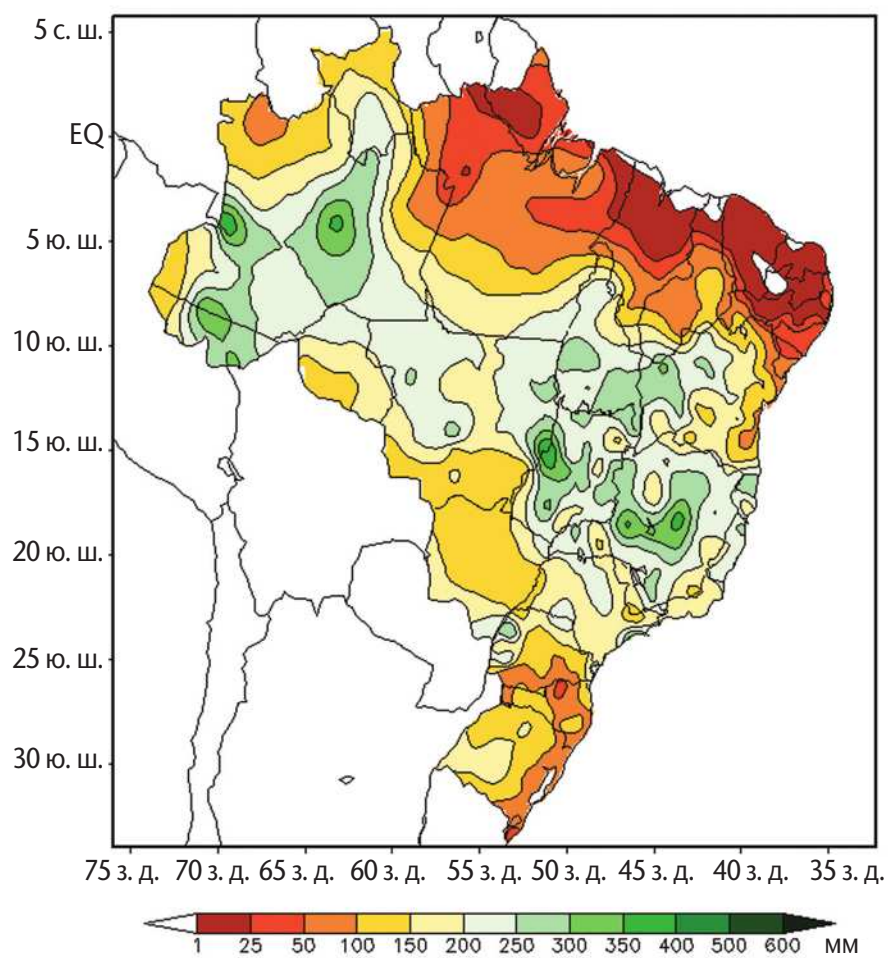


Рисунок 6.5. Пример контурной карты осадков

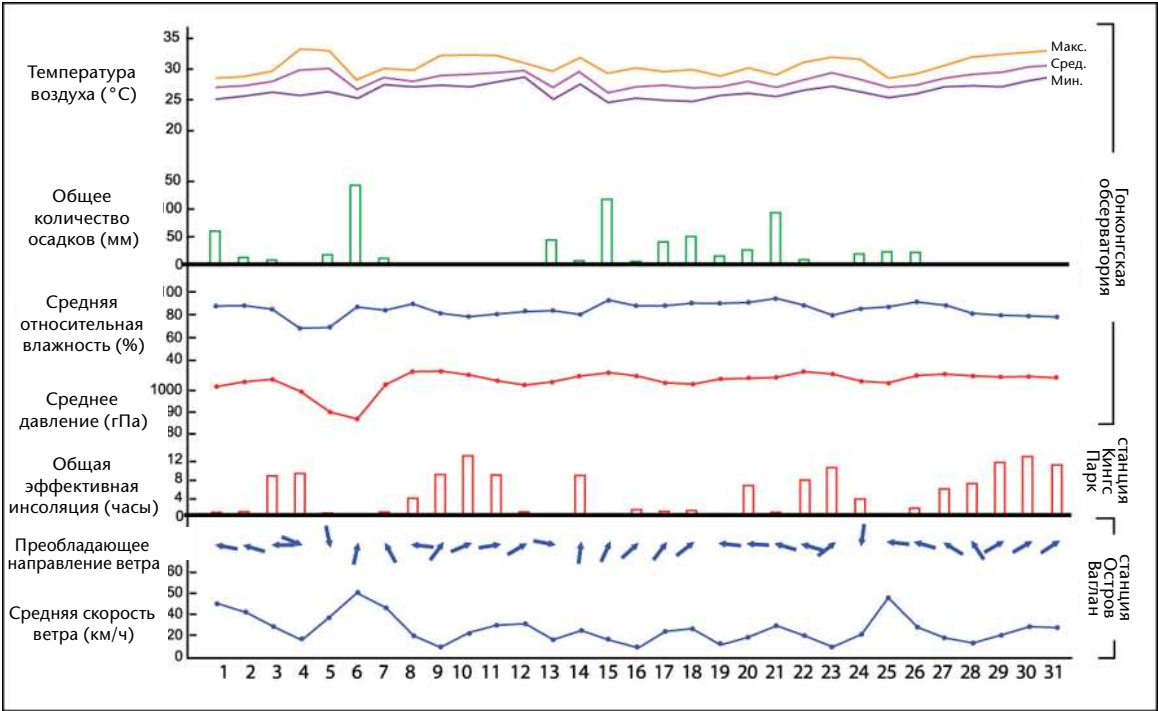


Рисунок 6.6. Пример графического представления суточных значений нескольких элементов

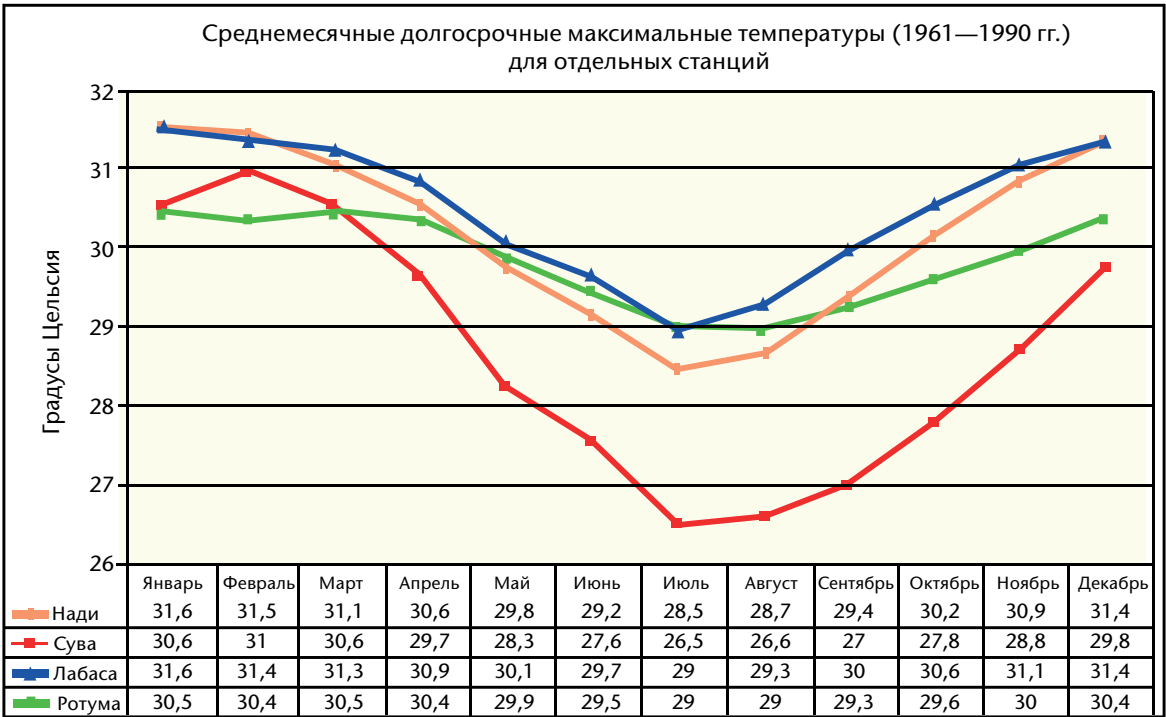


Рисунок 6.7. Пример графика и таблицы значений температуры для множества станций

MELVERN LAKE, KS (145210)													
Период записи климатической информации по месяцам													
Период записи: 01.05.1973 г.—30.04.2000 г.													
	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Годовой
Средняя максимальная температура (F)	37,3	43,4	55,3	65,3	74,1	82,9	89,1	87,9	79,6	68,5	53,6	42,1	64,9
Средняя минимальная температура (F)	16,5	21,3	32,0	42,5	53,0	62,4	67,5	65,0	55,4	44,4	32,5	22,0	42,9
Среднее общее количество осадков (дюйм)	0,95	1,20	2,58	3,33	5,06	5,24	4,28	3,69	3,81	3,00	2,62	1,41	37,17
Средняя общая высота слоя выпавшего снега (дюйм)	2,5	1,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	5,5
Средняя высота снежного покрова (дюйм)	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Процент возможных наблюдений за период записи													
Макс. температура: 95,9 % мин. температура: 96,2 % осадки: 96 %													
высота слоя выпавшего снега: 89,3 % высота снежного покрова: 91 %													

Рисунок 6.8. Пример табличного представления климатической информации по месяцам

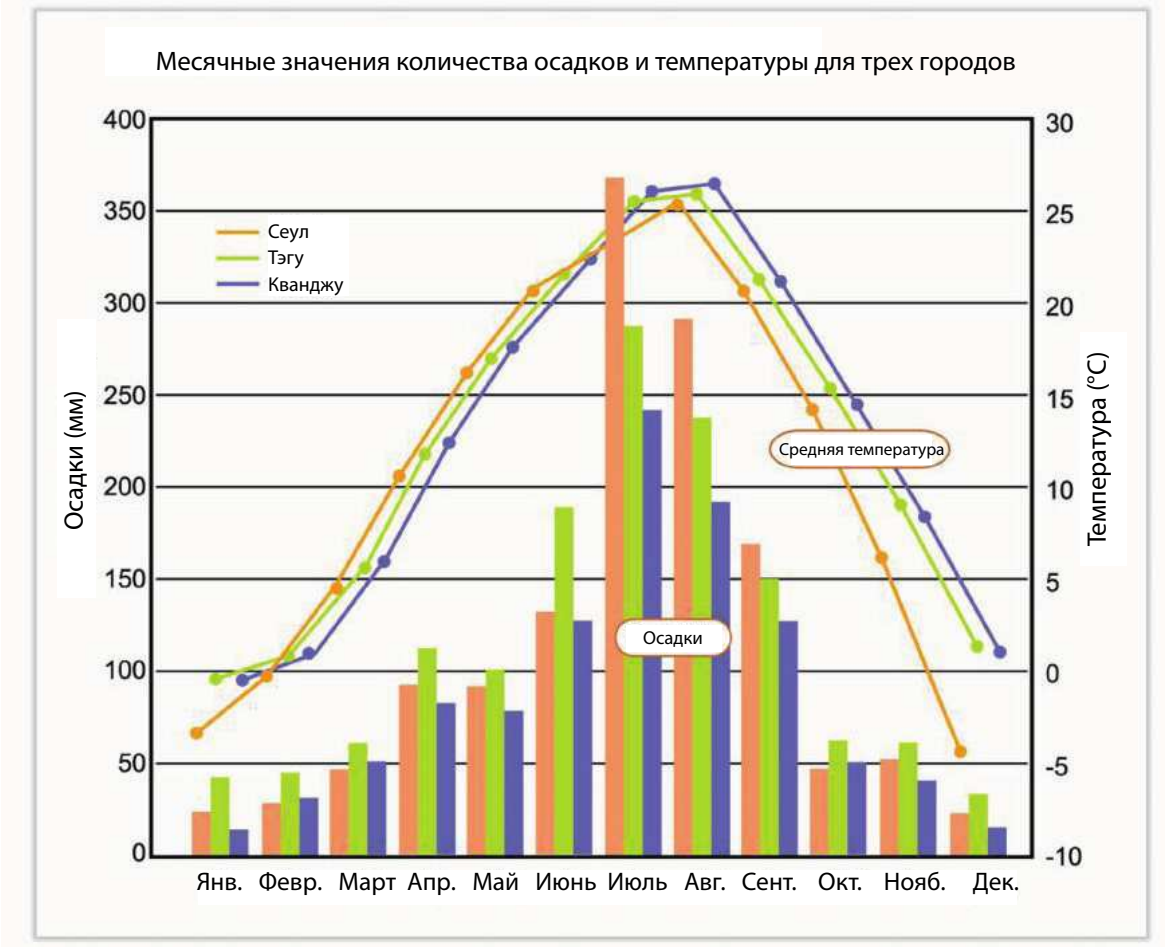


Рисунок 6.9. Пример комбинированной линейной и столбчатой диаграммы для множества элементов и станций

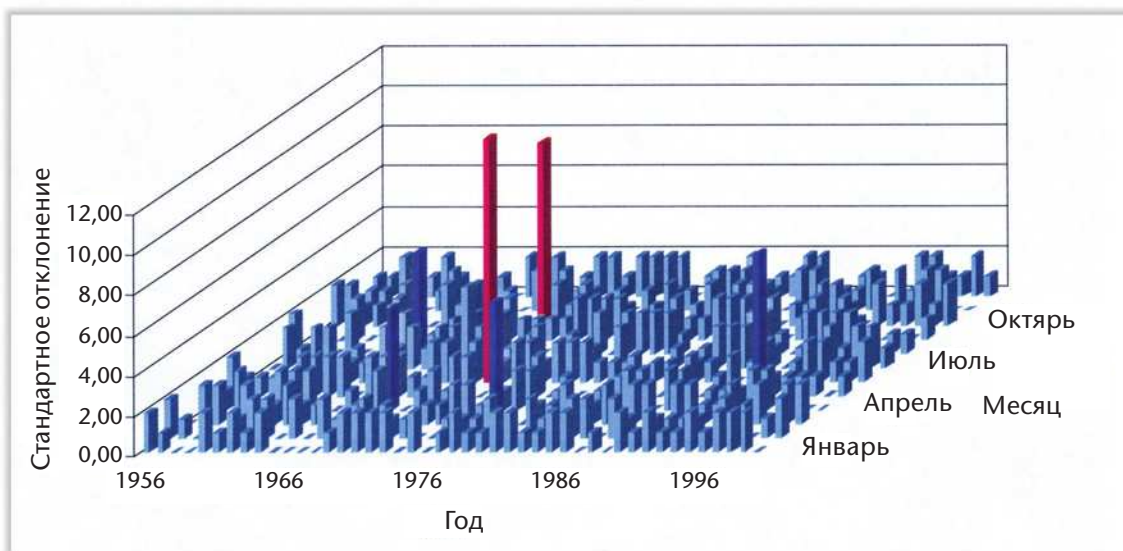


Рисунок 6.10. Пример трехмерного представления с акцентом на аномальные значения

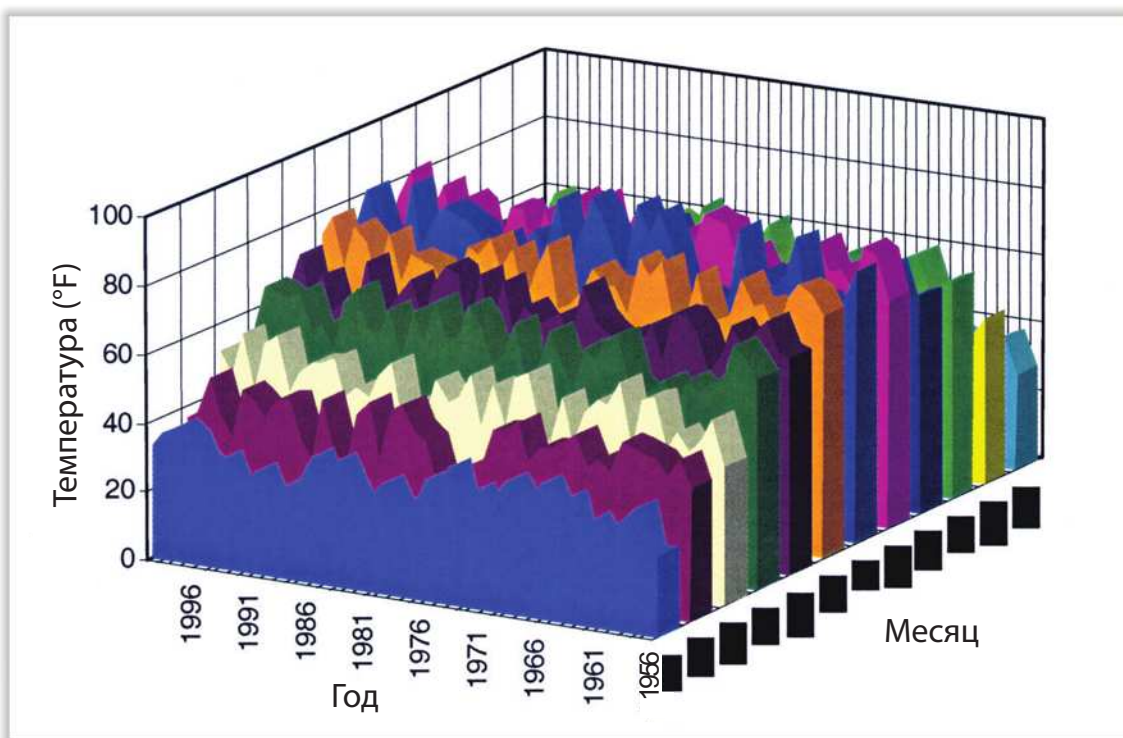


Рисунок 6.11. Пример трехмерного представления с акцентом на временные ряды месячных значений для заданного года

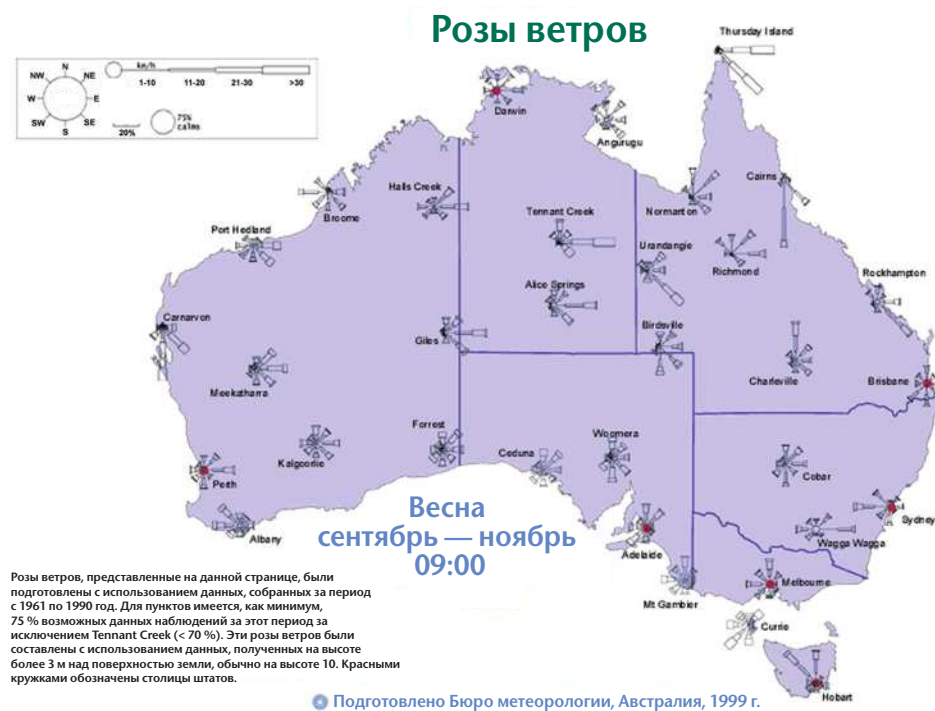


Рисунок 6.12. Пример представления на карте информации по ветру с помощью символов

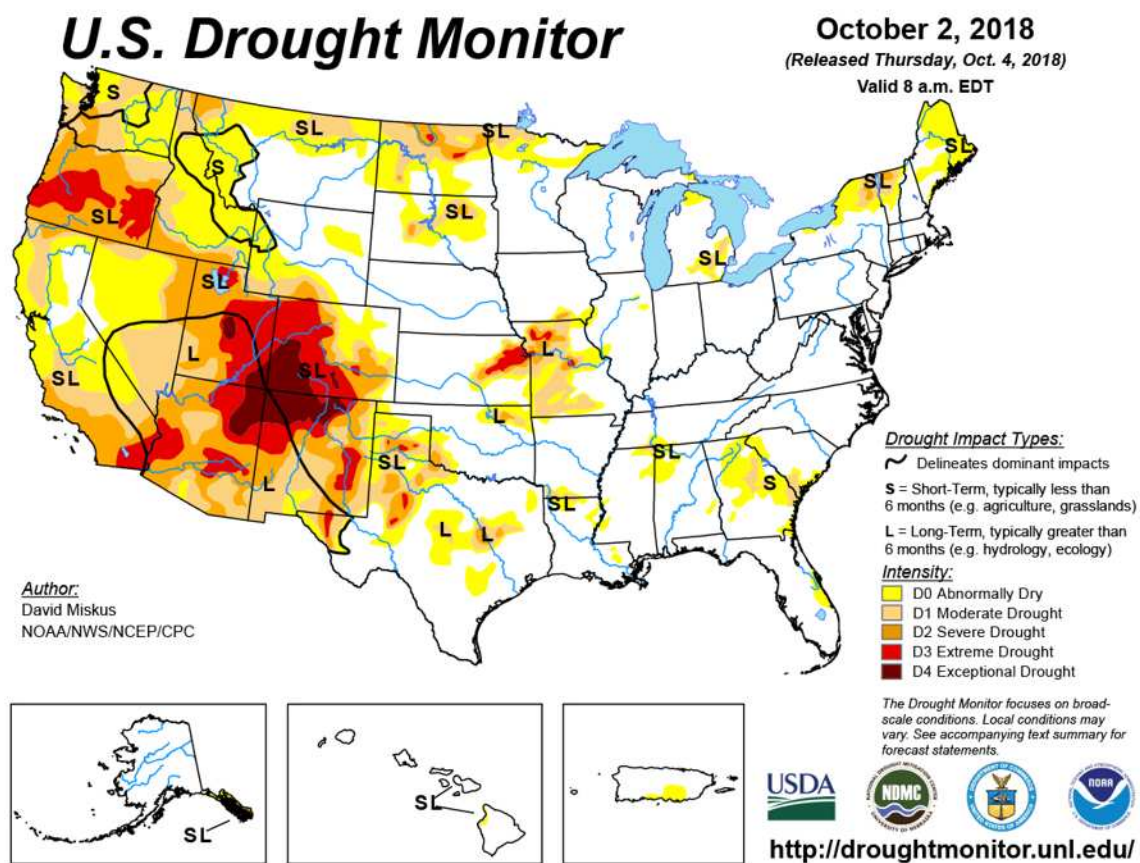


Рисунок 6.13. Контурная карта категорий засухи и ее последствий

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 2012: *Руководящие указания по системам ансамблевого прогнозирования и прогнозированию* (ВМО-№ 1091). Женева.
- , 2017: *Наставление по Глобальной системе обработки данных и прогнозирования* (ВМО-№ 485). Женева.
- МЕТЕОТЕРМ ВМО: http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteoterm_wmo_en.html.
- Dake, C. et al., 2004: Predictability of El Niño over the past 148 years. *Nature*, 428 (2004):733–736.
- Hamill, T. M., G. T. Bates, J. S. Whitaker, D. R. Murray, M. Fiorino, T. J. Galarneau (Jr.), Y. Zhu and W. Lapenta, 2013: NOAA's second-generation global medium-range ensemble reforecast data set. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94, 1553-1565.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2000: *IPCC Special Report: Emissions Scenarios – Summary for Policymakers*.
- , 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America, Cambridge University Press.
- , 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, eds.). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America, Cambridge University Press.
- Katragkou, E., M. García-Díez, R. Vautard, S. Sobolowski, P. Zanis, G. Alexandri, R. M. Cardoso, A. Colette, J. Fernandez, A. Gobiet, K. Goergen, T. Karacostas, S. Knist, S. Mayer, P. M. M Soares, I. Pytharoulis, I. Tegoulis, A. Tsikerdekis and D. Jacob, 2015: Regional climate hindcast simulations within EURO-CORDEX: Evaluation of a WRF multi-physics ensemble. *Geoscientific Model Development*, 8, 603-618, <https://www.geosci-model-dev.net/8/603/2015/>.
- World Meteorological Organization, 2009: *Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation* (WMO/TD-No. 1500, WCDMP-No. 72). Geneva.
- , 2016: Regional Climate Outlook Forums, https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3191.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- American Meteorological Society, 1993: Guidelines for using color to depict meteorological information. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74:1709–1713.
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones, 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research*, 111:D12106.
- Dunn, R.J.H., M.G. Donat and L. Alexander, 2014: Investigating uncertainties in global gridded data sets of climate extremes. *Climate of the Past*, 10 (6):2171-2199, doi:10.5194/cp-10-2171-2014.
- Dunn, R.J.H., K.M. Willett, A. Ciavarella and P.A. Stott, 2017: Comparison of land surface humidity between observations and CMIP5 models. *Earth System Dynamics*, 8 (3):719-747, doi:10.5194/esd-8-719-2017.
- Giorgi, F., C. Jones and G. R. Asrar, 2009: Addressing climate information needs at the regional level: The CORDEX framework. *WMO Bulletin* 58 (3):175-183.
- Giorgi, F. and W.J. Gutowski (Jr.), 2015: Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, Volume 40:467-490, doi:10.1146/annurev-environ-102014-021217.
- Gonçalves, M., P. Martinho, and C. Guedes Soares, 2016: A hindcast study on wave energy variability and trends in Le Croisic, France. In *Progress in Renewable Energies Offshore*. Proceedings of the 2nd International Conference on Renewable Energies Offshore (RENEW2016), Lisbon, Portugal, 24–26 October 2016. CRC Press.

- Gutowski, W. J. (Jr.), F. Giorgi, B. Timbal, A. Frigon, D. Jacob, H.-S. Kang, K. Raghavan, B. Lee, C. Lennard, G. Nikulin, E. O'Rourke, M. Rixen, S. Solman, T. Stephenson and F. Tangang, 2016: WCRP COordinated Regional Downscaling EXperiment (CORDEX): A diagnostic MIP for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9, 4087-4095.
- Hargreaves, G.H., 1975: Moisture availability and crop production. *Transaction of the ASAE*, 18:980-984.
- Hofstra, N., M. New and C. McSweeney, 2010: The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. *Climate Dynamics*, 35 (5):841-858, doi:10.1007/s00382-009-0698-1.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014: *The Fifth Assessment Report (AR5)*, <https://ipcc.ch/report/ar5>.
- Jones, P.D., M. New, D.E. Parker, S. Martin and I.G. Rigor, 1999: Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37:173-199.
- Khambete, N.N., 1992: Agroclimatic classification for assessment of the crop potential of Karnataka. *Mausam*, 43(1):91-98.
- McEvoy, D.J., J.F. Mejia and J.L. Huntington, 2014: Use of an observation network in the Great Basin to evaluate gridded climate data. *Journal of Hydrometeorology*, 15 (5):1913-1931, doi:10.1175/JHM-D-14-0015.1.
- Peterson, T.C., 2005: Climate change indices. *WMO Bulletin*, 54:83-86.
- Peterson, T.C. and M.J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes: A tale of international cooperation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89:1266-1271.
- Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fiechter, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor, 2007: Climate models and their evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, eds.). Cambridge, United Kingdom, and New York, United States of America, Cambridge University Press.
- Rayner, N.A., P. Brohan, D.E. Parker, C.K. Folland, J.J. Kennedy, M. Vanicek, T. Ansell and S.F.B. Tett, 2006: Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: The HadSST2 dataset. *Journal of Climate*, 19:446-469.
- Sarker, R.P. and B.C. Biswas, 1988: A new approach to agroclimatic classification to find out crop potential. *Mausam*, 39(4):343-358.
- Stouffer, R. J., V. Eyring, G.A. Meehl, S. Bony, C. Senior, B. Stevens and K.E. Taylor, 2017: CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98 (1):95-105, doi:10.1175/BAMS-D-15-00013.1.
- Taylor, K.E., R. J. Stouffer and G.A. Meehl, 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93 (4):485-498.
- Tufte, E.R., 1990: *Envisioning Information*. Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- Van Vuuren, D.P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G.C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.F. Lamarque and T. Masui, 2011: The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109, 5-31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- Von Storch, H. and Navarra, A. (eds.), 2013: *Analysis of climate variability: Applications of statistical techniques*. Proceedings of an autumn school organized by the Commission of the European Community, Elba (Italy), 30 October-6 November 1993. Springer Science & Business Media.
- Wikipedia, 2017, <https://en.wikipedia.org/wiki/Backtesting>.

ГЛАВА 7. ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

7.1 ВВЕДЕНИЕ

В рамках климатического обслуживания предоставляется климатическая информация, продукция или виды деятельности, которые содействуют принятию решений лицами и организациями. Обслуживание определяется как предоставляемая продукция и операции, ассоциированные с людьми, процессом и информационной технологией, необходимыми для ее предоставления, или в качестве деятельности (например, консультации и интерпретация климатической информации), осуществляемой для удовлетворения потребностей пользователей или той деятельности, которая может проводиться пользователем (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и План ее осуществления* (ВМО-№ 1129), 4.1 и 4.2). В идеальном случае любое обслуживание должно основываться на понимании потребностей пользователей; оно должно предоставлять информацию, продукцию и консультации, которые адресованы пользователю в том, что касается времени, формата или содержания, и должно поддерживать диалог с конкретным пользователем.

Для того чтобы быть эффективным, обслуживание должно быть:

- заслуживающим доверие: пользователь может с уверенностью применять обслуживание в процессе принятия решений;
- доступным и своевременным: готовым к использованию в то время и в том месте, где оно требуется пользователю;
- гарантированным и надежным: устойчиво и своевременно предоставляться согласно требующейся пользователю спецификации;
- удобным в применении: предоставляться в форматах, ориентированных на пользователя, с тем чтобы клиент мог воспользоваться обслуживанием в полной мере;
- полезным: способным отвечать потребностям пользователя адекватным образом;
- расширяемым: применимым для различных видов обслуживания;
- устойчивым: доступным по цене и последовательным с течением времени;
- чувствительным и гибким: адаптируемым к развивающимся потребностям пользователя;
- аутентичным: гарантированным для принятия заинтересованными сторонами в конкретном контексте принятия решения.

Такое обслуживание подразумевает высококачественные данные из национальных и международных баз данных, а также карты, анализы рисков и уязвимости, оценки и долгосрочные проекции и сценарии. В зависимости от потребностей пользователей эти данные и информационная продукция могут быть объединены с метеорологическими данными, такими как сельскохозяйственная продукция, тенденции в здравоохранении, распределение населения в зонах высокого риска, дорожные и инфраструктурные карты для доставки товаров и другие социально-экономические переменные (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и план ее осуществления*

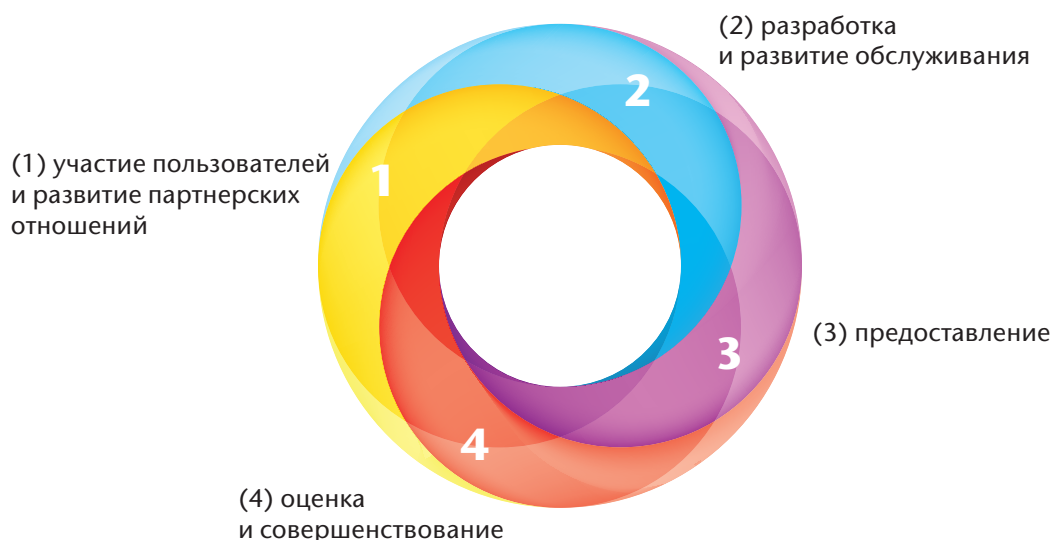


Рисунок 7.1. Четыре этапа непрерывного циклического процесса разработки и предоставления обслуживания

(ВМО-№ 1129), 4.2). Предоставление обслуживания является непрерывным циклическим процессом разработки и обеспечения адресных для пользователя видов обслуживания (см. рисунок 7.1). Оно включает в себя четыре этапа:

Этап 1: определение круга пользователей и понимание их потребностей, а также понимание роли климатической информации в различных секторах;

Этап 2: вовлечение пользователей, производителей, поставщиков и партнеров в процесс проектирования и разработки обслуживания и обеспечение удовлетворения потребностей пользователей;

Этап 3: производство и распространение данных, продукции и информации (т.е. обслуживания), которые отвечают цели и актуальны для потребностей пользователя;

Этап 4: сбор отзывов пользователей и разработка показателей эффективности обслуживания для непрерывной оценки и совершенствования продукции и обслуживания.

Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО) была учреждена для создания заслуживающей доверия, всеохватывающей и уникальной платформы для руководства и поддержки деятельности, осуществляемой в чувствительных к климату областях (см. *План осуществления Глобальной рамочной основы в области климатического обслуживания*, 1.3). Ее цель состоит в том, чтобы общество могло лучше управлять рисками и благоприятными возможностями, связанными с изменчивостью и изменением климата. Рамочная основа делает энергичный акцент на привлечении пользователей и развитии потенциала, а участие всех партнеров в этих согласованных усилиях будет направлено на получение максимальных выгод для всех пользователей.

7.2 ПОЛЬЗОВАТЕЛИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КЛИМАТОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Пользователями климатического обслуживания являются очень многие — от школьников до лиц, принимающих решения на глобальном уровне. К ним относятся такие разноплановые группы, как сотрудники средств массовой и общественной информации, фермеры, вооруженные силы, правительственные учреждения, персонал деловых

структур и промышленных предприятий, управляющие водными и энергетическими ресурсами, потребители, туристы, работники органов правосудия, работники здравоохранения, гуманитарные организации и организации, предназначенные для оказания помощи, а также метеорологические службы. Их потребности могут варьировать от простого любопытства по поводу состояния погоды и климата до школьного проекта; проектирования сооружения; сельскохозяйственных работ; рационального использования водных ресурсов; работы систем кондиционирования воздуха или огромной плотины; планирования производства и распределения электроэнергии; обеспечения готовности и принятия необходимых мер в связи с проблемой нехватки продовольствия и воды.

Актуальность интереса к изменению климата и его последствиям вызвала дополнительную потребность в климатической информации. В прошлом климатическая продукция в основном была ограничена информацией о физическом состоянии атмосферы вблизи поверхности Земли. Сегодня пользователю может потребоваться информация о многих аспектах климата и системы Земля в более широком плане (земная твердь, воздух, море, биосфера и земная поверхность, а также лед). Данные, относящиеся к климату, сейчас используются для описания, представления и предсказания как поведения всей климатической системы (включая влияние деятельности человека на климат), так и взаимосвязи между климатом и другими аспектами мира природы и человеческого общества. В этой связи имеет место растущая необходимость в мониторинге и описании климата в деталях как в пространственном, так и во временном масштабах, с рассмотрением при этом текущих явлений в рамках исторических перспектив. Составляются высококачественные комплекты основных климатических данных, для которых были разработаны комплексные статистические методики обеспечения качества. В ходе составления таких комплектов данных задействованы процедуры для обнаружения и, если возможно, корректировки данных с по выбросам и для учета таких неоднородностей, как замена приборного оснащения или смена местоположения станций наблюдений. Ученые и другие эксперты—пользователи климатических данных живо заинтересованы в метаданных с целью содействия интерпретации и анализу однородности и качества данных.

Области применения климатологической информации можно разделить на две основные категории — стратегическую и тактическую. Со стратегическим применением связана продукция, которая помогает в общем долгосрочном планировании и разработке крупных проектов и политики. Адаптация к изменению климата становится установившейся практикой и необходимым компонентом планирования на всех уровнях. В контексте адаптации к изменению климата национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) являются основными участниками планирования развития на национальном уровне практически во всех секторах (см. *Climate Services for Supporting Climate Change Adaptation* (Климатическое обслуживание в поддержку адаптации к изменению климата) (WMO-No. 1170)). Типами информации, которые обычно требуются для стратегического применения, являются анализы вероятности и оценки рисков метеорологических явлений для спецификаций разработки проектов и регламентов, сводки исторических данных в качестве исходной информации о климатических условиях прошлого и климатические сценарии в качестве индикаторов будущих ожиданий. Примером стратегического применения является анализ климатических данных для проектирования плотины. К тактическому применению относятся продукция и данные, которые помогают в решении краткосрочных конкретных неотложных проблем. Типичная информация, предоставляемая для тактического применения, включает в себя копии официальных данных наблюдений за метеорологическими явлениями, обзоры исторических данных, рассмотрение явления в историческом контексте. Примером тактического применения является анализ данных наблюдений за недавнее время для оказания помощи в управлении водными ресурсами в период засухи. Иногда применение может быть одновременно и стратегическим, и тактическим. Например, расчет вероятностей скорости и направления движения тропических штормов на основе исторических данных о штормах является стратегическим применением. Однако, эта же информация, когда она используется для прогнозирования движения проходящего в данный момент шторма, является тактической задачей.

Использование климатической информации может включать следующие аспекты, но не ограничиваться ими:

- мониторинг конкретной деятельности, находящейся под воздействием метеорологических условий (например, потребление топлива для обогрева и охлаждения; превышение пороговых значений уровней загрязнения; изменчивость продажи товаров, вызванная засухой; инфляция на рынках сырьевых товаров);
- предсказание характера изменения отраслевых систем с известным временем реагирования на метеорологические явления, когда знания о недавних прошлых погодных и климатических условиях позволяют до некоторой степени спрогнозировать последствия для сектора экономики (например, производство и потребление электроэнергии, ожидание пополнения запасов товаров, производство продукции растениеводства, борьба с болезнями растений, системы предупреждений о волнах тепла/угрозе для здоровья, продовольственная безопасность, водоснабжение и потребности в воде);
- сертификация для страхования или других целей при наступлении таких метеорологических явлений, как грозы, сильные ветры, заморозки или засуха;
- мониторинг для выявления характера данного явления или периода, особенно отклонения от нормы (например, интенсивность экстремальных осадков или засухи);
- проектирование оборудования, при котором знание локальной климатологии является важным для обеспечения эффективности и производительности (например, дороги, гидротехнические сооружения, водопровод и канализация, системы кондиционирования воздуха, ирригационные и канализационные сети);
- изучение воздействий, например, получение знаний о начальных условиях для того, чтобы оценить последствия строительства электростанции или другого промышленного предприятия, которое может влиять на качество воздуха;
- изучение влияния метеорологических условий на такие секторы экономики, как общественный транспорт и туризм;
- планирование и учет факторов риска для предоставления коммунального обслуживания населению, например, снабжение водой, электроэнергией, обеспечение готовности к чрезвычайным ситуациям и принятия мер реагирования;
- поддержка мер адаптации к изменению климата.

Для содействия использованию климатического обслуживания важную роль играет эффективное привлечение пользователей к участию в процессе разработки и предоставления обслуживания (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и план ее осуществления* (ВМО-№ 1129)). Такое привлечение поможет расширить знания о потребностях пользователей. Кроме того, оно помогает повысить уровень понимания влияния климатического обслуживания на деятельность по защите жизни и имущества, сохранению окружающей среды и содействию экономическому развитию и процветанию. Этот обмен знаниями ведет к повышению качества продукции, которая лучше согласуется с внешними запросами и отвечает предназначению.

Следующие четыре принципа определяют эффективное предоставление обслуживания, связанного с климатом:

- привлечение пользователей к участию должно быть предпринято на раннем этапе разработки продукции и обслуживания;
- отзывы клиентов играют существенную роль на протяжении всего процесса проектирования и предоставления эффективного обслуживания;



Рисунок 7.2. Шесть элементов, необходимых для перехода к культуре, более ориентированной на обслуживание

- обмен передовым опытом между поставщиками и пользователями ведет к эффективной и действенной разработке обслуживания и его осуществлению;
- партнерство с другими международными и региональными организациями, также вовлеченными в предоставление обслуживания, играет существенную роль в максимизации использования климатической информации в процессе принятия решений. На рисунке 7.2 показаны важные элементы при переходе к культуре, ориентированной на обслуживание.

7.3 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ

В предоставлении климатического обслуживания может быть ярко выраженный образовательный и коммуникационный компонент. Многие люди, имеющие потребности использовать климатические данные, имеют недостаточное представление о метеорологической науке и связанных с ней понятиях. Таким образом, они могут не знать, какая информация им на самом деле нужна или как лучше всего использовать эту информацию. Многие пользователи могут не знать, как наилучшим образом учитывать климатическую информацию в процессе принятия ими решений. Зачастую пользователи просто запрашивают продукцию, о существовании которой они знают. Национальным метеорологическим и гидрологическим службам необходимо разработать более детализированные методы и инструменты при партнерстве с пользователями. Это обеспечит расширение привлечения пользователей к участию в процессе предоставления обслуживания (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и План ее осуществления* (ВМО-№ 1129), главы 3 и 4).

Даже наилучшая и своевременно выпущенная информация будет малоэффективной, если она не вызовет соответствующей реакции со стороны пользователя. Полезность связанной с климатом информации обусловлена в большой степени передачей этой информации пользователям и их реакцией на нее. В конечном итоге полезность связанной с климатом

информации зависит от ее социального и экономического эффекта. Когда имеющаяся информация недоиспользуется, ценность может быть повышена за счет усиления коммуникации между поставщиками и пользователями. В таком случае эффективная доставка обслуживания состоит в предоставлении продукции и обслуживания, которые полезны для пользователей и заказчиков. Национальные метеорологические и гидрологические службы должны оценивать потребности пользователей не единолично, а в сотрудничестве с пользователями, поставщиками и партнерами. Поставщики обслуживания и пользователи должны взаимно информировать друг друга о сроках выпуска обслуживания и процессе принятия решений. Соответствие целевому назначению подразумевает согласие либо в явном, либо в неявном виде, всех участвующих сторон и учитывает некоторые или все нижеперечисленные факторы (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и План ее осуществления* (ВМО-№ 1129), 4.1):

- текущие и появляющиеся потребности пользователей;
- возможности поставщиков, включая сильные стороны и ограничения;
- какие виды обслуживания будут предоставляться и как они будут обеспечиваться;
- как обслуживание будет использоваться;
- ожидания в отношении соответствующих требованиям результатов и эффективности работы поставщиков;
- приемлемые затраты или объемы работы;
- риски, сопутствующие принятию решений с использованием информации.

В рамках климатического обслуживания должно обеспечиваться предоставление консультационных услуг по вопросам доведения до адресата, интерпретации и использования климатической информации. Сотрудники, обеспечивающие обслуживание, являются связующим звеном между техническими климатологическими аспектами данных, анализов, проекций и сценариев и пользователями этой информации, которые могут быть недостаточно технически подготовленными. Сотрудники, занятые климатическим обслуживанием, должны быть готовы ответить на запросы в отношении данных с учетом дополнительной информации о станциях, элементах и измерительных приборах, математических определениях различных параметров, методах представления данных измерений и, в особенности, о теоретических основах метеорологии и климатологии. Механизмы поддержки пользователей должны быть документально оформлены и хорошо известны пользователям. Сотрудники, обеспечивающие климатическое обслуживание, должны совершенствовать свои профессиональные знания по широкому кругу вопросов и практические навыки или иметь возможность обратиться к специалистам, обладающим необходимыми специальными знаниями и опытом.

Пользователи время от времени организуют совещания и мероприятия, на которые приглашается служебный климатологический персонал. Положительная реакция на такие приглашения создает более тесные отношения и дает персоналу возможность познакомиться с пользователями и их проблемами. Важно и очень полезно быть как можно больше вовлеченным в деятельность пользователей; обратная связь с пользователями обычно приводит к появлению более совершенной продукции, новых применений, а также к более эффективному и всестороннему распространению климатической информации. Непрерывное или частое взаимодействие с пользователями является принципиально важным для обеспечения того, чтобы существующая продукция по-прежнему соответствовала потребностям пользователей, и для определения того, какие изменения необходимо внести в продукцию для удовлетворения требований пользователей.

Персонал, занимающийся климатическим обслуживанием, должен быть вежливым и тактичным и признавать важность профессионального обслуживания; потребности пользователей могут быть срочными по многим причинам. В идеальном случае

поставщики климатического обслуживания должны иметь хорошие базовые системы связи с научно-техническими и учебными учреждениями, помогающие сотрудникам, занимающимся обслуживанием пользователей климатического обслуживания. К сотрудникам, предоставляющим климатическое обслуживание, относятся специалисты, с которыми напрямую взаимодействует население, т. е. от которых зависит репутация организации, предоставляющей обслуживание.

Информация о контактных лицах, доступных для связи различными способами, должна четко доводиться до сведения, наряду с информацией о стандартах обслуживания, таких как часы работы и время обработки заказа. Важно предложить разнообразные методы предоставления информации. Поставщики обслуживания могут иметь современную и мощную систему, поддерживающую их обслуживание, а многие пользователи могут ее не иметь. Современные коммуникации и технологии могут сейчас очень быстро передавать и доставлять данные и продукцию по сети Интернет, но в некоторых странах и при определенных условиях могут потребоваться альтернативные методы доставки. Это обеспечит устойчивость предоставляемого обслуживания.

НМГС часто имеет разветвленную систему своих подразделений, и между ними может возникнуть несоответствие стандартов, форматов и даже отдельных видов продукции. Постоянная связь и взаимодействие между такими подразделениями крайне необходимы; рекомендуется проводить совещания в формате личной встречи сотрудников на регулярной основе, и их следует планировать не реже одного раза в год. Централизованные, повсеместно применяемые оперативные процедуры и единая справочная база данных помогают обеспечить сопоставимость, чему также содействует хорошо написанная документация, стандарты качества, инструкции и наставления.

Начисление платы за предоставление информации может быть особенно чувствительной проблемой для пользователей, а также быть причиной критики и неудовлетворения, если плата не применяется единообразно либо она неоправданно высока. Поэтому важно внедрить ясную и прозрачную политику ценообразования обслуживания и выпустить инструкции по применению этой политики. Это может подразумевать официальную политику, основанную на совокупности принципов, а также ряд фактических платежей за прямое использование информации, взимаемых теми, кто предоставляет обслуживание на оперативной основе. Принципы такой политики должны быть доступны для ознакомления всем, кто участвует в предоставлении обслуживания, включая пользователей.

Предоставление обслуживания не прекращается, как только продукция или обслуживание были предоставлены. Информационно-пропагандистская работа среди пользователей и их привлечение к ней должна продолжаться, чтобы обеспечить получение обслуживания, принятие соответствующих мер, а также извлечение пользователями практической пользы в полном объеме. Национальные метеорологические и гидрологические службы должны непрерывно проводить оценку всего процесса предоставления обслуживания и его результатов. Целью такой оценки является выявление сильных сторон и областей, в которых необходимо совершенствование с точки зрения эффективности, результативности, воздействия, степени удовлетворенности и ценности для заинтересованных сторон, потребителей, пользователей, партнеров и специалистов. Говоря более конкретно, эти оценки должны быть (см. *Стратегия ВМО по предоставлению обслуживания и План ее осуществления* (ВМО-№ 1129), 4.3):

- конкретными: специально предназначенными для оцениваемой области;
- измеряемыми: возможность собирать точные и полные данные;
- дающими основания для действий: простыми для понимания, интерпретации и принятия мер на их основе;
- актуальными: оценка только тех параметров, которые важны и соответствуют целям и задачам организации. Обычной ошибкой является оценка всего, на что уходит много времени и что дает незначительные результаты;

- своевременными: выполняются без задержек;
- согласованными: согласие о приемлемых уровнях исполнения является частью оценки потребностей пользователей или соответствия целевому назначению;
- иметь обладателя: обладатели должны быть четко определены. В идеале такие обладатели должны иметь возможности, влияние и ресурсы для принятия действий в целях обеспечения достижения целей;
- последовательными: методы оценки не должны приводить к противоречию.

Одним из путей измерения удовлетворенности потребителей является проведение опросов. Опросы могут иметь несколько уровней формальности, концепций и стандартизации — от частых визитов для взаимодействия с потребителем или семинаров для пользователей до мероприятий по сбору большого количества информации с использованием стандартизированных опросов по электронной почте, Интернету или телефону. Приемлемыми и полезными являются как официальные, так и неофициальные методы массового сбора отзывов. Опросы могут проводиться через регулярные интервалы или после предоставления обслуживания. Результаты оценки уровня удовлетворенности потребителей могут оказаться важными, если их рассматривать совместно с опросами, проводимыми в виде интервью, направленных на выявление различий между восприятием потребителя и техническим исполнением.

Взаимодействие с пользователями должно быть частью структуры менеджмента качества, созданной органами управления климатическим обслуживанием на основе потребностей заказчиков (см. *Guidelines on Quality Management in Climate Services* (Руководящие принципы управления качеством при климатическом обслуживании) (WMO-No. 1221)), 2.2.1, таблица 2 и глава 6).

7.4 ИНФОРМАЦИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОДУКЦИИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ

При предоставлении климатического обслуживания важно ставить интересы пользователей на первое место. По мере того как эволюционируют потребности пользователей, технические возможности поставщиков обслуживания с течением времени также следует адаптировать. Методы распространения продукции и обслуживания подвергаются изменениям, особенно в эру современных информационных технологий, и важно, чтобы Члены были готовы перестраиваться и способны реагировать на эти изменения (см. *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и План ее осуществления* (ВМО-№ 1129), 4.1 и 4.4).

Взаимодействие между пользователями и поставщиками происходит на разнообразных уровнях от относительно пассивного взаимодействия через веб-сайты и веб-средства до гораздо более активного взаимодействия и целенаправленных деловых связей. Основываясь на потребностях пользователей, это взаимодействие может осуществляться в виде простого предоставления информации, целенаправленной доставки, основанной на диалоге, или весьма специализированного и целевого предоставления обслуживания. Эти категории переходят от более пассивного к активному механизму доставки и потенциально увеличивают количество времени и расходов, связанных с предоставлением обслуживания и его восприятием.

То, насколько хорошо пользователь интерпретирует предоставленное обслуживание, в значительной мере зависит от того, как представлена и предоставлена эта информация. По возможности, самые существенные факты следует визуальнo отображать вместе с текстом, дающим определения, уточнения особых моментов и пояснения. Представление информации должно быть логичным, ясным, лаконичным и приспособленным

специально для данного пользователя и под задачи презентации. Например, стиль изложения климатической информации для исследователей будет отличаться от стиля, используемого для написания статьи в газету или популярный журнал.

Подход, используемый для обобщения данных при подготовке периодических климатологических бюллетеней, предназначенных для широкого круга как технически подготовленных, так и неподготовленных пользователей, должен отличаться от подхода, используемого для подготовки пояснительного доклада по какой-либо специфической проблеме прикладной климатологии. Техническую информацию следует представлять пользователям с ограниченными знаниями в области наук об атмосфере в простом и понятном виде, оставаясь при этом корректным с научной точки зрения. Рекомендуется избегать применения научной терминологии и сокращений, если они не определены детально.

Более опытные пользователи смогут лучше понимать сложную информацию и наглядные материалы, но обычно желательно немного «почистить» техническую или научную информацию. Поэтому поставщики климатического обслуживания должны быть в состоянии предвидеть, изучать и понимать потребности лиц, принимающих решения в правительстве, интересы торгово-промышленных кругов, а также населения страны в целом. Они должны гарантировать, что сотрудники, занимающиеся обслуживанием пользователей, могут понимать проблемы и отвечать на вопросы и потребности пользователей на уровне современных знаний и высокой профессиональной квалификации.

Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания была создана для обеспечения заслуживающей доверия, интегрированной и уникальной платформы для руководства и поддержки деятельности, осуществляемой в областях инвестиций, чувствительных к климату, а именно: в сельском хозяйстве, энергетике, снижении риска бедствий, здоровье человека и водном секторе в поддержку как адаптации к изменению климата, так и для смягчения его последствий. Структура ГРОКО построена на пяти компонентах или основных элементах. Два из этих основных элементов актуальны для распространения обслуживания:

- Платформа взаимодействия с пользователями: структура, предназначенная для взаимодействия пользователей, климатологов и поставщиков климатической информации на всех уровнях;
- Информационная система климатического обслуживания: механизм, с помощью которого информация о климате (прошлом, настоящем и будущем) будет регулярно собираться, храниться и обрабатываться для формирования продукции и обслуживания, которые информируют подчас сложный процесс принятия решений по широкому спектру чувствительной к климату деятельности и предприятий.

Цель Платформы взаимодействия с пользователями состоит в содействии эффективному принятию решений в отношении климатических факторов путем обеспечения доставки, понимания и использования нужной информации в нужное время и в нужном объеме. Платформа использует широкий круг методов, предназначенных для содействия взаимопониманию, включая официально созданные комитеты, рабочие группы, программы стажировок, личные беседы, семинары, конференции и межведомственные целевые группы. Широко используются также коммуникационные подходы, информационно-просветительская работа и обучение. Это включает радиовещание, объявления в государственных и социальных сетях и использование таких технологий, как интерфейсы картирования, порталы и информационные серверы. Во многих областях этой работы существуют благоприятные возможности для опоры на уже хорошо отработанные диалоги или механизмы, демонстрирующие растущую эффективность, например, региональные форумы по ориентировочным прогнозам климата, рабочие группы по связям с общественностью в организациях по чрезвычайным ситуациям, национальные рабочие группы по вопросам здравоохранения. Предлагаемое расширенное взаимодействие между пользователями и поставщиками имеет целью согласовать наличие вызывающей доверие климатической информации

с потребностями пользователей в информации в поддержку принятия решений. Это взаимопонимание позволит затем построить сквозное климатическое обслуживание, способное разрабатывать полезную продукцию. Члены ВМО, уже внедрившие систему менеджмента качества (СМК), скорее всего сосредоточатся на удовлетворении потребностей пользователей и будут рассматривать менеджмент качества как ключевой аспект предоставления обслуживания.

Информационная система климатического обслуживания является средством, при помощи которого результаты исследований и технологические разработки преобразуются в более совершенную оперативную климатическую информацию. Информационная система климатического обслуживания включает физическую инфраструктуру институтов, вычислительные возможности, инструменты и оперативные практики. Вместе с профессиональными людскими ресурсами она обеспечивает разработку, подготовку и распространение широкого перечня климатической информационной продукции и обслуживания, используемых в глобальном, региональном и национальном масштабах.

7.5 ВОПРОСЫ МАРКЕТИНГА УСЛУГ И ПРОДУКЦИИ

Коммуникационное взаимодействие жизненно важно для создания позитивной идеи о ценности климатического обслуживания. Оно повышает информированность о необходимости в таком обслуживании и его выгодах и помогает отдельным лицам и организациям в принятии решений, имеющих отношение к климату. В этой связи всеобъемлющая коммуникационная стратегия предоставления климатического обслуживания должна содержать перечень целей и определять пути их достижения, используя многочисленные методы коммуникации и средства массовой информации.

Коммуникационное взаимодействие является важным аспектом маркетинга, а не просто рекламой и продажей климатического обслуживания. Оно также позволяет потенциальным пользователям узнать, какие виды обслуживания и продукции доступны, понять применение этого обслуживания и продукции, получить представление о полезности информации, как это описано в *Стратегии ВМО в области предоставления обслуживания и Плана ее осуществления* (ВМО-№ 1129), 4.3. Маркетинг, связи с общественностью, а также реклама, продвижение и распространение климатической информации имеют принципиальное значение для успешного осуществления большинства видов климатического обслуживания. Маловероятно, что климатическая информация сама по себе является достаточной: зачастую она нуждается в дополнительной неклиматической информации, чтобы стать экономически и социально полезной. Выгоды от использования продукции должны быть предметом сбыта. Это объясняется тем, что актуальность климатической информации не всегда очевидна для тех, кто в состоянии воспользоваться выгодами от климатической продукции или тех, кто утверждает финансирование климатических программ. Выгоды и ценность использования продукции должны быть четко продемонстрированы с помощью социальных и экономических показателей. Необходимы исследования для оценки ценности климатического обслуживания. Такие исследования не должны входить в круг обязанностей одних только климатологов, а проводиться совместно с заинтересованными сторонами. Один из способов показать, насколько эффективно обслуживание — это продемонстрировать его ценность пользователям.

Характеристики эффективной программы маркетинга и коммуникационного взаимодействия включают:

- концентрацию внимания на потребностях пользователей путем получения ясного представления о проблемах и требованиях пользователей и о том, как используется климатическая информация;
- наращивание потенциала для поставщиков климатического обслуживания и пользователей;

- определение рынка сбыта;
- пропагандирование полезности климатического обслуживания и продукции для пользователей;
- разработку продукции или обслуживания для конкретных потребностей пользователей и содействие их применению для решения задач пользователей;
- содействие приобретению профессионального опыта сотрудниками персонала климатического обслуживания;
- принятие решений о методах обеспечения доступности продукции или ее доставки и предоставление альтернатив в распоряжение пользователей;
- оценку экономических показателей производства продукции и предоставления обслуживания;
- информирование пользователей с помощью мероприятий информационно-рекламного характера и поддержания контактов с общественностью;
- отслеживание уровня удовлетворенности пользователей и оценивание качества обслуживания и маркетинговой деятельности;
- обеспечение поддержания доверия к климатическому обслуживанию и его устойчивости путем обеспечения прозрачности в отношении достоверности и ограничений, свойственных предлагаемой продукции и обслуживанию.

Наращивание потенциала по всем аспектам предоставления обслуживания должно быть частью соответствующих мероприятий по подготовке кадров. Такая деятельность должна также включать информацию о пользователях климатической продукции, их процессах принятия решения и о том, каким образом они применяют климатологическую информацию для принятия решений (см. *Приложение к Плану осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания — Развитие потенциала*, глава 5). Зачастую пользователи имеют ограниченное представление о качестве обслуживания, которое они получают, и даже о том, что точно они получают или насколько адекватна информация. В связи с этим также весьма желательно обучать пользователей и заказчиков тому, как извлекать максимальную выгоду из продукции и обслуживания и обеспечивать, чтобы они имели полное представление о возможностях НМГС.

Связи с деятельностью по развитию потенциала часто бывают наиболее эффективными, если они сконцентрированы на услугах и предоставлении обслуживания и учитывают инфраструктуру, людские и институциональные возможности, необходимые для предоставления обслуживания. Национальные метеорологические и гидрологические службы смогут внести более эффективный вклад в планы развития своих стран, если обслуживание, которое они предоставляют, будет разрабатываться с учетом потребностей пользователей. Это будет способствовать тому, чтобы пользователи высоко ценили обслуживание, а метеорологическое и гидрологическое обслуживание поддерживалось и совершенствовалось.

ССЫЛКИ

- Всемирная метеорологическая организация, 2014: *План осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания*. Женева.
- , 2014: *Приложение к Плану осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания — Компонент Информационной системы климатического обслуживания*. Женева.
- , 2014: *Приложение к Плану осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания — Компонент развития потенциала*. Женева.
- , 2014: *Стратегия ВМО в области предоставления обслуживания и план ее осуществления (ВМО-№ 1129)*. Женева.
- World Meteorological Organization, 2016: *Climate Services for Supporting Climate Change Adaptation - Supplement to the Technical Guidelines for the National Adaptation Plan Process (WMO-No. 1170)*. Geneva.
- , 2018: *Guidelines on Quality Management in Climate Services (WMO-No. 1221)*. Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- American Meteorological Society, 1993: Guidelines for using color to depict meteorological information. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74:1709–1713.
- Brohan, P., J.J. Kennedy, I. Harris, S.F.B. Tett and P.D. Jones, 2006: Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research*, 111:D12106.
- Hargreaves, G.H., 1975: Moisture availability and crop production. *Transaction of the ASAE*, 18:980–984.
- Jones, P.D., M. New, D.E. Parker, S. Martin and I.G. Rigor, 1999: Surface air temperature and its changes over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, 37:173–199.
- Khambete, N.N., 1992: Agroclimatic classification for assessment of the crop potential of Karnataka. *Mausam*, 43(1):91–98.
- MacCracken, M., 2002: Do the uncertainty ranges in the IPCC and U.S. National Assessments account adequately for possibly overlooked climatic influences? *Climatic Change*, 52:13–23.
- Palmer, W.C., 1965: Meteorological Drought. *Weather Bureau Research Paper No. 45*. Washington, DC, United States Department of Commerce.
- Peterson, T.C., 2005: Climate change indices. *WMO Bulletin*, 54:83–86.
- Peterson, T.C. and M.J. Manton, 2008: Monitoring changes in climate extremes: A tale of international cooperation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89:1266–1271.
- Rayner, N.A., P. Brohan, D.E. Parker, C.K. Folland, J.J. Kennedy, M. Vanicek, T. Ansell and S.F.B. Tett, 2006: Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: The HadSST2 dataset. *Journal of Climate*, 19:446–469.
- Sarker, R.P. and B.C. Biswas, 1988: A new approach to agroclimatic classification to find out crop potential. *Mausam*, 39(4):343–358.
- Tufte, E.R., 1990: *Envisioning Information*. Cheshire, Connecticut, Graphic Press.
- United States Global Change Research Program Office (USGCRP), 2000: *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. Washington, DC.
- Wang, B. and Z. Fan, 1999: Choice of South Asian summer monsoon indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80:629–638.
- Wilhelm, W.W., K. Ruwe and M.R. Schlemmer, 2000: Comparisons of three Leaf Area Index meters in a corn canopy. *Crop Science*, 40:1179–1183.
-

ПРИЛОЖЕНИЕ. МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА

1. КООРДИНАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА

Комиссия по климатологии отвечает за содействие активизации и развитию деятельности, касающейся климата и его взаимосвязи с благосостоянием человека, социально-экономической деятельностью, природными экосистемами и устойчивым развитием. В частности, Комиссия:

1. координирует и консолидирует общие стандарты в отношении наблюдений, сбора данных, архивации и обмена данными для всех компонентов Всемирной климатической программы;
2. определяет наилучшие практические методы управления климатическими данными, включая данные в режиме почти реального времени, косвенные данные, данные дистанционного зондирования и метаданные (информация о данных);
3. содействует распространению данных, продукции и методов в поддержку научных исследований, применений, проведения оценок воздействий и мониторинга климатической системы;
4. поддерживает подготовку авторитетных заявлений о климате, включая ежегодные заявления о состоянии глобального климата и регулярное обновление информации об Эль-Ниньо и Ла-Нинья;
5. оценивает и рассматривает разработки и применения оперативных предсказаний климата;
6. определяет приоритеты для изучения климатов в природных и регулируемых экосистемах и для предоставления климатической информации, которая может помочь облегчить проблемы, возникающие в результате влияния деятельности человека на региональный климат;
7. поддерживает наращивание потенциала и передачу технологии;
8. содействует научным исследованиям и оценке роли климата в ключевых социальных и экономических секторах при партнерстве с другими техническими комиссиями ВМО, другими агентствами Организации Объединенных Наций и соответствующими международными и региональными учреждениями;
9. оценивает потенциал для применения сезонных предсказаний и других видов климатического обслуживания на благо социально-экономической деятельности, включая уменьшение риска связанных с климатом явлений и оптимального использования климата как ресурса;
10. предоставляет консультации по вопросам, связанным с оценкой и наличием климатологических данных и обслуживания.

Комиссия содействует популяризации деятельности многих национальных, региональных и глобальных организаций, занимающихся вопросами климата, и опирается на эту деятельность. Помимо НМГС эти структуры включают Продовольственную и сельскохозяйственную организацию Объединенных Наций (ФАО); Всемирную организацию здравоохранения (ВОЗ); Всемирную туристскую организацию Организации Объединенных Наций (ЮНВТО); Программу Организации Объединенных Наций по населенным пунктам (ООН-Хабитат); Программу Организации Объединенных Наций по

окружающей среде (ЮНЕП); Программу развития Организации Объединенных Наций (ПРООН); Организацию Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). Комиссия по климатологии также активно работает с неправительственными организациями, такими как Международная федерация обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (МФКК), Международный научный совет (МНС, бывший Международный совет по науке (МСНС)), научно-исследовательские институты, университеты, профессиональные ассоциации и агентства по развитию, такие как Всемирный банк.

2. **ВСЕМИРНАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА**

В 1970-х годах стало очевидно, что необходимы усилия по укреплению международной координации для устранения пробелов в понимании климата и учета разнообразных климатических воздействий на общество и окружающую среду, некоторые из которых благоприятные, а другие — вредные. В 1974 году Исполнительный совет Всемирной метеорологической организации постановил, что ВМО следует инициировать международную программу по климату и заложить фундамент Всемирной климатической программе. В 1978 году Экономический и социальный совет Организации Объединенных Наций предложил ВМО уделить особое внимание тем аспектам Программы, которые обеспечат незамедлительную и эффективную помощь национальным органам планирования и лицам, принимающим решения, в составлении экономических и социальных программ и деятельности в своих соответствующих странах.

Первая Всемирная климатическая конференция в феврале 1979 года признала, что проблема возможного влияния человека на климат является вопросом особой важности. В декларации Конференции подчеркивается срочная необходимость того, чтобы «все страны мира в полной мере а) использовали имеющиеся знания человека о климате; б) предпринимали шаги для значительного повышения уровня этих знаний; с) предвидели и предотвращали потенциальное антропогенное изменение климата, которое может неблагоприятным образом сказываться на благополучии человечества».

Восьмой Всемирный метеорологический конгресс официально основал Всемирную климатическую программу в 1979 году, признавая, что необходимо сотрудничество многих агентств Организации Объединенных Наций для поддержки Программы. Ответственность за всеобщую координацию Программы и за климатические данные и применения была возложена на ВМО, в то время как ЮНЕП взяла на себя ответственность за исследования климатических воздействий, а ВМО вместе с МНС договорились совместно осуществлять программу исследований климата. Структура Всемирной климатической программы и партнеры, сотрудничающие с ВМО, со временем менялись.

Существует четыре основных компонента Всемирной климатической программы. Всемирная программа климатических данных и мониторинга (ВПКДМ) содействует эффективному сбору климатических данных, управлению ими и мониторингу глобальной климатической системы, включая обнаружение изменчивости и изменения климата. Всемирная программа климатических применений и обслуживания (ВПКПО) стимулирует расширение научных знаний о роли климата в деятельности человека, эффективное применение климатических знаний и информации на благо общества, адресное климатическое обслуживание для пользователей в различных социально-экономических секторах и предсказание значительных колебаний климата (как естественных, так и в результате деятельности человека). Проект обслуживания климатической информацией и предсказаниями (КЛИПС) был учрежден ВМО в качестве инструмента осуществления ВПКПО. Всемирная программа оценки влияния климата и стратегий реагирования (ВПКР), осуществляемая ЮНЕП, оценивает воздействия изменчивости и изменений климата, которые могут существенно повлиять на экономическую и социальную деятельность, и консультирует правительства по этим вопросам; она также вносит вклад в разработку ряда стратегий социально-экономического реагирования и может быть использована правительствами и общественностью. Всемирная программа исследований климата (ВПИК) совместно спонсируемая ВМО, МНС и Межправительственной

океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО, стремится к расширению базовых научных знаний климатических процессов для определения предсказуемости климата, изменчивости и изменения климата и степени воздействия человека на климат, а также расширить возможности предсказания климата. Деятельность и проекты ВПИК включают исследования динамики и термодинамики атмосферы Земли, взаимодействия атмосферы с поверхностью Земли и глобальным гидрологическим циклом; изменчивости и предсказуемости климата; взаимодействия динамических, радиационных и химических процессов; взаимодействия криосферы с остальной частью климатической системы; и биогеохимических и физических взаимодействий между океаном и атмосферой.

Вторая Всемирная климатическая конференция, проведенная в 1990 году, признала срочную необходимость в сборе всесторонней информации о свойствах и эволюции климатической системы Земли для обнаружения изменения климата, поддержки климатических применений для экономического развития и развития климатической науки и предсказаний. Одиннадцатый Всемирный метеорологический конгресс в 1991 году постановил учредить глобальную систему наблюдений за климатом. Эта система должна была основываться на координации и ассоциации существующих и запланированных оперативных и исследовательских программ для наблюдения за глобальной окружающей средой и на дальнейшем развитии тех программ, которые требуются для обеспечения непрерывности информации на протяжении десятилетий.

В 1992 году была официально учреждена Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК) согласно меморандуму о взаимопонимании между ВМО, МОК-ЮНЕСКО, ЮНЕП и Международным советом по науке (сейчас МНС). Хотя ГСНК не производит непосредственных измерений и не формирует продукцию данных, она тесно сотрудничает и строит свою работу с существующими и разрабатываемыми системами наблюдений и обеспечивает рамки для интеграции систем участвующих стран и организаций. Системы и сети включают:

- Сеть приземных наблюдений ГСНК (СПНГ) и аэрологическую сеть ГСНК (ГУАН) (подсистемы Глобальной системы наблюдений Всемирной службы погоды ВМО);
- Глобальную службу атмосферы ВМО (ГСА);
- Базовую сеть приземной радиации ВПИК/Глобального эксперимента по изучению энергетического и водного цикла (ГЭВЭКС);
- Глобальную систему наблюдений за океаном (ГСНО), включая такие системы наблюдения за океаном, как Глобальная система наблюдений за уровнем моря;
- Глобальную систему наблюдений за поверхностью суши, включая Глобальную сеть наблюдений за поверхностью суши — ледники и Глобальную сеть наблюдений за поверхностью суши — многолетняя мерзлота;
- Всемирную систему наблюдений за гидрологическим циклом.

Концепция проведения скоординированных комплексных наблюдений за Землей была поддержана на первой Встрече на высшем уровне по наблюдениям за Землей в 2003 году. На третьей Встрече на высшем уровне по наблюдениям за Землей, проведенной в 2005 году, была официально учреждена Глобальная система систем наблюдений за Землей (ГЕОСС), которая должна была основываться на существующих национальных, региональных и международных системах наблюдений и укрепить и повысить их эффективность за счет улучшения координации, устранения существенных пробелов, поддержания функциональной совместимости, обмена информацией, достижения общего понимания потребностей пользователей и улучшения предоставления информации пользователям. ГЕОСС оказывает поддержку ГСНК путем расширения ряда связанных с климатом переменных, указанных в Плане осуществления ГСНК, а также посредством содействия сторонам в выполнении ими обязательств по Рамочной конвенции Организации Объединенных наций об изменении климата (см. 4 ниже).

Третья Всемирная климатическая конференция, состоявшаяся в 2009 году, была организована ВМО при сотрудничестве с ЮНЕСКО, ЮНЕП, ФАО, МСНС (сейчас МНС) и другими межправительственными и неправительственными партнерами. Темой Конференции было «Предсказание климата и информация для принятия решений», и ее видение было направлено на «международную рамочную основу для климатического обслуживания, которая объединяет научно обоснованные предсказания климата и информацию с управлением связанными с климатом рисками и благоприятными возможностями для адаптации к изменчивости и изменению климата как в развитых, так и развивающихся странах». Эта конференция предоставила нациям благоприятную возможность для совместного рассмотрения соответствующей Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО) в течение предстоящих десятилетий, которая помогла бы обеспечить доступ каждой стране и каждому отдельному чувствительному к климату сектору общества к расширяющейся гамме климатического прогностического и информационного обслуживания, ставшей возможным благодаря новейшим и появляющимся достижениям науки и техники в области климата на международном уровне.

3. ПРОГРАММА ДЕЙСТВИЙ ПО КЛИМАТУ

В начале 1990-х годов развитие все более тесного сотрудничества между связанными с климатом программами ряда международных организаций привело к учреждению ВМО Координационного комитета Всемирной климатической программы. В 1995 году был выпущен проект межучережденческого документа, озаглавленного «Программа действий по климату — международные программы, связанные с климатом: предложение по объединяющей структуре». Четыре основных направления деятельности явились новыми рубежами в климатологии и предсказании климата, климатическом обслуживании в целях устойчивого развития, специальных наблюдениях за климатической системой и изучении оценок влияния климата и стратегий реагирования в целях уменьшения уязвимости. Ведущую роль в деятельности по этим основным направлениям играли ВМО, ФАО и ЮНЕП.

Двенадцатый Всемирный метеорологический конгресс в 1995 году принял Программу действий по климату и учредил Межучережденческий комитет по Программе действий по климату. Комитет выработал первоначальные руководящие указания, однако быстрое развитие событий по вопросам, касающимся климата, привело ВМО к тому, чтобы на пятьдесят третьей сессии ее Исполнительного совета (2001 г.) рассмотреть новые механизмы климатической координации. На своей шестьдесят первой сессии в 2009 году Исполнительный совет ВМО решил не возобновлять деятельность Межучережденческого комитета по Программе действий по климату, а использовать инициативу ООН «Единство действий» для координации климатических вопросов на уровне Организации Объединенных Наций.

4. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОГРАММЫ ПО ПРОБЛЕМЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

На Первой Всемирной климатической конференции в 1979 году международное сообщество специалистов-климатологов выразило озабоченность по поводу того, что «продолжающееся расширение деятельности человека на Земле может вызвать значительные длительные изменения климата на региональном и даже на глобальном уровнях», и призвало к глобальному сотрудничеству с целью «изучения возможного будущего хода изменения климата и принятия во внимание этого нового понимания при планировании будущего развития человеческого общества». На климатической конференции в Виллахе, Австрия, в 1985 году ученые из 29 развитых и развивающихся стран пришли к выводу о том, что возрастающая концентрация парниковых газов, по всей видимости, вызовет значительное потепление глобального климата в следующем столетии, о чем подробно говорится в *Report of the International Conference on the Assessment*

of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts (Отчет Международной конференции по оценке роли диоксида углерода и других газов, вызывающих парниковый эффект, в изменчивости климата и связанных с этим последствиях) (WMO-No. 661) (см. Working Group III – Impact on climate change, Impact of greenhouse gases on climate, с. 56–57). Они также отметили, что климатические данные за прошедшие годы больше не могут быть надежным ориентиром для долгосрочных проектов из-за ожидаемого потепления глобального климата, что изменение климата и повышение уровня моря тесно связаны с другими важными вопросами, касающимися окружающей среды, что некоторое потепление, по-видимому, представляется неизбежным из-за деятельности в прошлом и что на будущие темпы и величину потепления может оказать сильное влияние политика в области выбросов парниковых газов. В ответ на эту озабоченность ЮНЕП, ВМО и МСНС (сейчас МНС) учредили в 1986 году Консультативную группу по парниковым газам для обеспечения проведения периодических оценок состояния научных знаний по проблеме изменения климата и его последствий.

В 1987 году Десятый Всемирный метеорологический конгресс признал необходимость в объективной, сбалансированной и скоординированной на международном уровне научной оценке понимания последствий увеличения концентрации парниковых газов для климата Земли и того, каким образом эти изменения могут повлиять на социально-экономические модели развития. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде и ВМО договорились о создании межправительственной структуры для обеспечения проведения научных оценок изменения климата, и Исполнительный совет ВМО при поддержке ЮНЕП учредил в 1988 году Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК) для рассмотрения потребности:

- в выявлении неопределенностей и пробелов в наших имеющихся знаниях об изменении климата и его потенциальных последствиях и в подготовке в короткие сроки плана действий по ликвидации этих пробелов;
- в отборе информации, необходимой для оценки связанных с изменением климата последствий для экономической политики и стратегий реагирования;
- в обзоре текущей и планируемой национальной и международной политики по вопросам, связанным с парниковыми газами;
- научных и экологических оценках всех аспектов проблемы парниковых газов и передаче этих оценок и другой соответствующей информации правительствам и межправительственным организациям, с тем чтобы такие оценки могли учитываться при выработке политики в области социально-экономического развития и программ по окружающей среде.

В ноябре 1988 года МГЭИК учредила рабочие группы для подготовки докладов об оценке имеющейся научной информации об изменении климата (Рабочая группа I), экологических, социальных и экономических последствий изменения климата (Рабочая группа II) и разработки стратегий реагирования (Рабочая группа III). Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций на своей сорок третьей сессии одобрила действия ВМО и ЮНЕП по учреждению МГЭИК и поручила:

«подготовить всеобъемлющий обзор и рекомендации в отношении:
а) состояния научных знаний о климате и климатических изменениях;
б) программ и исследований в области социально-экономических последствий изменения климата, включая глобальное потепление;
с) возможных стратегий реагирования с целью отсрочки, ограничения или смягчения последствий неблагоприятных климатических изменений».

МГЭИК утвердила свой первый оценочный доклад 30 августа 1990 года. Его выводы, а также итоги Второй Всемирной климатической конференции, проведенной в том же году, побудили правительства принять Рамочную конвенцию Организации Объединенных

Наций об изменении климата, которая вступила в силу в марте 1994 года. Вторым оценочный доклад МГЭИК был завершен в конце 1995 года, третий — в 2001 году, четвертый — в 2007 году и пятый — в 2014 году. Доклады, выпущенные МГЭИК, часто используются для информационного обоснования при формировании решений, принимаемых в соответствии с Рамочной конвенцией. Они также сыграли ключевую роль на переговорах, результатом которых стал Киотский протокол — международный договор, вступивший в силу в феврале 2005 года, который основывается на Рамочной конвенции и юридически зафиксировал обязательные цели и временные рамки для сокращения эмиссии парниковых газов в промышленно развитых странах. Доклады МГЭИК, как источники наилучшей имеющейся научной информации, являются руководством к осуществлению Парижского соглашения. Основанное на научных выводах Пятого оценочного доклада, Парижское соглашение стало крупным достижением Конференции сторон на ее двадцать пятой сессии в 2015 году. Цель соглашения состоит в том, чтобы ограничить рост глобальной температуры на уровне ниже 2 °С и стремиться к ограничению такого повышения ниже 1,5 °С. Оценочные доклады МГЭИК, базирующиеся на результатах работы сотен ученых со всего мира, создают возможности для политиков на всех уровнях правительства принимать рациональные, основанные на фактических данных решения. Присуждение в 2007 году МГЭИК и г-ну Альберту Гору, бывшему вице-президенту Соединенных Штатов Америки, Нобелевской премии мира свидетельствует о выдающемся успехе МГЭИК в деле информирования политиков и широкой общественности о научном обосновании проблемы изменения климата.

ССЫЛКИ

- Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), 2014: *Пятый оценочный доклад (ОД5)*, <https://ipcc.ch/report/ar5>.
- Рамочная конвенция ООН об изменении климата, 2017: Парижское соглашение, http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php.
- World Meteorological Organization, 1986: *Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts* (Villach, Austria, 9–15 October 1985) (WMO-No. 661). Geneva.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Group on Earth Observations (GEO), 2005: *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS): 10-year Implementation Plan*. Reference Document GEO 1000R/ESA SP-1284. Noordwijk, European Space Agency Publications Division, ESTEC.
- , 2007: *GEO 2007–2009 Work Plan. Toward Convergence*. Geneva.
- United Nations System Chief Executives Board for Coordination, 2008: *Acting on Climate Change: The UN System Delivering as One*. New York.
- World Climate Research Programme, 2009: *The World Climate Research Programme Achievements: Scientific Knowledge for Climate Adaptation, Mitigation and Risk Management* (WMO/TD-No. 1499). Geneva.
- , 2009: *WCRP Implementation Plan 2010-2015* (WMO/TD-No. 1503). Geneva.
- , 2013: *The World Climate Research Programme Accomplishment Report*, https://www.wcrp-climate.org/images/documents/reports_flyers/WCRP_report03_2012.pdf.
-

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

Э-почта: cra@wmo.int

public.wmo.int