

Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков



Всемирная
Метеорологическая
Организация

Погода · Климат · Вода

ВМО-№ 1090

Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков



**Всемирная
Метеорологическая
Организация**
Погода • Климат • Вода

2012

ВМО-№ 1090

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Терминологическая база данных ВМО «МЕТЕОТЕРМ» доступна по адресу: http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteo_term_wmo_en.html. С сокращениями можно также ознакомиться по адресу: http://www.wmo.int/pages/themes/acronyms/index_en.html.

ВМО-№ 1090

© **Всемирная Метеорологическая Организация, 2012**

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикации 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 80 40
Э-почта: publications@wmo.int

ISBN 978-92-63-41090-0

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 неупомянутыми или непрорекламированными компаниями или продукцией.

Заключения, толкования и выводы, представленные в публикациях ВМО с указанием авторов, принадлежат этим авторам и не обязательно отражают точку зрения ВМО или ее стран-членов.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	1
1. Справочная информация	3
2. Введение к стандартизированному индексу осадков	3
3. Описание стандартизированного индекса осадков	4
4. Сильные и слабые стороны	6
5. Толкование: описание пространственной и временной гибкости	7
5.1 Сопоставление кратко- и долгосрочных значений стандартизированного индекса осадков	8
5.1.1 Одномесячный СИО	8
5.1.2 Трехмесячный СИО	9
5.1.3 Шестимесячный СИО	9
5.1.4 Девятимесячный СИО	10
5.1.5 12-24-месячный СИО	10
6. Методология расчетов	10
6.1 Методология СИО	11
6.2 Принцип работы	11
7. Как получить программу	11
8. Как осуществлять прогон программы в Windows	12
9. Возможности картирования	15
Ссылки	18
Другие онлайн-ресурсы	18

РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ИНДЕКСА ОСАДКОВ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В течение ряда лет шло активное обсуждение вопроса о том, какие индексы засухи следует использовать в конкретном климате и для какого применения. Были подготовлены многочисленные определения и индексы засухи и предпринимались попытки предоставить некоторое руководство по этому вопросу.

С учетом вышесказанного 8-11 декабря 2009 г. в Университете Небраски в городе Линкольн, Соединенные Штаты Америки, был организован и проведен Межрегиональный практический семинар по индексам засухи и системам заблаговременного предупреждения о засухе. Он совместно спонсировался Школой природных ресурсов (ШПР) Университета Небраски, Национальным центром США по смягчению последствий засухи (НЦСПЗ), Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО), Национальным управлением США по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), Министерством сельского хозяйства США (МСХ США) и Конвенцией Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием (КБООН). На семинар прибыли 54 участника, представляющие 22 страны всех регионов мира. Они рассмотрели индексы засухи, используемые в настоящее время в различных регионах мира для объяснения явлений метеорологической, сельскохозяйственной и гидрологической засухи; провели оценку потенциала для сбора информации о воздействиях засухи; провели обзор существующих и появляющихся технологий для мониторинга засухи и обсудили потребность в согласованных стандартных индексах для описания различных типов засух.

На этом совещании эксперты разработали и утвердили Линкольнскую декларацию по индексам засухи, рекомендующую использование стандартизированного индекса осадков (СИО) всеми национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС) всего мира для характеристики метеорологических засух в дополнение к другим индексам засухи, которые используются в их работе. Линкольнская декларация также рекомендовала разработать всеобъемлющее руководство для пользователей СИО. В июне 2011 г. Шестнадцатый Всемирный метеорологический конгресс принял резолюцию в поддержку обеих этих рекомендаций. Конгресс также распорядился, чтобы наставление по СИО было опубликовано и распространено на всех официальных языках Организации Объединенных Наций.

С полным текстом Линкольнской декларации по индексам засухи можно ознакомиться на веб-сайте ВМО по адресу: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/wies09/documents/Lincoln_Declaration_Drought_Indices.pdf.

ВМО хотела бы выразить благодарность Марку Свободе, Майклу Хейзу и Деборе А. Вуд из Национального центра по смягчению последствий засухи (НЦСПЗ) Университета Небраски за подготовку настоящего Руководства для пользователей стандартизированного индекса осадков¹. Мы надеемся, что оно поможет странам и учреждениям понять методику расчета и использования СИО для разработки или дальнейшего совершенствования своего собственного мониторинга засухи и потенциала для заблаговременного предупреждения об этом явлении.

Любые вопросы или замечания по содержанию настоящего руководства, включая предложения по его улучшению, просьба направлять по электронной почте в Отдел сельскохозяйственной метеорологии ВМО по адресу: agm@wmo.int.

¹ Ссылку на это руководство следует делать следующим образом: Всемирная Метеорологическая Организация, 2012 г.: *Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков* (М. Свобода, М. Хайес и Д. Вуд. (ВМО-№ 1090), Женева.

1. СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Засуха является постепенно развивающимся, опасным природным явлением, возникающим в результате более низкого количества осадков по сравнению с тем, которое считается нормальным. В тех случаях когда это явление продолжается в течение сезона или более длительного периода времени, осадков не хватает для того, чтобы удовлетворять потребности, связанные с деятельностью человека и окружающей средой. Засуха должна рассматриваться в качестве относительного, а не абсолютного состояния. Существуют также многочисленные различные методологии для мониторинга засухи. Засухи являются региональными по своей протяженности, и каждый регион обладает особыми климатическими характеристиками. Засухи, которые происходят на североамериканских Великих равнинах, будут отличаться от тех, которые наблюдаются в северо-восточной Бразилии, южной части Африки, западной Европе, восточной Австралии или на Северокитайской равнине. В каждом из этих мест объем, сезонный характер и форма осадков значительно отличаются друг от друга.

Температура, ветер и относительная влажность также являются важными факторами, которые необходимо включать в характеристику засухи. Мониторинг засухи также должен соответствовать конкретному применению, поскольку воздействия засухи будут разными для отдельных секторов. Засуха означает разные вещи для разных пользователей, таких как управляющие в водохозяйственном секторе, сельскохозяйственные производители, операторы гидроэлектростанций и биологи, изучающие дикую природу. Даже в рамках секторов существуют многие разные перспективы засухи, поскольку воздействия могут резко отличаться друг от друга. Засухи обычно классифицируются по типу на метеорологические, сельскохозяйственные и гидрологические и отличаются по своей интенсивности, продолжительности и пространственной протяженности.

2. ВВЕДЕНИЕ К СТАНДАРТИЗИРОВАННОМУ ИНДЕКСУ ОСАДКОВ

С годами были разработаны и использовались метеорологами и климатологами всего мира многие индексы засухи. Эти индексы варьировались от таких простых индексов, как процент нормальных осадков и процентилей осадков, до таких более сложных индексов, как индекс интенсивности засухи Палмера. Однако ученые в Соединенных Штатах Америки пришли к заключению, что индекс должен быть простым, легким для расчета и статистически соответствующим и значимым. Помимо этого, понимание различного воздействия дефицита на подземные воды, водохранилища, влажность почвы, снежный покров и речной поток, привело к тому, что в 1993 г. американские ученые Макки, Доускен и Кляйст разработали стандартизированный индекс осадков (СИО).

СИО (МакКее и другие, 1993, 1995) — это эффективный и гибкий индекс, который легко рассчитывать. Фактически единственным необходимым исходным параметром являются осадки. Помимо того, этот индекс в равной степени эффективен при анализе влажных периодов/циклов, как и при анализе сухих периодов/циклов. Программа может работать как в среде Windows, так и в среде UNIX. В настоящем руководстве для пользователей СИО описана версия для среды Windows.

В идеальном варианте требуются ежемесячные значения по меньшей мере за 20-30 лет, при этом оптимальным и предпочтительным сроком является период в 50-60 лет (или более того) (Guttman, 1994). Программа может работать при недостающих данных, однако это повлияет на достоверность результатов, которые зависят от распределения отсутствующих данных относительно продолжительности

регистрируемых данных. С дополнительной информацией по использованию можно ознакомиться в разделе 6 «Методология расчетов».

Климатологи предпочли бы иметь серийно полные комплекты данных, что означает, что не должно быть никаких отсутствующих данных. Однако существует большая вероятность того, что комплекты данных будут полными только на 90 или даже на 85 %. В реальности многие пользователи не имеют подобной роскоши и могут рассчитывать на еще меньший показатель (полнота данных — 75-85 %), если только они не обращаются к расчетным методам для заполнения пробелов в зарегистрированных данных. Разумеется, во многих случаях длительные и первоначальные записи данных не являются ни практичными, ни типичными, в связи с чем пользователю необходимо помнить о статистических ограничениях экстремальных явлений при работе с более краткими периодами записей данных по различным местоположениям. В конечном итоге, пользователям приходится выносить субъективное решение в отношении того, какой предел отсутствующих данных им необходимо включить в расчеты и анализы СИО. В зависимости от достоверности и метода расчета использование расчетных данных является приемлемым. Естественно, чем меньше используются расчетные данные, тем лучше.

3. ОПИСАНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ИНДЕКСА ОСАДКОВ

Общее представление: СИО основан на вероятности осадков в любом временном масштабе. Вероятность наблюдаемых осадков преобразуется затем в индекс. Он используется в исследовательском или оперативном режиме в более чем 70 странах.

Кто им пользуется: Многие специалисты, занимающиеся планированием действий на случай засухи, высоко оценивают универсальный характер СИО. Он также используется очень многими научно-исследовательскими институтами, университетами и национальными метеорологическими и гидрологическими службами во всем мире в рамках деятельности по мониторингу засухи и заблаговременному предупреждению о ней.

Сильные стороны: Осадки — единственный исходный параметр. СИО может рассчитываться для разных временных масштабов, предоставлять заблаговременное предупреждение о засухе и способствовать оценке интенсивности засухи. Он менее сложен по сравнению с индексом интенсивности засухи Палмера и многими другими индексами.

Слабые стороны: Может предоставлять только количественную оценку дефицита осадков; значения, основанные на предварительных данных, могут меняться; значения меняются по мере увеличения периода регистрации данных.

Разработчики: Т. Б. Макки, М. Дж. Доускен и Дж. Кляйст, Университет штата Колорадо, 1993 г.

СИО был разработан для количественной оценки дефицита осадков во многочисленных временных масштабах. Эти временные масштабы отражают воздействие засухи на наличие различных водных ресурсов. Состояние влажности почвы реагирует на аномалии осадков в относительно кратком масштабе. Состояние подземных вод, речного стока и резервуаров отражает долгосрочные аномалии осадков. В силу этих причин Макки и другие ученые (1993 г.) первоначально рассчитали СИО для временных масштабов в 3, 6, 12, 24 и 48 месяцев.

Расчет СИО для любого места основан на долгосрочной записи данных об осадках в течение желаемого периода. Эта долгосрочная запись аппроксимируется распределением вероятностей, которое затем преобразуется в нормальное распределение, с тем чтобы средний СИО для данного места и желаемого периода был равен нулю (Edwards and McKee, 1997). Положительные значения СИО указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные – ниже среднего. Поскольку СИО нормализуется, более влажные или сухие климаты могут быть представлены одинаковым образом; соответственно, при помощи СИО может также осуществляться мониторинг дождливых периодов.

Макки и другие ученые (1993 г.) использовали систему классификации, показанную ниже в таблице значений СИО (таблица 1), для определения интенсивности засухи на основании значений СИО. Они также определили критерии явления засухи для любого временного масштаба. Явление засухи наступает всякий раз, когда СИО является постоянно отрицательным, и достигает интенсивности, когда значение СИО равно -1,0 или менее. Данное явление заканчивается, когда СИО становится положительным. Таким образом, каждое явление засухи характеризуется продолжительностью, определяемой его началом и концом, а также интенсивностью по каждому месяцу, в течение которого данное явление продолжается. Положительная сумма СИО по всем месяцам в течение явления засухи может быть названа «магнитудой» засухи.

Таблица 1. Значения СИО

2,0+	экстремально влажно
1,5 – 1,99	очень влажно
1,0 – 1,49	умеренно влажно
-0,99 – 0,99	близко к норме
-1,0 – -1,49	умеренно сухо
-1,5 – -1,99	сильно сухо
-2 и менее	экстремально сухо

Основываясь на анализе станций, расположенных в Колорадо, Соединенные Штаты Америки, Макки определил, что СИО показывает мягкую засуху в течение 24 % времени, умеренную засуху в течение 9,2 % времени, интенсивную засуху в течение 4,4 % времени и экстремальную засуху в течение 2,3 % времени (McKee и другие, 1993). Поскольку СИО стандартизирован, предполагается, что эти процентные доли получены в результате нормального распределения СИО. 2,3 % СИО в рамках категории «экстремальной засухи» — это процентная доля, которая обычно предполагается в случае «экстремального явления». В отличие от этого индекс интенсивности засухи Палмера достигает своей «экстремальной» категории в течение более 10 % времени в отдельных местах в центральной части Великих равнин в Соединенных Штатах Америки. Эта стандартизация позволяет СИО определять редкость явления текущей засухи (таблица 2), а также вероятность осадков, необходимых для ее прекращения (McKee и другие, 1993). Она также позволяет пользователю уверенно сопоставлять прошлые и нынешние засухи, которые наблюдались в разных климатических и географических местах, при оценке того, насколько редким или частым является рассматриваемое явление засухи.

Таблица 2. Вероятность повтора

СИО	Категория	Число случаев за 100 лет	Интенсивность явления
0 – -0,99	Слабовыраженная засуха	33	1 раз в 3 года
-1,00 – -1,49	Умеренная засуха	10	1 раз в 10 лет
-1,5 – -1,99	Сильная засуха	5	1 раз в 20 лет
< -2,0	Экстремальная засуха	2,5	1 раз в 50 лет

Некоторые ключевые моменты:

- Поскольку СИО нормализован, более влажные или сухие климаты могут быть представлены одинаковым образом; соответственно, при помощи СИО может также осуществляться мониторинг дождливых периодов. Однако необходимо подчеркнуть, что СИО не подходит для анализа изменения климата, поскольку температура не является исходным параметром.
- СИО был предназначен для количественной оценки дефицита осадков во многих временных масштабах.
- Эти временные масштабы отражают воздействие засухи на наличие различных водных ресурсов, что и было изначальным намерением создателей СИО.
- Состояние влажности почвы реагирует на аномалии осадков в относительно кратком временном масштабе. Состояние подземных вод, речного стока и водохранилищ отражает долгосрочные аномалии осадков. Так, например, кто-то может пожелать узнать СИО на 1 или 2 месяца для метеорологической засухи, СИО на 1-6 месяцев для сельскохозяйственной засухи и СИО на срок приблизительно от 6 до 24 месяцев или более того для гидрологической засухи для целей анализа и соответствующих применений.

4. СИЛЬНЫЕ И СЛАБЫЕ СТОРОНЫ

Сильные и слабые стороны СИО могут быть резюмированы следующим образом:

Сильные стороны

- Является гибким: может быть рассчитан для многочисленных временных масштабов.
- СИО для более коротких временных масштабов, например на 1, 2 или 3 месяца, могут обеспечивать заблаговременное предупреждение о засухе и способствовать оценке ее интенсивности.

- Является пространственно последовательным: позволяет проводить сравнения между разными местами в разных климатах.
- Его вероятностный характер обеспечивает исторический контекст, что хорошо подходит для процесса принятия решений.

Слабые стороны

- Основан только на данных об осадках.
- Отсутствует компонент почвенного водного баланса, и соответственно не могут быть рассчитаны отношения эвапотранспирации/потенциальной эвапотранспирации (ЭТ/ПЭТ).
- Новое изменение индекса, осуществленное Висенте-Серрано и другими (2010 г.), направлено на решение проблемы ПЭТ посредством включения компонента температуры в расчет их нового индекса, именуемого стандартизированным индексом осадков и эвапотранспирации (СИОЭ). Исходными элементами, которые необходимы для прогона данной программы, являются осадки, средняя температура и широта заданного(ых) места (мест). Дополнительная информация о СИОЭ доступна по адресу: <http://sac.csic.es/spei/index.html>.

5. ТОЛКОВАНИЕ: ОПИСАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ГИБКОСТИ

Не существует единого определения засухи (Wilhite and Glantz, 1985). Мы можем в общем сгруппировать засухи следующим образом: метеорологические, сельскохозяйственные, гидрологические засухи и засухи, имеющие социально-экономические последствия. Засуха является весьма сложным опасным явлением с точки зрения его определения и обнаружения, охватывающим множество секторов и временных масштабов. Точно так же как отсутствует какое-либо единое определение засухи, не существует и какого-либо единого индекса засухи, который бы отвечал требованиям всех применений.

В связи с этим реальной сильной стороной СИО является его способность быть рассчитанным для многих временных масштабов, благодаря чему обеспечивается возможность работы со многими описанными выше типами засухи. Возможность расчета СИО по множеству временных масштабов обеспечивает временную гибкость при оценке условий осадков применительно к водоснабжению.

Как упоминалось выше, СИО был разработан с целью количественной оценки дефицита осадков для множества временных масштабов или скользящих усредняющих окон. Эти временные масштабы отражают воздействие засухи на разные водные ресурсы, в которых нуждаются различные лица, принимающие решения. Метеорологические условия и состояние влажности почвы (сельское хозяйство) реагируют на аномалии осадков в относительно коротких временных масштабах, например 1-6 месяцев, в то время как речной сток, водохранилища и подземные воды реагируют на более долгосрочные аномалии осадков порядка 6-24 месяца или более. Так, например, СИО на 1 или 2 месяца может представлять интерес в отношении метеорологической засухи, СИО на 1-6 месяцев — в отношении сельскохозяйственной засухи или СИО на срок приблизительно от 6 до 24 месяцев или более того — в отношении гидрологической засухи с точки зрения анализа и соответствующих применений.

СИО может рассчитываться на период от 1 до 72 месяцев. Статистически период от 1 до 24 месяцев является наилучшим практическим диапазоном применения (Guttman, 1994,1999). Этот 24-месячный отрезок времени основан на рекомендации Гуттмана об обеспечении наличия данных за 50-60 лет. Если только не имеются данные за 80-100 лет, размер выборочной совокупности является слишком малым и статистическая достоверность оценок вероятности в хвостах распределения (как экстремально влажные, так и экстремально сухие условия) становится низкой за пределами 24 месяцев. Помимо этого, наличие данных минимум лишь за 30 лет (или менее) уменьшает размер выборочной совокупности и снижает степень достоверности. Технически можно осуществить прогон СИО по данным менее чем за 30 лет, учитывая при этом, однако, вышеупомянутые статистические ограничения и более низкую степень достоверности.

5.1 Сопоставление кратко- и долгосрочных значений стандартизированного индекса осадков

5.1.1 *Одномесечный СИО*

Карта одномесечного СИО весьма похожа на карту, показывающую процент нормальных осадков за 30-дневный период. Фактически производный СИО представляет собой более точное представление месячных осадков благодаря нормализации распределения. Например, одномесечный СИО в конце ноября сравнивает одномесечные суммарные осадки за ноябрь в этот конкретный год с суммарными осадками в ноябре в течение всех зарегистрированных лет. Поскольку одномесечный СИО отражает краткосрочные условия, его применение может быть тесно связано с метеорологическими типами засухи наряду с краткосрочной влажностью почвы и стрессом растений, особенно во время вегетационного периода. В одномесечном СИО могут аппроксимироваться условия, воспроизведенные при помощи индекса влажности для растений, который является частью набора индексов в рамках индекса интенсивности засухи Палмера.

Интерпретация одномесечного СИО может ввести в заблуждение, если не учитывается фактор климатологии. В регионах, где объем дождевых осадков является обычно низким в течение месяца, большие отрицательные или положительные СИО могут быть получены даже несмотря на относительно небольшое отклонение от среднего значения. Одномесечный СИО может также вводить в заблуждение, когда значения осадков меньше нормальных в регионах с незначительными нормальными суммарными осадками в течение месяца. Как и в случае процентного показателя обычной карты осадков, полезная информация содержится на картах одномесечного СИО, однако необходимо проявлять осторожность при их анализе.

ПРИМЕЧАНИЕ: В теории СИО может рассчитываться на основе срока менее месяца, однако на практике делать это не рекомендуется. Настоятельно рекомендуется, чтобы пользователь ознакомился с минимальным усредняющим окном в 4 недели. Можно рассчитать однонедельный СИО, однако при этом существует реальная вероятность столкновения со многими днями сухой погоды (0,00 дождевых осадков даже в засушливом климате), что вызовет неустойчивое поведение СИО (W_i и другие, 2006), в связи с чем данный подход не рекомендуется. В то же время приемлемым является обновление СИО каждый день или каждую неделю для временных рамок от 1 до 24 месяцев. Эта концепция «скользящего окна» не оказывает негативного влияния на данную программу, поскольку по-прежнему требуются данные как минимум за 4 недели для каждого дня хода выполнения этой программы.

5.1.2 **Трехмесячный СИО**

Трехмесячный СИО обеспечивает сравнение осадков за конкретный трехмесячный период с суммарными осадками за такой же трехмесячный период для всех лет, включенных в исторические записи данных. Иными словами, трехмесячный СИО в конце февраля сравнивает суммарные осадки в декабре-январе-феврале этого конкретного года с суммарными осадками в декабре-феврале всех лет, данные по которым были зарегистрированы в этом месте. Данные за каждый год добавляются, еще один год добавляется к периоду регистрации данных, и таким образом вновь используются значения по всем годам. Эти значения могут и будут меняться при сравнении текущего года в историческом и статистическом плане со всеми предыдущими годами, данные наблюдений по которым были зарегистрированы.

Трехмесячный СИО отражает кратко- и среднесрочные условия влажности и обеспечивает сезонную оценку осадков. В преимущественно сельскохозяйственных регионах трехмесячный СИО мог бы быть более эффективным для обозначения имеющихся условий влажности по сравнению с медленно реагирующим индексом Палмера или другими имеющимися сейчас гидрологическими индексами. Трехмесячный СИО в конце августа в «кукурузном поясе» Соединенных Штатов Америки охватил бы тенденции осадков во время важных этапов репродукции и раннего налива зерна как для кукурузы, так и соевых бобов. В то же время трехмесячный СИО в конце мая показывает состояние влажности почвы во время начала вегетационного сезона.

Важно сравнивать трехмесячный СИО с показателями более продолжительных временных масштабов. Относительно нормальный или даже влажный трехмесячный период мог бы иметь место в середине долгосрочной засухи и мог бы быть замечен только в рамках длительного периода времени. Рассмотрение более продолжительных временных масштабов может предотвратить неправильное толкование, когда может сложиться впечатление, что засуха могла закончиться, в то время как фактически это всего лишь временный влажный период. Непрерывный и систематический мониторинг засухи существенно важен для определения начала и завершения засух. Это помогает избежать «ложных тревог» при вхождении в период засухи и выходе из него. Помощь в обеспечении этого может оказать наличие серии «пусковых механизмов», связанных с мероприятиями, которые предусмотрены планом борьбы с засухой.

Как и в случае с одномесячным СИО, трехмесячный СИО может вводить в заблуждение в регионах, где обычно наблюдается сухая погода в течение любого заданного трехмесячного периода. Большие отрицательные или положительные значения СИО могут быть связаны с суммарными осадками, которые не слишком отличаются от среднего показателя. Необходимость осторожности в данном случае можно объяснить на примере средиземноморского климата Калифорнии, а также вокруг северной части Африки и южной части Европы, где выпадает весьма незначительное количество дождевых осадков или они ожидаются в течение определенных периодов года. Поскольку эти периоды характеризуются малым количеством дождей, соответствующие исторические суммарные данные будут незначительными, а относительно небольшие отклонения с любой стороны от среднего значения могли бы привести к получению больших отрицательных или положительных величин СИО. В то же время этот временной период может быть хорошим индикатором в некоторых регионах мира, подверженных воздействию муссонов.

5.1.3 **Шестимесячный СИО**

Шестимесячный СИО сравнивает осадки за этот период с зарегистрированными историческими данными за такой же шестимесячный период. Например,

шестимесячный СИО в конце сентября сравнивает суммарные осадки за период апрель-сентябрь со всеми прошлыми суммарными показателя за этот же период.

Шестимесячный СИО показывает сезонные-среднесрочные тренды в выпадении осадков и до сих пор считается более точно соответствующим условиям в этом масштабе по сравнению с индексом Палмера. Шестимесячный СИО может быть весьма эффективным в качестве показателя осадков в течение конкретных сезонов. Например, шестимесячный СИО в конце марта был бы весьма хорошим индикатором объема осадков, которые выпали в течение весьма важного влажного сезона в период с октября по март в определенных местах Средиземноморья. В зависимости от региона и времени года информацию на основе шестимесячного СИО можно также начинать связывать с аномальными речными потоками и уровнями водохранилищ.

5.1.4 *Девятимесячный СИО*

Девятимесячный СИО является индикатором межсезонных режимов осадков в среднесрочных временных масштабах. Процесс развития засух обычно длится в течение одного или нескольких сезонов. Значения СИО ниже -1,5 для этих временных масштабов обычно являются хорошим индикатором того, что засушливость оказывает значительное воздействие на сельское хозяйство и может затронуть также другие сектора. По некоторым регионам может быть сделан вывод о том, что режим, отображенный на карте индекса Палмера, тесно связан с картами девятимесячного СИО. Для других районов индекс Палмера более тесно связан с 12-месячным СИО. Этот временной период начинает связывать краткосрочную сезонную засуху с долгосрочными засухами, которые могут стать по своему характеру гидрологическими или многолетними.

5.1.5 *12-24-месячный СИО*

СИО в этих временных масштабах отражает долгосрочные режимы осадков. 12-месячный СИО является сравнением осадков за 12 последовательных месяцев с осадками, зарегистрированными за такие же 12 последовательных месяцев во все предыдущие годы, по которым имеются данные. Поскольку эти временные масштабы являются совокупным результатом более коротких периодов, которые могут быть выше или ниже нормы, более долгосрочные СИО характеризуются тенденцией тяготения к нулевому показателю, если только не наблюдается отчетливый тренд влажного или сухого климата. СИО этих временных масштабов обычно связаны с речными потоками, уровнями водохранилищ и даже уровнями подземных вод в более продолжительных временных масштабах. В некоторых местах 12-месячный СИО очень тесно связан с индексом Палмера, и эти два индекса могут отражать аналогичные условия.

6. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ

СИО определяется посредством нормализации показателей осадков по заданной станции после их аппроксимации по функции плотности вероятности, как это описано Макки и другими авторами (1993, 1995 гг.), Эдвардсом и Макки (1997 г.), а также Гуттманом (1998 г.). Полное описание процедуры расчета СИО можно найти в работах Макки и других (1993, 1995 гг.) и Эдвардса и Макки (1997 г.). Ниже приводятся описания основных положений из работы Эдвардса (1997 г.).

6.1 Методология СИО

- Расчет СИО для какого-либо места основан на долгосрочных данных об осадках, зарегистрированных в течение желаемого периода. Эти долгосрочные данные аппроксимируются по распределению вероятностей, которое затем преобразуется в нормальное распределение, с тем чтобы средний СИО для данного места и желаемого периода был равен нулю (Edwards and McKee, 1997).
- Положительные значения СИО указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные значения — на объем осадков ниже среднего.
- Согласно СИО засуха начинается, когда значение СИО равно или меньше -1,0, и заканчивается, когда это значение становится положительным.

6.2 Принцип работы

- Показатели осадков нормализуются посредством использования функции распределения вероятностей, с тем чтобы значения СИО фактически рассматривались в качестве стандартных отклонений от среднего значения.
- Нормализованное распределение позволяет оценивать как засушливые, так и влажные периоды.
- Накопленные значения могут использоваться для анализа интенсивности (магнитуды) засухи.
- Необходимы непрерывные ежемесячные данные об осадках по меньшей мере за 30 лет, однако предпочтительными были бы более долгосрочные зарегистрированные данные.
- Интервалы временных масштабов СИО менее 1 месяца и более 24 месяцев могут быть ненадежными.
- Индекс является пространственно инвариантным в его интерпретации.
- Благодаря своему вероятностному характеру (вероятность наблюдаемых осадков, преобразованная в индекс), этот индекс хорошо подходит для менеджмента рисков и способствует принятию решений.

7. КАК ПОЛУЧИТЬ ПРОГРАММУ

Программа имеется в версии Windows/ПК и может быть загружена бесплатно.

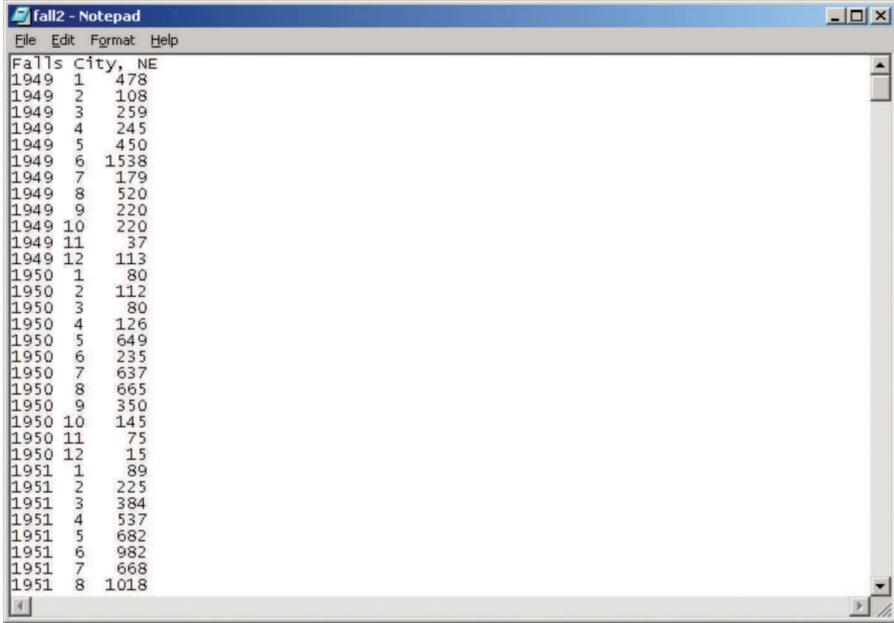
Последняя версия программы СИО (SPI_SL_6.exe), файлы-примеры, такие как описанные ниже, а также инструкции для Windows/PC доступны по адресу: <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

Программа может рассчитывать до 6 временных окон СИО одновременно для любого заданного места. Она была скомпилирована в C++ для ПК, и в нее включены все библиотеки.

8. КАК ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ПРОГОН ПРОГРАММЫ В WINDOWS

Для работы с программой в Windows просто выполняйте указанные ниже действия:

1. Создайте входной файл, как показано в нижеследующем образце, содержащем данные об осадках из Фолс-сити, Небраска:



```

fall2 - Notepad
File Edit Format Help
Falls City, NE
1949 1 478
1949 2 108
1949 3 259
1949 4 245
1949 5 450
1949 6 1538
1949 7 179
1949 8 520
1949 9 220
1949 10 220
1949 11 37
1949 12 113
1950 1 80
1950 2 112
1950 3 80
1950 4 126
1950 5 649
1950 6 235
1950 7 637
1950 8 665
1950 9 350
1950 10 145
1950 11 75
1950 12 15
1951 1 89
1951 2 225
1951 3 384
1951 4 537
1951 5 682
1951 6 982
1951 7 668
1951 8 1018
  
```

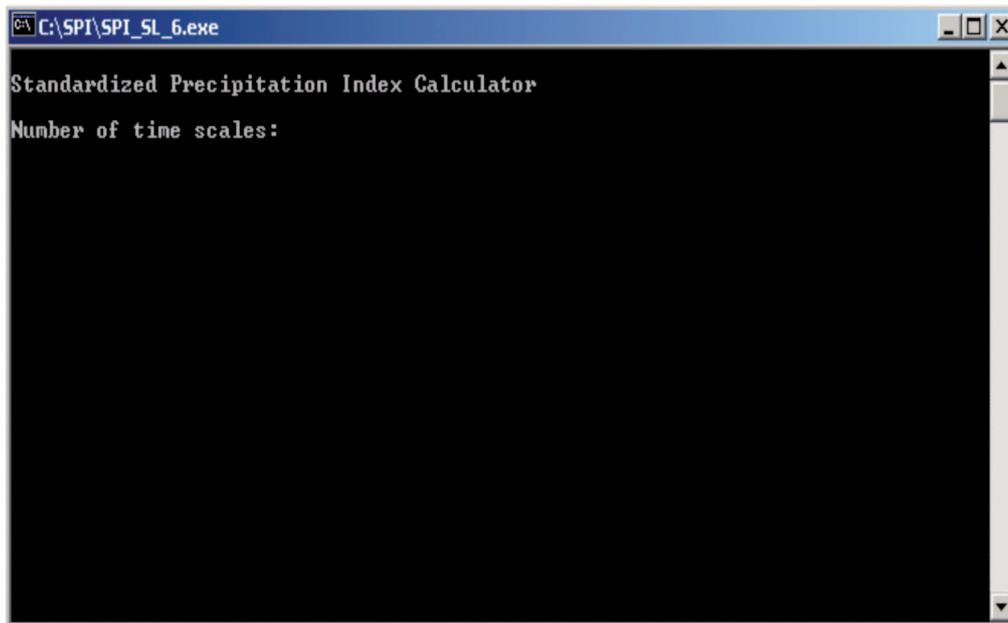
Все входные файлы должны соответствовать этому формату, который содержит три колонки, в которых указываются соответственно год, месяц и величина месячных осадков. Заголовок, обычно содержащий название станции, должен быть включен в верхнюю часть входного файла, иначе программа выдаст пустой выходной файл. Показатель суммарных осадков НЕ должен включать десятичные дроби и может указываться в дюймах или миллиметрах.

ПРИМЕЧАНИЕ: Обращайте внимание на расстояние между колонками и на отсутствующие данные во входном файле. Если для какого-либо месяца или месяцев отсутствует месячная величина осадков, то необходимо использовать значение -99 для отсутствующих данных. В колонке осадков нельзя использовать пробел. Ноль является допустимым значением для обычно сухих месяцев в засушливых регионах и мест с четко выраженными влажными или сухими сезонами. В идеальном варианте желательно иметь месячные/недельные данные как минимум за 30 лет, чтобы обеспечить определенную достоверность статистических данных, однако это будет относиться к большинству индексов при оценке любой климатологии засухи для данного места или региона.

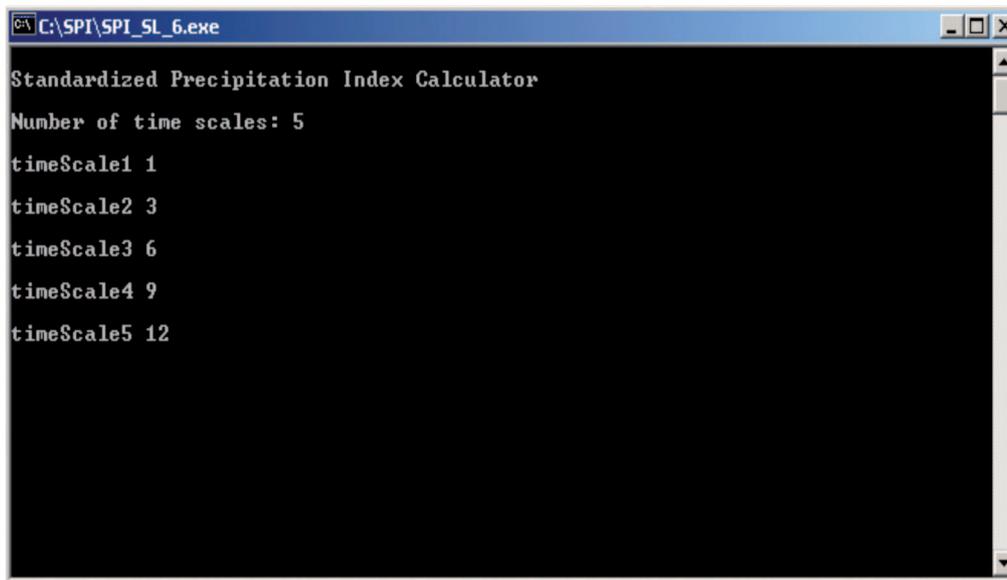
Входные файлы могут создаваться в программе Excel или при помощи любого текстового редактора, однако их расширение должно быть переименовано в .cog до запуска программы.

2. Щелкните правой кнопкой мышки на файле SPI_SL_6.exe и сохраните его. Затем запустите (двойной щелчок) программу и следуйте инструкциям во всплывающем окне.

3. Укажите количество временных масштабов для расчета СИО:



4. Укажите подлежащие расчету временные масштабы СИО. В нижеследующем примере пользователь будет генерировать пять временных масштабов или окон СИО: 1-месячный, 3-месячный, 6-месячный, 9-месячный и 12-месячный СИО:



5. Введите названия входного и выходного файлов. Рекомендуется применять систему названий, отражающую анализы СИО, которые должны выполняться, с тем чтобы результаты каждого анализа сохранялись отдельно:

```

C:\SPI\SPI_SL_6.exe
Standardized Precipitation Index Calculator
Number of time scales: 5
timeScale1 1
timeScale2 3
timeScale3 6
timeScale4 9
timeScale5 12
Input file: fall.cor
Output file: fall1_12mospi.dat

```

Выходному файлу может быть присвоено любое название, однако оно должно иметь расширение .dat. Он будет помещен в ту же папку, в которой находится исполняемый файл.

Результаты могут быть обработаны при помощи программы Microsoft Notepad или любого другого программного обеспечения для обработки текстов или документов. Эти файлы спасаются как текстовые файлы MS_DOS ASCII. После этого выходные данные могут воспроизводиться любыми устройствами в виде диаграмм, графических изображений или карт.

Ниже показан и описан пример выходного файла для Фолс-Сити, Небраска. Входной файл был создан для анализа 1-, 3-, 6-, 9- и 12-месячных СИО. Соответствующие величины показаны в третьей, четвертой, пятой, шестой и седьмой колонках:

fall1_12mospi - WordPad

File Edit View Insert Format Help

Year	Month	1-month SPI	3-month SPI	6-month SPI	9-month SPI	12-month SPI
1949	1	2.82	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1949	2	0.32	-99.00	-99.00	-99.00	-99.00
1949	3	0.47	1.61	-99.00	-99.00	-99.00
1949	4	-0.16	0.11	-99.00	-99.00	-99.00
1949	5	0.21	0.10	-99.00	-99.00	-99.00
1949	6	2.62	2.18	2.43	-99.00	-99.00
1949	7	-0.76	1.44	1.20	-99.00	-99.00
1949	8	0.47	1.35	1.15	-99.00	-99.00
1949	9	-0.69	-0.57	0.82	1.14	-99.00
1949	10	0.06	-0.24	0.81	0.72	-99.00
1949	11	-1.07	-1.30	0.67	0.57	-99.00
1949	12	0.42	-0.62	-0.82	0.57	0.91
1950	1	0.06	-0.81	-0.56	0.62	0.56
1950	2	0.37	0.25	-1.00	0.66	0.56
1950	3	-0.82	-0.54	-0.96	-0.97	0.40
1950	4	-1.16	-1.20	-1.37	-1.01	0.26
1950	5	1.02	-0.20	-0.17	-0.93	0.49
1950	6	-0.79	-0.41	-0.64	-0.92	-1.07
1950	7	0.62	0.37	-0.18	-0.40	-0.52
1950	8	0.87	0.38	0.16	0.19	-0.31
1950	9	-0.04	0.61	0.25	0.07	-0.12
1950	10	-0.39	0.22	0.31	-0.05	-0.21
1950	11	-0.57	-0.90	-0.08	-0.21	-0.17
1950	12	-1.64	-1.40	0.12	-0.16	-0.30
1951	1	0.18	-1.24	-0.22	0.06	-0.28
1951	2	1.37	0.43	-0.62	-0.04	-0.16
1951	3	1.02	1.18	0.04	0.46	0.17
1951	4	1.33	1.66	0.92	0.65	0.61

For Help, press F1

ПРИМЕЧАНИЕ: В данном случае величина -99,00 не указывает отсутствующие данные. Она просто показывает, что, например, в четвертой колонке невозможно иметь величину 3-месячного СИО, пока не истек 3-месячный период. То же самое относится к последней колонке, где не видно 12-месячного СИО до декабря 1949 г., т.е. 12-го месяца, имеющегося для проведения расчета. Это становится первым полученным 12-месячным СИО.

9. ВОЗМОЖНОСТИ КАРТИРОВАНИЯ

Многие страны на регулярной основе проводят расчеты и картирование СИО и других индексов засухи или метеорологических параметров. Ниже приводится обзор методов, часто применяемых при картировании индикаторов засухи.

Существуют многочисленные средства, такие как стандартные индикаторы и индексы засухи, для картирования метеорологических переменных. Многие связанные с засухой данные появляются в качестве данных наблюдений в точке («со станций» или «из конкретного места»). Эти данные служат своим целям, однако часто именно в виде карты эти данные лучше всего передают информацию с учетом географического контекста принимающему решение лицу, которое пытается определить интенсивность и пространственную протяженность засухи. Данные наблюдений в точке могут быть показаны на карте, и в качестве дополнительной информации могут быть представлены производные продукты или характеристики данного места. Это могло бы включать, например, диаграмму временного ряда индикатора или индекса. Ограничением для этого уровня пространственной детализации является отсутствие информации о том, что происходит между точками.

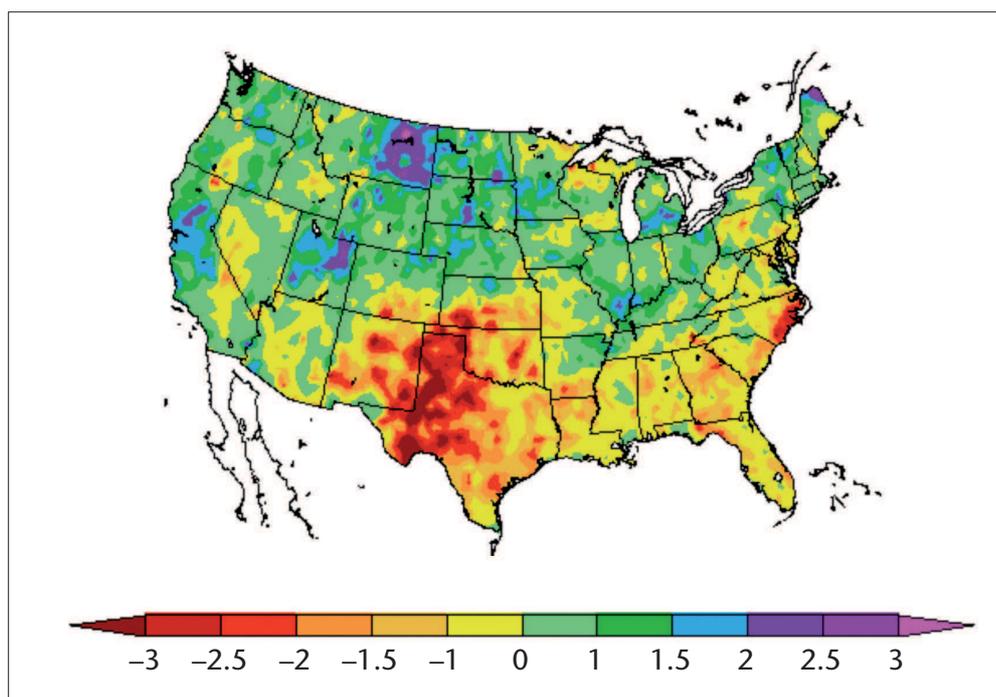
Для создания непрерывной карты метеорологической засухи могут применяться разнообразные методы. При помощи одного из таких методов генерируется интерполированная поверхность расчетных величин в местах между пунктами, основанная на математических отношениях индикатора или индекса между первоначальными данными наблюдений в точке. Часто в результате создается карта, которая выглядит «естественной», но которая, тем не менее, основана на данных из конкретных точек и является настолько же точной, насколько точными являются первоначальные данные и метод интерполяции. Ни один единый метод интерполяции не может применяться ко всем ситуациям, и к числу наиболее часто используемых методов интерполяции относятся кригинг, сплайн и обратное взвешивание расстояний (ОВР).

Каждый метод интерполяции имеет свои преимущества и недостатки. Некоторые методы являются более точными по сравнению с другими, однако занимают больше времени для получения желаемого результата. Метод кригинга, появление которого связано с геологическими применениями и горнодобывающей промышленностью, предполагает наличие взаимосвязи между точками, которая является неслучайной и меняется в пространстве. Метод сплайна применяется в тех случаях, когда важное значение имеет минимизация общей кривой поверхности. Обратное взвешивание расстояний (ОВР) используется, когда точки данных разбросаны, но являются достаточно плотными для представления местных вариаций. Данные, как это подразумевается в названии метода, взвешиваются для выбора данных, находящихся ближе к обрабатываемой точке.

Еще одним методом, который используется для мониторинга и картирования метеорологических засух, является представление данных в узлах сетки для картирования. Данные могут быть также получены с борта воздушного судна, радиолокатора или со спутника. Продукция в виде представленных на сетке данных может показаться менее «естественной» по сравнению с интерполированной продукцией, однако ей легче пользоваться для целей сравнения благодаря общим

размерам узлов сетки. Эти узлы могут быть разными по размеру от степеней до метра(ов), в зависимости от источника и необходимого применения. Они также меняются по своей временной частоте, при этом периоды повторяемости находятся в диапазоне от суточного (или много раз в день) до недельного или более. В Соединенных Штатах Америки продукция, представленная в узлах сетки для мониторинга метеорологической засухи, становится все более общепринятой, в то время как в других регионах, особенно в Африке, для определения условий засухи уже давно используется информация, представленная в узлах сетки. Система заблаговременного предупреждения о голоде (СЗПГ) и аналогичные сети использовали в своих анализах данные, представленные в узлах сетки. Имеются многочисленные примеры использования данных о метеорологической засухе, представленных в узлах сетки, в Австралии, Китае, Соединенном Королевстве и Соединенных Штатах Америки.

Для получения продукции, представленной в узлах сетки, данные наблюдений в точке агрегируются в соответствии с разрешением узла сетки, избранного для этой продукции, используя математическое отношение. Затем создается интерполированная поверхность между узлами сетки (не данными наблюдений в точке). Например, Региональный климатический центр Высоких равнин в сотрудничестве с Национальным центром по смягчению последствий засухи осуществляет картирование стандартизированного индекса осадков на суточной основе в масштабе штата, региона и страны по всей территории Соединенных Штатов Америки.



Источник: Региональный климатический центр Высоких равнин США.г

Пример 3-месячного СИО (1 мая – 31 июля 2011 г.)

Карты СИО создаются при помощи Системы анализа и отображения сетки (GrADS). Дискретные данные СИО со станции интерполируются посредством объективного анализа Крессмана с радиусами влияния 10, 7, 4, 2, 1. Разрешение сетки составляет 0,4 градуса. Контурные карты с координатной сеткой создаются на уровне страны, региона или штата для региона Высоких равнин. Для национальных карт применяется северная полярная стереографическая (спс) проекция. Для карт региона или штата

используется проекция широты/долготы (шир/дол) с сохранением аспектного отношения. С этим интерфейсом и итоговой продукцией можно ознакомиться по адресу: <http://www.hprcc.unl.edu/maps/current/>.

Успех картирования метеорологической засухи зависит от качества данных. Качество данных индикатора и индекса засухи определяется рядом факторов, включая наличие данных, время регистрации данных, качество исторических данных на станции, передачу данных в близком к реальному масштабу времени, обслуживание сети станций и способность измерять осадки при холодных температурах, особенно в северных или высокогорных районах. Некоторые из этих вопросов связаны со способностью предоставлять данные своевременным образом, что может быть весьма важным в случае метеорологической засухи. И наконец, плотность данных играет огромную роль в пространственном разрешении, которое может быть достигнуто при картировании засухи.

Одной из самых сложных задач при картировании метеорологической засухи является обеспечение соответствия пространственного разрешения, которое необходимо принимающим решения лицам и запрашивается ими, с информацией, имеющейся на сегодняшний день. Это ограничение связано с плотностью данных наблюдений в точке, которые могли бы отсутствовать в том разрешении, которое желают получить принимающие решения лица. С учетом этой сложности обещание потенциальной продукции, получаемой при помощи дистанционного зондирования, является обнадеживающим. Некоторая продукция дистанционного зондирования может обеспечивать получение данных с пространственными разрешения в регионах, где данные наблюдений в точке являются относительно редкими и ненадежными. Большая часть спутниковой продукции уже включается в узел сетки (или «пиксель»), как это описано выше. В Соединенных Штатах Америки в настоящее время ведется разработка некоторой продукции для использования сочетания данных станций и данных дистанционного зондирования. Данные станций используются для содействия уточнению данных дистанционного зондирования, а итоговые «гибридные» карты характеризуются более высокой степенью точности.

Топографические вопросы, особенно связанные с горами и быстрыми изменениями рельефа, представляют собой реальную проблему при картировании метеорологической засухи. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, плотность данных, как правило, ниже в горных районах. Во-вторых, поскольку методологии интерполяции часто основаны на корреляциях, соотношение между соседними регионами в плане осадков является обычно весьма непостоянным в тех местах, где происходят быстрые и существенные изменения рельефа. В результате сглаженные интерполированные поверхности на законченной карте могут не соответствовать реальному образом естественной изменчивости, особенно применительно к индикаторам и индексам, связанным с осадками.

Из-за всех сложностей, связанных с данными о метеорологической засухе и характеристиками методов картирования, важно, чтобы принимающее решения лицо понимало эти факторы при толковании карт интенсивности и пространственной протяженности засухи.

ССЫЛКИ

- Edwards, D. C. and T. B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Guttman, N.B., 1994: On the sensitivity of sample L moments to sample size. *Journal of Climate*, 7(6):1026–1029.
- Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1):113–121.
- , 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2):311–322.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, 17–22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
- , 1995: Drought monitoring with multiple timescales. In: *Proceedings of the Ninth Conference on Applied Climatology*, Dallas, Texas, 15–20 January 1995. Boston American Meteorological Society, 233–236.
- Vicente-Serrano, S.M., S. Beguería and J.I. López-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate*, 23(7):1696–1718, doi: 10.1175/2009JCLI2909.1.
- Wilhite, D.A. and M.H. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.
- Wu, H., M.D. Svoboda, M.J. Hayes, D.A. Wilhite and F. Wen, 2007: Appropriate application of the Standardized Precipitation Index in arid locations and dry seasons. *International Journal of Climatology*, 27(1):65–79.

ДРУГИЕ ОНЛАЙНОВЫЕ РЕСУРСЫ

<http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

<http://drought.mssl.ucl.ac.uk/spi.html>

<http://www.wrcc.dri.edu/spi/spi.html>

<http://ccc.atmos.colostate.edu/standardizedprecipitation.php>

<http://www.wmo.int/drought>

За дополнительной информацией просьба обращаться по адресу:

World Meteorological Organization

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

Communications and Public Affairs Office

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

Э-почта: сра@wmo.int

Climate and Water Department

Тел.: +41 (0) 22 730 83 05 – Факс: +41 (0) 22 730 80 42

Э-почта: agm@wmo.int

www.wmo.int/agm