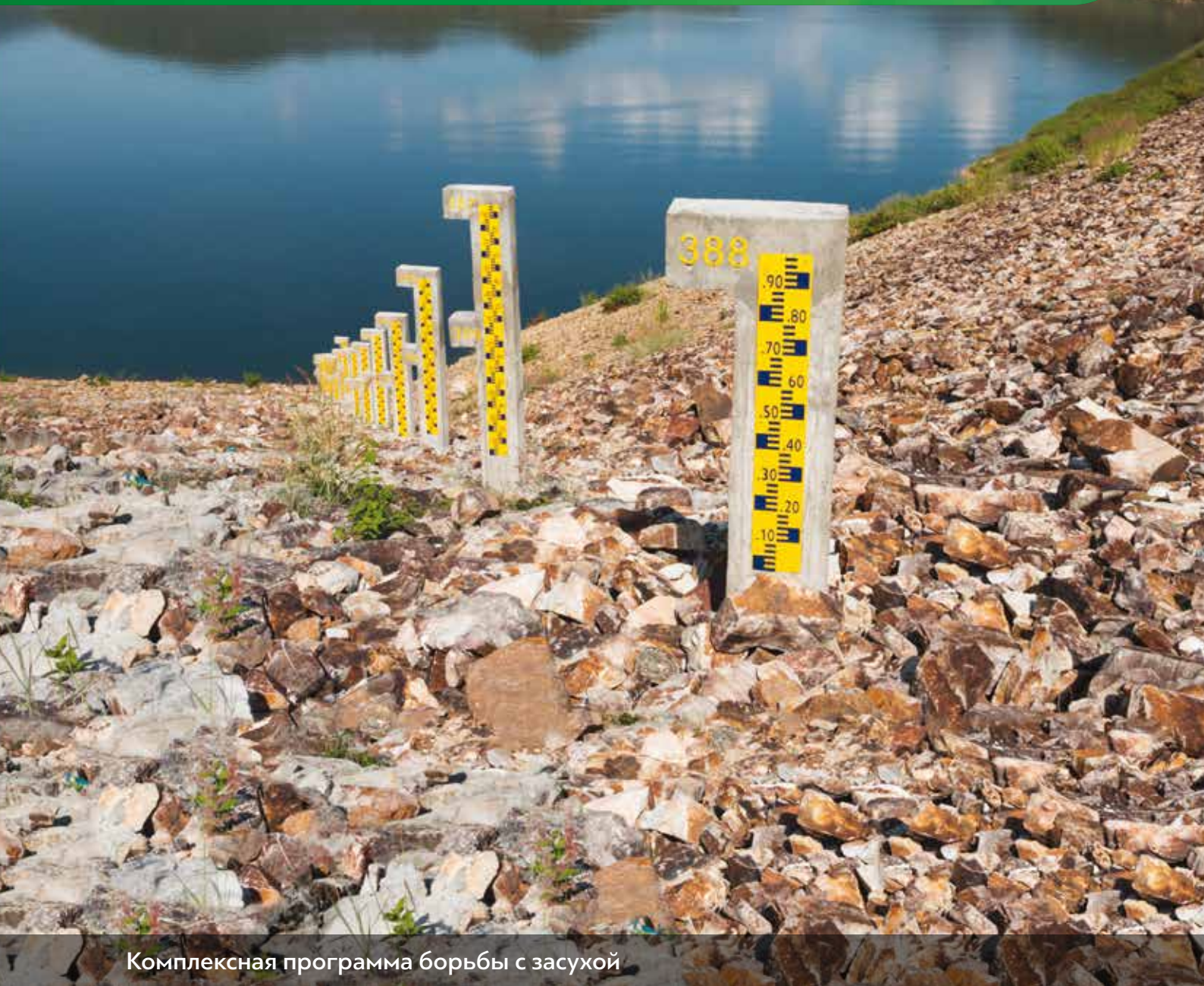


Справочник по показателям и индексам засушливости



Комплексная программа борьбы с засухой



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1173

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



Global Water
Partnership

Towards a water secure world



Всемирная метеорологическая организация (ВМО) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций. Она представляет собой авторитетный источник информации системы Организации Объединенных Наций по вопросам состояния и поведения атмосферы Земли, ее взаимодействия с сушей и океанами, погоды и климата, которые обусловлены таким взаимодействием, и итогового распределения водных ресурсов. Членский состав ВМО насчитывает 191 государство и территорию.

www.wmo.int



Глобальное водное партнерство (ГВП) является международной сетью, концепция которой заключается в обеспечении глобальной безопасности в области водных ресурсов. Основная задача ГВП состоит в содействии руководству и управлению водными ресурсами в целях обеспечения устойчивого и справедливого развития. Сеть ГВП является открытой для всех организаций, признающих принципы комплексного управления водными ресурсами, которых придерживается сеть.

www.gwp.org



Национальный центр по смягчению последствий засухи (НЦСПЗ), созданный в Университете штата Небраска в Линкольне в 1995 г., оказывает помощь населению и учреждениям в осуществлении мер по снижению социальной уязвимости к засухе, уделяя особое внимание обеспечению готовности и управлению рисками, а не управлению действиями в кризисных ситуациях. НЦСПЗ сотрудничает со многими федеральными агентствами, учреждениями штатов и международными агентствами.

www.drought.unl.edu

Начало **Комплексной программе борьбы с засухой (КПБЗ)** было положено ВМО и ГВП на Совещании высокого уровня по национальной политике в отношении засухи в марте 2013 г. КПБЗ работает с широким кругом партнеров с целью оказания поддержки заинтересованным сторонам на всех уровнях. КПБЗ предоставляет своим партнерам руководящие указания в области политики и управления посредством глобально скоординированной подготовки научной информации, а также обмена передовым опытом и знаниями в области комплексной борьбы с засухой. КПБЗ вносит вклад в Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания (ГРОКО), особенно в том, что касается приоритетных областей ГРОКО: снижение риска бедствий, водные ресурсы, сельское хозяйство и продовольственная безопасность, энергетика и здравоохранение. Она, в частности, направлена на оказание поддержки регионам и странам в разработке упреждающей политики борьбы с засухой, а также более совершенных механизмов прогнозирования. Настоящий справочник вносит вклад в достижение этой цели.

www.droughtmanagement.info

Справочник по показателям и индексам засушливости

Комплексная программа борьбы с засухой (КПБЗ)



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ

ВМО-№ 1173



Global Water
Partnership

Towards a water secure world

2016

Примечание для читателей:

Данная публикация является частью «Серии средств и руководящих указаний по комплексной борьбе с засухой», составляемой Комплексной программой борьбы с засухой (КПБЗ). Настоящий *Справочник по показателям и индексам засушливости* основан на имеющейся литературе и на использовании, по мере возможности, результатов соответствующих исследований. В справочнике учитываются потребности специалистов-практиков и лиц, определяющих политику. Эту публикацию следует рассматривать как справочное руководство/материал для специалистов-практиков, а не как научную статью.

Настоящая публикация представляет собой «живой документ» и будет обновляться на основе опыта ее читателей. Показатели и индексы, подробно представленные в главе 7 справочника, а также размещены онлайн по ссылке www.droughtmanagement.info. КПБЗ предлагает ответственным за водное хозяйство лицам и соответствующим экспертам, занимающимся борьбой с засухами во всем мире, принять участие в дальнейшем улучшении данной публикации. Для этой цели весьма приветствуются комментарии и дополнения. Имена авторов и их вклады будут должным образом отмечены. Просьба направлять материалы на адрес электронной почты idmp@wmo.int с указанием темы сообщения: «Справочник по показателям и индексам засушливости».

Цитирование:

World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.

Средства и руководящие указания по комплексной борьбе с засухой, Серия 2

© 2016 Всемирная метеорологическая организация и Глобальное водное партнерство

ISBN 978-92-63-41173-0

ISBN 978-91-87823-32-9

Правовая оговорка:

Обозначения, используемые в публикациях ВМО и ГВП, и приводимые в этой публикации материалы не означают выражения какого бы то ни было мнения со стороны ВМО и ГВП в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района или их властей, либо в отношении делимитации их границ.

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

Заключения, мнения и выводы, представленные в публикациях ВМО и ГВП с указанием авторов, принадлежат этим авторам и не обязательно отражают точку зрения ВМО и ГВП или их соответствующих Членов.

СОДЕРЖАНИЕ

Смп.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ	iv
1. ВВЕДЕНИЕ	1
2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ: ПОКАЗАТЕЛИ И ИНДЕКСЫ	4
3. ПОДХОДЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАСУХ И РУКОВОДСТВА В ОБЛАСТИ ЗАБЛАГОВРЕМЕННЫХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ И ОЦЕНОК.	5
4. ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСОВ	6
5. КРАТКИЙ ОБЗОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСОВ	7
6. РЕСУРСЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ И ИНДЕКСАМ	14
7. ПОКАЗАТЕЛИ И ИНДЕКСЫ	15
7.1 Метеорология	15
7.2 Влажность почвы	31
7.3 Гидрология	34
7.4 Дистанционное зондирование	39
7.5 Комплексные или модельные	45
ДОПОЛНЕНИЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА	50
БИБЛИОГРАФИЯ	52

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Справочник по показателям и индексам засушливости является инициативой Комплексной программы борьбы с засухой (КПБЗ) и разработан Марком Свободой и Брайеном Фуксом из Национального центра по смягчению последствий засухи в Университете штата Небраска в Линкольне.

Участие в его подготовке приняли и комментарии представили (фамилии перечислены в алфавитном порядке):

Кевин Андерсон, Отдел климатических данных и анализа, Министерство охраны окружающей среды Канады
Чандрашекхар Бирадар, Международный центр сельскохозяйственных исследований в засушливых районах (ИКАРДА)
Маркус Виджнен и Наталья Лимонес Родригес, Всемирный банк
Сайед Масуд Мостафави Дарани, Метеорологическая организация Исламской Республики Иран
Зигфрид Демут, Организация ООН по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО)
Дазарат Джаясурия и Гэри Аллан, Австралийское бюро метеорологии
Макс Диллей, Всемирная метеорологическая организация (ВМО)
Раджив Иссар, Юко Кюраучи и Франсис Описе, Программа развития ООН (ПРООН)
Олуф Зейлунд Йессен, Датский институт гидравлики
Александр Клещенко, Национальный институт по сельскохозяйственной метеорологии Российской Федерации
Габриэле Куинти, СЕРФЕ, Италия
Брэдфилд Лион, Международный научно-исследовательский институт по климату и обществу (МИИКО), Колумбийский университет
Марио Лопес-Перес, Мексиканская Национальная комиссия по водным проблемам (КОНАГУА)
Масахико Мурасе, Международный центр по опасным явлениям, связанным с водой, и управлению рисками (ИШАРМ), Научно-исследовательский институт общественных работ (ПВРИ), Япония
Вадламуди У. М. Рао, Всеиндийский скоординированный научно-исследовательский проект по агрометеорологии (АИКРПАМ), Индийский Совет по сельскохозяйственным исследованиям — Центральный исследовательский институт сельского хозяйства засушливых земель (ИКАР-КРИДА)
Владимир Смахтин, Международный институт водного хозяйства (МИВХ)
Янлинг Сонг, Китайское метеорологическое управление
Роджер С. Стоун и Энтони Кларк, Университет Южного Квинсленда
Дональд Уилхайт, Университет штата Небраска в Линкольне
Азмат Хаят Хан, Пакистанский метеорологический департамент
Аллан Ховард, Министерство сельского хозяйства и агропродовольствия Канады

Общая координация обеспечена Робертом Стефански и Фредериком Пишке, Группа технической поддержки ВМО/ГВП КПБЗ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Почему так важен мониторинг засух? Засухи являются естественной составляющей климата и могут происходить в любых климатических условиях по всему миру, даже в пустынях и тропических лесах. Засухи — одно из наиболее дорого обходящихся природных опасных явлений, которые случаются ежегодно, оказывают значительные воздействия и происходят повсеместно, влияя одновременно на многие сектора экономики и население. Оставляемый засухами «след» (в районах, которые подвергаются их воздействию) зачастую значительнее воздействий других опасных явлений, которые, как правило, ограничиваются поймами рек, прибрежными районами, местами прохождения бури или зонами разлома. Возможно, не существует другого опасного явления, которое бы в такой же степени поддавалось мониторингу, поскольку медленное наступление засухи дает время для наблюдений за изменениями количества осадков, температуры и общего состояния водной поверхности и запасов подземных вод в соответствующих районах. Для облегчения мониторинга этого явления часто используются показатели или индексы засухи, которые различаются в зависимости от региона и сезона.

Подобно другим опасным явлениям, засухи могут характеризоваться по интенсивности, месту, продолжительности и времени наступления. Засухи могут возникать в результате многих гидрометеорологических процессов, которые подавляют осадки и/или ограничивают доступность поверхностных или подземных вод, создавая условия значительно засушливее нормы, либо иным образом ограничивая доступность влаги в потенциально опасной степени. Показатели и индексы, рассматриваемые в настоящем *Справочнике по показателям и индексам засушливости*, позволяют по-разному определять интенсивность, район распространения, время наступления и завершения таких условий. Важно отметить, что воздействия засух могут быть столь же разнообразными, как и их причины. Засухи могут отрицательно влиять на сельское хозяйство и продовольственную безопасность, генерацию гидроэлектроэнергии и промышленность, здоровье людей и животных, обеспечение источников средств к существованию, личную безопасность (например, для женщин, вынужденных преодолевать большие расстояния, чтобы набрать воды) и доступ к образованию (например, для девочек, которые не посещают школу из-за взрослого времени, необходимого на то, чтобы сходить за водой). Подобные последствия зависят от социально-экономического контекста, в котором происходит засуха, с точки зрения того, кто или что подвергается воздействию засухи, а также фактической уязвимости объектов воздействия. Поэтому характер воздействий, рассматриваемых в конкретном контексте мониторинга засухи и заблаговременного предупреждения, зачастую является решающим фактором при определении набора показателей засухи.

Воздействие засухи — это **ущерб или изменения, наблюдаемые в конкретный момент времени в результате засухи**. Управление с учетом риска засухи предусматривает оценку опасных факторов, воздействий, уязвимости и последствий, наличие системы заблаговременного предупреждения о засухе (СЗПЗ) (мониторинг и прогнозирование, см. вставку ниже), а также обеспечение готовности и смягчение последствий (ВМО,

Системы заблаговременного предупреждения о засухе

Системы заблаговременного предупреждения о засухе, как правило, преследуют цель отследить и оценить климатические и гидрологические условия и тренды, а также водообеспеченность и предоставить соответствующую информацию о них. В идеале они должны включать как компонент мониторинга (включая воздействия), так и компонент прогнозирования. Их главная задача заключается в предоставлении своевременной информации заранее или во время начального этапа наступления засухи с целью стимулирования незамедлительных действий (с помощью триггеров, основанных на пороговых значениях), опираясь на план управления рисками засухи, с тем чтобы снизить ее потенциальные воздействия. Тщательно проработанный и комплексный подход имеет крайне важное значение для мониторинга этого медленно развивающегося опасного явления.



Shutterstock / Eddie Hernandez

КБОООН и ФАО, 2013). Важно, чтобы показатели или индексы засушливости достоверно отражали и представляли воздействия, которые проявляются во время засухи. С развитием засухи воздействия могут различаться в зависимости от региона и сезона.

Для мониторинга различных аспектов гидрологического цикла могут потребоваться различные показатели и индексы. Желательно увязывать такие показатели и их представление с воздействиями формирующихся условий на местности, а также с управленческими решениями, которые принимаются различными лицами, группами и организациями. Несмотря на то, что СЗПЗ в конечном счете ориентированы на аспекты воздействий, оценка воздействий засухи по-прежнему представляет собой существенный пробел во многих СЗПЗ, используемых в мире в настоящее время. Оценка воздействий является непростой задачей, поскольку социально-экономические факторы, не относящиеся к физической природе засух, оказывают влияние на степень и характер воздействий, зависящих от подверженности засухе и уязвимости. Понимание того, каким образом засухи влияют на людей, сообщества, бизнес или сектора экономики, имеет решающее значение для принятия мер по смягчению последствий будущих засух.

После публикации доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата об экстремальных явлениях (МГЭИК, 2012) вопрос о количественной оценке ущерба и убытков от экстремальных климатических явлений, таких как засухи, обрел особую значимость для осуществления политик, особенно применительно к повестке дня Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Помимо этого, в связи с масштабами вызываемых бедствиями убытков, улучшение мониторинга и борьбы с засухой будет иметь первостепенное значение для реализации Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на период 2015–2030 гг. и Целей в области устойчивого развития. Эффективный и достоверный мониторинг гидрометеорологических показателей обеспечивает важнейшую исходную информацию для выявления риска, СЗПЗ и решения вопросов, связанных с секторальными воздействиями засух. В этой связи Семнадцатый Всемирный метеорологический конгресс, состоявшийся в июне 2015 г., принял резолюцию 9 «Идентификаторы для каталогизации экстремальных явлений, связанных с погодой, водой и климатом». Это положило начало процессу стандартизации информации об опасных метеорологических, гидрологических, климатических, связанных с космической погодой и других соответствующих связанных с окружающей средой опасных явлениях и рисках и позволило определить приоритеты в разработке идентификаторов для каталогизации

экстремальных метеорологических, гидрологических и климатических явлений. Настоящий справочник внесет важный вклад в эти усилия.

Цель настоящего справочника заключается в том, чтобы описать самые распространенные показатели/индикаторы засушливости, которые применяются в подверженных засухам регионах, с целью совершенствования систем мониторинга, заблаговременного предупреждения и представления информации в поддержку политических мер в области борьбы с засухами с учетом рисков и в поддержку планов обеспечения готовности. Эти концепции и показатели/индексы кратко изложены в нижеследующем тексте, призванном быть интерактивным документом, который в дальнейшем будет развиваться и включать новые показатели и индексы по мере их появления и использования в будущем. Справочник предназначен для тех, кто хочет самостоятельно формировать показатели и индексы, а также для лиц, которые просто хотели бы получить и использовать продукцию, создаваемую другими. Он предназначен для использования специалистами-практиками в области засух (например, метеорологические/гидрологические службы и министерства, руководители в области управления ресурсами и другие лица, принимающие решения на разных уровнях) и призван стать отправной точкой, демонстрируя то, какие показатели/индексы существуют и используются на практике по всему миру. Помимо этого, справочник разрабатывался с ориентацией на процессы управления рисками засух. Вместе с тем публикация не ставит целью рекомендовать «наилучший» набор показателей и индексов. Выбор показателей/индексов основан на конкретных характеристиках засух, которые в большей степени связаны с воздействиями, вызывающими озабоченность заинтересованных сторон.

Настоящий справочник не претендует на рассмотрение всей многоплановости воздействий и всего диапазона социально-экономических показателей и индексов засушливости. Включенные в него показатели и индексы описывают гидрометеорологические характеристики засухи и не охватывают социально-экономические и связанные с окружающей средой факторы, которые, например, могут потребоваться для оценки и прогноза связанных с засухами воздействий и результатов.



Настоящий справочник призван служить справочным материалом, содержащим общий обзор и ссылки на источники более подробной информации. Комплексной программой борьбы с засухой (КПБЗ) создается дополнительная справочная служба по комплексной борьбе с засухой.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЯ: ПОКАЗАТЕЛИ И ИНДЕКСЫ

Важно определить, что понимается под показателями и индексами засушливости.

Показатели представляют собой переменные или параметры, используемые для описания засушливых условий. Примерами являются количество осадков, температура, речной сток, уровень грунтовых вод и воды в водохранилищах, почвенная влага и снежный покров.

Индексы, как правило, представляют собой полученные путем расчетов численные представления интенсивности засухи, оцененные с использованием климатических и гидрометеорологических входных параметров, включая показатели, перечисленные выше. Они предназначены для оценки качественного состояния засушливости на данном ландшафте за конкретный период времени. Индексы, строго говоря, также являются показателями. Мониторинг климата в различных временных масштабах позволяет выявлять кратковременные влажные периоды на протяжении периодов длительных засух или кратковременные периоды засушливости на протяжении долговременных влажных периодов. Индексы могут использоваться для упрощения сложных соотношений и служить полезным средством для информирования самых различных аудиторий и пользователей, включая население. Индексы используются для количественной оценки интенсивности, района распространения, сроков и продолжительности явления засухи. Под интенсивностью понимается степень отклонения от нормального значения индекса. Может быть установлено пороговое значение интенсивности, для того чтобы определить, когда началась засуха, когда она закончилась, а также какой географический район подвергся ее воздействию. Районом распространения может быть географическая область, испытывающая влияние засушливых условий. Сроки и продолжительность определяются по приблизительным датам наступления и завершения засухи. Взаимосвязь между наступившим опасным явлением и подвергшимися воздействию элементами (люди, сельскохозяйственные угодья, водохранилища и запасы воды), а также уязвимостью этих элементов к засухам определяет последствия. Уязвимость может усугубляться предыдущими засухами,



которые, например, повлекли за собой продажу производственных активов для удовлетворения первоочередных потребностей. Сроки засухи могут быть столь же важны, как и ее интенсивность, в определении воздействий и последствий засухи. Непродолжительная внутрисезонная засуха относительно небольшой интенсивности, происходящая в чувствительный к влажности период стабильных посевов, может иметь более разрушительные последствия для урожайности культур, чем более продолжительная и более интенсивная засуха, происходящая в менее критичный период сельскохозяйственного цикла. Таким образом, индексы засушливости, в сочетании с дополнительной информацией о подвергшихся воздействию активах и их характеристиках уязвимости, обладают принципиально важным значением для отслеживания и предвидения связанных с засушливостью воздействий и последствий. Индексы также могут играть другую исключительно важную роль, в зависимости от конкретного индекса, в том смысле, что могут служить историческим справочным показателем для лиц, занимающихся планированием и принятием решений. Это дает пользователям возможность узнавать о вероятности наступления или повторяемости засух различной степени интенсивности. Однако важно отметить, что исторические закономерности проявления засух будут меняться под воздействием изменения климата.

Информация, полученная на основе показателей и индексов, полезна при планировании и разработке применений (таких, как управление рисками, СЗПЗ и инструменты поддержки принятия решений для управления рисками в секторах, подверженных воздействию засухи) при условии, что климатический режим и климатология засухи для данной местности известны. Различные показатели и индексы также могут использоваться для валидации показателей засушливости, полученных путем моделирования, ассимиляции или дистанционного зондирования.

3. ПОДХОДЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАСУХ И РУКОВОДСТВА В ОБЛАСТИ ЗАБЛАГОВРЕМЕННЫХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ И ОЦЕНОК

Существует три основных метода для мониторинга засух и осуществления руководства в области заблаговременных предупреждений и оценок:

1. использование единого показателя или индекса;
2. использование множества показателей или индексов;
3. использование комплексных или гибридных показателей.

В прошлом лица, принимающие решения, и ученые использовали один показатель или индекс, поскольку имели лишь один метод измерения, либо были ограничены по времени для получения данных и расчета производных индексов или других выходных результатов. В последние примерно 20 лет в мире растет интерес к этой теме и разрабатываются новые индексы на основе различных показателей, которые подходят для различных применений и масштабов, как пространственных, так и временных. Эти новые инструменты дают лицам, принимающим решения и ответственным за выработку политики, больше возможностей выбора, однако до последнего времени не было четкого метода для обобщения результатов в виде простого сообщения, которое можно было бы передать населению. Появление геоинформационных систем и растущие вычислительные и демонстрационные возможности расширили потенциал совмещения, картирования и сравнения различных показателей и индексов. Более подробно вопросы картирования показателей и индексов засухи рассматриваются в главе 9 Руководства для пользователей стандартизованного индекса осадков (ВМО, 2012).

Может возникнуть путаница в определении того, какие показатели или индексы следует использовать, особенно в том случае, если они связаны с комплексным планом борьбы с засухой и используются в качестве основания для инициирования мер по борьбе с засухой. Для выявления оптимального решения для какой-либо конкретной местности, района, бассейна или региона требуются время и система на основе метода проб

и ошибок. В течение прошедших примерно десяти лет появился новый тип комплексных показателей (иногда называемых гибридными) в качестве средства совмещения различных показателей и индексов, будь то взвешенные или не взвешенные показатели, либо с применением моделирования. Идея заключается в том, чтобы использовать сильные стороны различных входных параметров, сохранив при этом единый и простой источник информации для лиц, принимающих решения и ответственных за выработку политики, либо населения. С учетом того, что интенсивность засухи лучше всего оценивать на основе множества показателей, характеризующих водообеспеченность конкретного района или региона, комплексный или гибридный подход позволяет инкорпорировать большее количество элементов в процесс оценки.

В настоящем справочнике не ставится цель четко прописать, какие показатели или индексы следует применять совместно или в качестве рекомендуемых в деятельности по борьбе с засухой; важно подчеркнуть роль индексов и показателей в СЗПЗ в контексте общей стратегии управления с учетом риска засухи. Они обеспечивают полезные триггерные сигналы, помогающие сориентировать лица, принимающие решения и ответственные за выработку политики, в направлении упреждающего управления рисками.

Триггеры — это конкретные значения показателя или индекса, которые служат основанием для инициирования и/или завершения определенного уровня плана борьбы с засухой и соответствующих мер реагирования в контексте управления в чрезвычайных ситуациях и смягчения их последствий. Другими словами, они являются пусковым механизмом для действий и предусматривают систему ответственности, определяющую, кем, какие и когда должны предприниматься действия. Все это в конечном счете должно быть увязано со всеобъемлющим планом или политикой по борьбе с засухой (ВМО и ГВП, 2014). Крайне важно наличие полного перечня триггеров для показателей и индексов, которые должны соответствовать плану мероприятий, служащему основанием для скоординированного набора мер отдельных учреждений или министерств. В отсутствие подобного соответствия существует вероятность значительных задержек с принятием мер при наступлении засухи в районе или регионе.

4. ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСОВ

Как не существует универсального определения понятия засухи, так не существует и единого индекса или показателя, который мог бы характеризовать все типы засух, климатических режимов и секторов, подвергающихся воздействию засухи, и применяться к ним. Настоящий справочник не имеет своей целью предписать читателям, когда и какие индексы и показатели лучше всего использовать; на самом деле, в отношении конкретной потребности или области применения при определении того, какой лучше всего использовать показатель, индекс или триггер (или их сочетание), следует принимать во внимание множество факторов. Приведенные ниже вопросы могут помочь пользователям принять решение относительно того, какие показатели и индексы больше всего подходят для их текущей ситуации:

- Позволяют ли показатели/индексы своевременно обнаруживать засухи для инициирования соответствующего предоставления информации и координации мер по реагированию на засуху или смягчению ее последствий?
- Являются ли показатели/индексы чувствительными к климату, пространству и времени для определения начала и завершения засухи?
- Способны ли показатели/индексы и различные уровни интенсивности быть адаптивными и отражать воздействия, происходящие на местах в конкретной точке или регионе?
- Являются ли выбранные показатели, индексы и триггеры одинаковыми или различаются для периодов наступления засухи и ее окончания? Крайне важно учесть оба аспекта.

- Используются ли комплексные (гибридные) показатели для учета многочисленных факторов и входных параметров?
- Являются ли данные и соответствующие показатели/индексы доступными и устойчивыми? Другими словами, имеются ли достаточные временные ряды у конкретного источника данных, способные послужить в качестве четких исторических и статистических маркеров для специалистов по планированию и лиц, принимающих решения?
- Легко ли реализовать на практике показатели/индексы? Имеются ли у пользователей ресурсы (временные и людские) для приложения этих усилий, и будут ли они должным образом поддерживаться в отсутствие ситуации засухи? Возможно, решение будет более обоснованным, если такая система создается для мониторинга всех аспектов гидрологических или климатических циклов, а не только засух.

Самым простым для использования обычно является тот показатель/индекс, который уже разработан в процессе оперативной деятельности и находится в свободном доступе, однако это еще не означает, что он наилучший или наиболее применимый. В конечном счете, выбор должен делаться пользователями на региональном, национальном или местном уровне. Предпочтительный и рекомендуемый подход заключается в том, чтобы пользователи выбрали подход на основе многоплановых или комплексных/гибридных показателей/индексов как части СЗПЗ в условиях комплексного плана мер по смягчению последствий засухи. В идеале, для этого требуется проведение тщательного анализа и применение исследовательского подхода, что позволит определить, какие показатели более эффективны в применении для конкретных климатических условий, регионов, бассейнов и месторасположений. Необходимы и научные исследования для того, чтобы определить, для каких сезонов наиболее применимы показатели, отражающие происходящие на местности воздействия. После их выявления показатели/индексы могут быть рекомендованы или реализованы в СЗПЗ в качестве потенциальных триггеров, увязанных с мерами по реагированию на чрезвычайные ситуации или смягчению их последствий в рамках планов борьбы с засухой.

5. КРАТКИЙ ОБЗОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ИНДЕКСОВ

Как уже говорилось выше, ни один показатель или индекс не может использоваться для определения надлежащих мер для всех типов засух, с учетом количества и разнообразия секторов, подвергающихся воздействию. Предпочтительнее использовать различные пороговые значения с различными комбинациями входных данных. В идеале, для этого следовало бы предусмотреть проведение предварительных научных исследований с целью определения того, какие показатели/индексы оптимальны для данного момента времени, территории и типа климата и засухи. На это требуется время, поскольку приходится использовать метод проб и ошибок. Принятие решений с учетом количественных значений, основанных на индексах, имеет исключительную важность для правильной и точной оценки интенсивности засухи, а также для ввода исходной информации в оперативную СЗПЗ или комплексный план борьбы с засухой.

Показатели и индексы, приведенные в таблице 1, заимствованы из литературы и онлайн-ресурсов КПБЗ и партнерских структур. Они разбиты на категории по типу и простоте использования и сгруппированы на основе следующей классификации: а) метеорология, б) влажность почвы, с) гидрология, d) дистанционное зондирование и е) комплексные или моделируемые показатели. Несмотря на то, что показатели приводятся с разбивкой по «простоте использования», нельзя исключить, что какие-то или все показатели, либо ни один из них, не подходят для данного применения, исходя из знаний пользователей, их потребностей, доступности данных и компьютерных ресурсов, имеющихся для их осуществления. Потребности в ресурсах растут при переходе от зеленой категории к желтой и далее к красной, как указано ниже. В то же время самый простой индекс/показатель не всегда оптимален для использования.

В классификации по «простоте использования» применяется следующий принцип «сигналов светофора» для каждого показателя/индекса:

Зеленый: индексы считаются зелеными, если применим один или более из следующих критериев:

- код или программа для прогона индекса легкодоступна и бесплатна;
- суточные данные не требуются;
- допускаются пробелы в данных;
- результаты использования индекса уже получаются в оперативном режиме и доступны онлайн.

Примечание: несмотря на то, что классификация по «простоте использования» может указывать на то, что показатель/индекс является самым простым в плане получения или использования, это не означает, что он является оптимальным для данного региона или местности. Решение о том, какие показатели/индексы использовать, принимается пользователем и зависит от конкретного(ых) применения(й).

Желтый: индексы считаются желтыми, если применим один или более из следующих критериев:

- для расчетов требуется множество переменных или входных параметров;
- код или программа для прогона индекса отсутствует в открытом доступе;
- может потребоваться лишь один входной параметр или переменная, однако код недоступен;
- сложность расчетов для получения индекса минимальна.

Красный: индексы считаются красными, если применим один или более из следующих критериев:

- необходимо разработать код для расчета индекса на основе методологии, описанной в литературе;
- индекс или производная продукция не являются легкодоступными;
- индекс малоизвестен и не используется широко, однако может быть применим;
- индекс содержит получаемые путем моделирования входные параметры, либо является частью расчетов.

Таблица 1. Показатели и индексы, приведенные в настоящем справочнике

Метеорология	Страница	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Индекс аномальной аридности (AAI)	11	Зеленый	P, T, PET, ET	Используется в оперативном режиме в Индии
Децили	11	Зеленый	P	Легко рассчитываются; могут быть полезны примеры применения в Австралии
Индекс засушливости Кетча-Бирама (KBDI)	12	Зеленый	P, T	Расчеты с учетом климата рассматриваемой территории
Процент от нормы осадков	12	Зеленый	P	Простые расчеты
Стандартизированный индекс осадков (SPI)	13	Зеленый	P	Выделен Всемирной метеорологической организацией в качестве отправной точки для мониторинга метеорологических засух
Взвешенный стандартизированный индекс аномальных осадков (WASP)	15	Зеленый	P, T	Использует данные с координатной привязкой для мониторинга засух в тропических регионах
Индекс аридности (AI)	15	Желтый	P, T	Может также использоваться в климатических классификациях
Z-индекс Китая (CZI)	16	Желтый	P	Предназначен для совершенствования по данным SPI
Индекс увлажнения посевов (CMI)	16	Желтый	P, T	Требуются недельные значения
Индекс засушливой территории (DAI)	17	Желтый	P	Дает представление о характере сезона муссонов
Рекогносцировочный индекс засушливости (DRI)	17	Желтый	P, T	Требуются месячные значения температуры и осадков
Эффективный индекс засушливости (EDI)	18	Желтый	P	Программу можно получить путем непосредственного обращения к органу-разработчику
Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)	19	Желтый	P, T	Простые расчеты и ряд примеров применения в Российской Федерации
Индекс засухи НУОА (NDI)	19	Желтый	P	Лучше всего использовать в сельскохозяйственных применениях

Индекс интенсивности засухи Палмера (PDSI)	20	Желтый	P, T, AWC	Не относится к зеленым индексам ввиду сложности расчетов и необходимости наличия рядов данных без пропусков
Индекс Z Палмера	20	Желтый	P, T, AWC	Один из многочисленных выходных результатов расчетов PDSI
Индекс аномальных осадков (RAI)	21	Желтый	P	Требуются ряды данных без пропусков
Индекс интенсивности засухи Палмера с автокалибровкой (sc-PDSI)	22	Желтый	P, T, AWC	Не относится к зеленым индексам ввиду сложности расчетов и необходимости наличия рядов данных без пропусков
Стандартизированный индекс аномальности (SAI)	22	Желтый	P	Точечные данные используются для описания региональных условий
Стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI)	23	Желтый	P, T	Требуются ряды данных без пропусков; результаты сходны с SPI, но включают температурный компонент
Сельскохозяйственный базовый индекс засухи (ARID)	23	Красный	P, T, Mod	Разработан для юго-восточной части Соединенных Штатов Америки и не подвергался широкой апробации за пределами региона
Индекс засушливости, учитывающий особенности сельскохозяйственных культур (CSDI)	24	Красный	P, T, Td, W, Rad, AWC, Mod, CD	Требуются качественные данные по многим переменным, что затрудняет использование
Мелиоративный индекс засушливости (RDI)	25	Красный	P, T, S, RD, SF	Аналогичен индексу запаса поверхностной влаги, но включает температурный компонент

Почвенная влага	Страница	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Аномалия почвенной влаги (SMA)	25	Желтый	P, T, AWC	Предназначен для уточнения водного баланса в PDSI
Индекс дефицита эвапотранспирации (ETDI)	26	Красный	Mod	Сложные расчеты и требуются многие входные параметры
Индекс дефицита почвенной влаги (SMDI)	26	Красный	Mod	Еженедельные расчеты на различной глубине почвы; сложные расчеты

Запас почвенной влаги (SWS)	27	Красный	AWC, RD, ST, SWD	Ввиду вариативности как почв, так и культур, интерполяция на большие площади затруднительна
-----------------------------	----	---------	------------------	---

Гидрология	Страница	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Гидрологический индекс засухи Палмера (PHDI)	27	Желтый	P, T, AWC	Требуются ряды данных без пропусков
Стандартизированный индекс запаса водоема (SRSI)	28	Желтый	RD	Расчеты аналогичны SPI с использованием данных по водоему
Стандартизированный индекс речного стока (SSFI)	29	Желтый	SF	Используется программа SPI наряду с данными по речному стоку
Стандартизированный индекс уровня воды (SWI)	29	Желтый	GW	Расчеты аналогичны SPI, однако вместо данных об осадках используются данные о грунтовых водах или уровне воды в скважинах
Индекс стока в период засухи (SDI)	30	Желтый	SF	Расчеты аналогичны SPI, однако вместо данных об осадках используются данные о стоке
Индекс запаса поверхностной влаги (SWSI)	30	Желтый	P, RD, SF, S	Существует множество методологий и производной продукции, однако сравнения между бассейнами зависят от выбранного метода
Сводный индекс засушливости (ADI)	31	Красный	P, ET, SF, RD, AWC, S	Код отсутствует, однако математические выкладки представлены в соответствующих источниках
Стандартизированный индекс снеготаяния и дождевых осадков (SMRI)	32	Красный	P, T, SF, Mod	Может использоваться с информацией о снежном покрове или без нее

Дистанционное зондирование	Страница	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Усовершенствованный вегетационный индекс (EVI)	32	Зеленый	Sat	Не отделяет стресс, вызванный засухой, от связанных с другими факторами видов стресса
Индекс испарительного стресса (ESI)	33	Зеленый	Sat, PET	Многолетняя практика использования этой продукции в оперативном режиме отсутствует

Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)	33	Зеленый	Sat	Рассчитывается для большинства территорий
Индекс температурных условий (TCI)	34	Зеленый	Sat	Обычно используется вместе с расчетами NDVI
Индекс вегетационных условий (VCI)	34	Зеленый	Sat	Обычно используется вместе с расчетами NDVI
Индекс реагирования растительности на засуху (VegDRI)	35	Зеленый	Sat, P, T, AWC, LC, ER	Учитывает множество переменных для отделения стресса, вызванного засухой, от других видов стресса, испытываемого растениями
Индекс состояния растительности (VHI)	35	Зеленый	Sat	Одна из первых попыток мониторинга засухи с использованием данных дистанционного зондирования
Индекс удовлетворения потребности в воде (WRSI) и геопространственный WRSI	36	Зеленый	Sat, Mod, CC	Используется в оперативном режиме для многих территорий
Нормализованный разностный водный индекс (NDWI) и индекс влажности поверхности земли (LSWI)	37	Зеленый	Sat	Подготавливаются в оперативном режиме с использованием данных, полученных при помощи спектрорадиометра для получения изображений со средним разрешением
Почвенный уточненный вегетационный индекс (SAVI)	37	Красный	Sat	Не подготавливаются в оперативном режиме

Комплексные или модельные	Страница	Простота использования	Входные параметры	Дополнительная информация
Комбинированный показатель засушливости (CDI)	38	Зеленый	Mod, P, Sat	Используются как наземные данные, так и данные дистанционного зондирования
Система глобального комплексного мониторинга и прогнозирования засухи (GIDMaPS)	38	Зеленый	Multiple, Mod	Используется в оперативном режиме с глобальной выходной продукцией для трех индексов засушливости: стандартизированного индекса почвенной влаги, SPI и многомерного стандартизированного индекса засухи

Глобальная система усвоения данных о суше (GLDAS)	39	Зеленый	Multiple, Mod, Sat	Благодаря глобальному охвату полезна для регионов со слабым покрытием данными
Многомерный стандартизированный индекс засухи (MSDI)	40	Зеленый	Multiple, Mod	Может использоваться, но потребуются интерпретация
Монитор засух в США (USDM)	41	Зеленый	Multiple	Может использоваться, однако потребуются интерпретация

Примечание: показатели и индексы сгруппированы по «простоте использования», а внутри каждой категории «простоты использования» представлены в алфавитном порядке.

Ключ для переменных:

AWC = доступная влага

CC = коэффициент сельскохозяйственной культуры

CD = данные о сельскохозяйственной культуре

ER = экорегион

ET = эвапотранспирация

GW = подземные воды

LC = почвенно-растительный покров

Mod = моделирование

Multiple = используется множество индикаторов

P = осадки

PET = потенциальная эвапотранспирация

Rad = солнечная радиация

RD = резервуар

S = снежный покров

Sat = спутник

SF = речной сток

ST = тип почвы

SWD = дефицит почвенной влаги

T = температура

Td = температура точки росы

W = данные о ветре

6. РЕСУРСЫ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ И ИНДЕКСАМ

Существует несколько источников информации о различных показателях и индексах, применяемых сегодня в мире. Некоторые из наиболее распространенных индексов описаны и разъясняются в соответствующих документах Национальным центром по смягчению последствий засух (НЦСПЗ) в Университете штата Небраска в Линкольне, Соединенные Штаты Америки, который поддерживает специальный раздел ресурса по индексам засушливости: <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

Межрегиональный практический семинар по индексам и системам заблаговременных предупреждений о засухе, организованный Всемирной метеорологической организацией (ВМО)/НЦСПЗ, состоялся в Университете штата Небраска в Линкольне в 2009 г. Одним из его итогов стало одобрение стандартизованного индекса осадков (SPI) через посредство Линкольнской декларации по индексам засух в качестве стандарта для определения наличия метеорологической засухи (Hayes et al., 2011). ВМО разработала руководство для пользователей SPI, см. http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_en_2012.pdf.

В рамках последующей деятельности ВМО и Управление Организации Объединенных Наций по вопросам уменьшения опасности бедствий в сотрудничестве с Гидрографической конфедерацией бассейна реки Сегуры и Государственным агентством по метеорологии Испании в 2010 г. организовали совещание группы экспертов по индексам сельскохозяйственных засух в Мурсии, Испания (Sivakumar et al., 2011). Группа ученых из различных стран, которая включала представителей Регионов ВМО, рассмотрела 34 индекса, используемые для оценки воздействия засухи на сельское хозяйство, уделяя особое внимание их сильным и слабым сторонам. Материалы, вошедшие в Труды совещания экспертов по индексам сельскохозяйственных засух, представляют собой 17 докладов, с которыми можно ознакомиться по ссылке: <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm11/agm11.pdf>.

Кроме того, в конце настоящей публикации приводится литература, например Heim (2002), Keyantash and Dracup (2002) и Zargar et al. (2011), в которой рассматриваются как индексы засушливости, используемые в настоящее время, так и использовавшиеся ранее.

За получением дополнительной помощи в выборе, интерпретации и применении показателей и индексов следует обращаться в КПБЗ по ссылке <http://www.droughtmanagement.info/> или по электронной почте: idmp@wmo.int.



7. ПОКАЗАТЕЛИ И ИНДЕКСЫ

7.1 Метеорология

Название индекса: индекс аномальной аридности (AAI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан в Индии Метеорологическим департаментом Индии.

Характеристики: индекс засушливости, получаемый в реальном масштабе времени, в котором учитывается водный баланс. Индекс аридности (AI) рассчитывается для недельных и двухнедельных периодов. Для каждого периода фактическая аридность за определенный период сравнивается с нормальной аридностью для этого же периода времени. Отрицательные значения указывают на избыток влаги, а положительные значения свидетельствуют о недостатке влаги.

Входные параметры: фактическая эвапотранспирация и рассчитанная потенциальная эвапотранспирация, для которых необходимо наличие значений температуры, ветра и солнечной радиации.

Области применения: воздействия засушливости на сельское хозяйство, особенно в тропиках, где выраженные влажный и сухой сезоны являются частью климатического режима. Оценки как зимних, так и летних посевных сезонов могут проводиться с использованием этого метода.

Достоинства: специальный индекс для сельского хозяйства, расчеты производить просто, а характеристика засухи (слабая, умеренная или сильная) основана на отклонении от нормы. Быстрое реагирование с недельным шагом по времени.

Недостатки: не применим к продолжительным или многосезонным явлениям.

Ресурсы: <http://imdpune.gov.in/hydrology/methodology.html>.

Источник: http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap06.pdf.

Название индекса: децили

Простота использования: зеленый.

Происхождение: простой математический подход, описанный Гиббсом и Махером в 1967 г. во время их работы в Австралийском бюро метеорологии.

Характеристики: использование всего периода, за который имеются данные о количестве осадков для данной местности, частота и распределение осадков представляются в виде градации. Первый дециль состоит из количества атмосферных осадков, в которых нижние 10 % значений не превышаются, а пятый дециль является медианой. Имеется также шкала влажности. В этой методологии могут учитываться суточные, недельные, месячные, сезонные и годовые значения, поскольку она обладает гибкостью при сравнении текущих данных с историческими за любой конкретный период.

Входные параметры: только количество осадков; рассматриваемый временной масштаб может меняться.

Области применения: благодаря возможности рассмотрения в различных временных масштабах и с разным временным шагом децили могут использоваться в ситуациях метеорологических, сельскохозяйственных и гидрологических засух.

Достоинства: поскольку анализ проводится на основе одной переменной, методология проста и отличается гибкостью в применении ко многим условиям. С использованием четко определенных пороговых значений текущие данные помещаются в исторический контекст, и могут распознаваться условия засушливости. Индекс полезен как для влажных, так и засушливых условий.

Недостатки: как и в других показателях, использующих только количество осадков, влияние температуры и других переменных в ходе развития засухи не учитывается. Долговременные ряды данных позволяют получить наилучшие результаты, поскольку в распределении учитывается большое количество сухих и влажных периодов.

Ресурсы: не существует конкретного программного кода для децилей, и для получения результата можно использовать несколько онлайн-инструментов. Соответственно, важно уточнить лежащую в основе методологию, поскольку существует целый ряд статистических методов для расчета децилей по метеорологическим данным <http://drinc.ewra.net/>.

Источник: Gibbs, W.J. and J.V. Maher, 1967: *Rainfall Deciles as Drought Indicators*. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.

Название индекса: индекс засушливости Кетча-Бирама (KBDI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: часть работы, которая в конце 1960-х годов была проделана Кетчем и Бирамом в Федеральном лесном управлении Министерства сельского хозяйства США. Этот индекс главным образом представляет собой индекс пожарной опасности.

Характеристики: разработан для выявления засухи на ранних этапах с использованием единообразного метода, учитывающего особенности климата данного региона. Показывает суммарное влияние эвапотранспирации и осадков на возникновение дефицита увлажнения в верхних слоях почвы, а также дает представление о том, какое количество осадков требуется для насыщения почвы и устранения стресса, вызванного засухой.

Входные параметры: максимальная суточная температура и суточное количество осадков. Рассчитываются таблицы для установления взаимосвязи между KBDI и различными режимами осадков на основе особенностей местного климата.

Области применения: предназначенный для использования в качестве метода мониторинга опасности пожаров, обусловленных засухой, KBDI оказался полезным в сельскохозяйственном контексте, поскольку величина почвенного увлажнения была напрямую связана со стрессом сельскохозяйственных культур, вызванным засухой.

Достоинства: выражает дефицит увлажнения для какой-либо территории и может быть масштабирован для получения характеристик любого конкретного места. Расчеты производить легко, метод прост в использовании.

Недостатки: используется допущение о предельном доступном увлажнении и необходимости наличия определенных климатических условий для развития засухи, что необязательно справедливо для любой местности.

Ресурсы: метод и расчеты известны и широко описаны в литературе. Для различных территорий в Интернете имеется множество карт <http://www.wfas.net/index.php/keetch-byram-index-moisture-drought-49>.

Источник: Keetch, J.J. and G.M. Byram, 1968: A Drought Index for Forest Fire Control. United States Department of Agriculture Forest Service Research Paper SE-38, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC.

Название индекса: процент от нормы осадков**Простота использования:** зеленый.

Происхождение: процент от любого количества представляет собой простую статистическую выкладку. Точное происхождение или начало применения для описания аномалии осадков неизвестно.

Характеристики: простой расчет, который может использоваться для сравнения любого временного периода для любой местности. Может вычисляться в различных временных масштабах: дня, недели, месяца, сезона и года, что подходит для удовлетворения потребностей многих пользователей. Рассчитывается путем деления фактического количества осадков на норму осадков за рассматриваемый период времени и умножения на 100.

Входные параметры: значения количества осадков, необходимые для расчетного временного масштаба. Идеально наличие данных как минимум за 30 лет для расчета нормального периода.

Области применения: может использоваться для выявления и мониторинга различных воздействий засухи.

Достоинства: популярный метод, быстрый и простой для несложных математических расчетов.

Недостатки: определение нормы для местности — это расчет, который некоторые пользователи могут путать со средним или усредненным количеством осадков. Трудно сравнивать различные климатические режимы друг с другом, особенно те, которые имеют выраженные влажный и сухой сезоны.

Источник: Hayes, M.J., 2006: Drought Indices. Van Nostrand's Scientific Encyclopedia, John Wiley & Sons, Inc., doi:10.1002/0471743984.vse8593, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471743984.vse8593/abstract;jsessionid=CA39E5A4F67AA81580F505CBB07D2424.f01t04>.

Название индекса: стандартизированный индекс осадков (SPI)**Простота использования:** зеленый.

Происхождение: результат научных исследований и работы, проведенной Макки и др. в 1992 г. в Колорадском университете, США. Итоги их работы были впервые представлены на 8-й конференции по прикладной климатологии, которая проводилась в январе 1993 г. В основе этого индекса лежат взаимосвязи частоты, продолжительности и временных масштабов засухи.

В 2009 г. ВМО рекомендовала SPI в качестве основного метеорологического индекса засушливости, который следует использовать странам для мониторинга и отслеживания условий засушливости (Hayes, 2011). Предлагая SPI в качестве индекса для широкого использования, ВМО задала направление для дальнейшей деятельности странам, которые пытаются определить необходимый уровень для заблаговременного предупреждения.

Характеристики: используются исторические данные об осадках по любой местности для определения вероятности осадков, которые могут быть вычислены при любом количестве временных масштабов от 1 до 48 месяцев или более. Как и в случае с другими показателями, временные ряды данных, используемые для расчета SPI, совсем не обязательно должны соответствовать определенному отрезку. Гуттман (1998,1999) отметил, что наличие дополнительных данных в виде многолетних рядов сделает результаты вероятностного распределения более надежными, поскольку будет рассмотрено большее количество выборок явлений экстремального увлажнения

и экстремальной засушливости. SPI может рассчитываться на основе данных всего лишь за 20 лет, однако в идеале временные ряды данных должны охватывать как минимум 30 лет, даже если недостает части данных.

SPI имеет шкалу интенсивности, по которой рассчитываются как положительные, так и отрицательные значения, напрямую коррелирующие с явлениями увлажнения и засушливости. В отношении засух большой интерес представляют собой «хвосты» распределения осадков, а особенно экстремальные явления засушливости, которые считаются редкими, если исходить из климата изучаемого региона.

Явления засухи отмечаются, когда результаты по SPI, независимо от исследуемого временного масштаба, становятся непрерывно отрицательными и достигают величины -1 . Считается, что явление засухи продолжается, пока SPI не достигнет значения 0. Макки и др. (1993) полагали, что засуха начинается при SPI, равном -1 или меньше, однако в этом отношении стандарта не существует, поскольку одни исследователи могут выбрать пороговое значение ниже 0, но не достигнувшее уровня -1 , а другие изначально классифицируют засуху при значениях менее -1 .

Благодаря удобству применения и гибкости SPI этот индекс может быть рассчитан даже тогда, когда в собранных за период данных для данной местности имеются пробелы. В идеале временные ряды должны быть максимально полными, но если для расчета значений недостаточно, то расчеты SPI будут давать «нулевое» значение, и расчет SPI возобновится с появлением данных. SPI обычно рассчитывается во временных масштабах до 24 месяцев, а гибкость индекса позволяет использовать его для различных применений, связанных с событиями, которые влияют на сельское хозяйство, водные ресурсы и другие сектора.

Входные параметры: количество осадков. Большинство пользователей применяют SPI, пользуясь месячными наборами данных, однако компьютерные программы обладают гибкостью и позволяют получать результаты с использованием суточных и недельных значений. Методология SPI не меняется при использовании суточных, недельных или месячных данных.

Области применения: возможность расчета SPI с различными временными масштабами позволяет обеспечить его многочисленные применения. В зависимости от конкретного воздействия засухи, для базового мониторинга засухи могут применяться значения SPI за 3 месяца или менее, для мониторинга воздействий на сельское хозяйство — значения за 6 месяцев и менее, а для гидрологических воздействий — значения за 12 месяцев и более. SPI может также быть рассчитан по наборам данных об осадках с координатной привязкой, что делает этот индекс подходящим для более широкого круга пользователей, включающего не только специалистов, работающих с данными со станций.

Достоинства: использование одних только данных об осадках является самым большим преимуществом SPI, поскольку это обеспечивает простоту использования и вычисления. SPI применим ко всем климатическим режимам, и значения SPI для весьма различных климатических условий могут сравниваться. Возможность расчета SPI для непродолжительных периодов регистрации данных с недостающими данными также ценно для тех регионов, где покрытие данными недостаточно или отсутствуют долговременные связанные ряды данных. Программа, используемая для расчета SPI, проста в использовании и легко доступна. НЦСПЗ предоставляет программу для использования на персональных компьютерах, которая уже распространена в свыше 200 стран мира. Возможность производить расчеты с различными временными масштабами также обеспечивает потенциал широкого применения SPI. В научной литературе имеется большое количество посвященных SPI статей, которые предоставляют начинающим пользователям сведения о множестве ресурсов для обращения за помощью.

Недостатки: поскольку в качестве входного параметра используется только количество осадков, SPI недостаточен для характеристики температурного компонента, важного в контексте общего водного баланса и водопользования региона. Этот недостаток может затруднить сравнение явлений со значениями, близкими к значениям SPI, но с разными

температурными сценариями. Гибкость метода SPI, позволяющая производить расчеты для непродолжительных периодов сбора данных или использовать данные, содержащие большое количество недостающих значений, может также привести к неправильному использованию результатов, поскольку программа выдает выходную информацию на основе любых вводимых данных. SPI предполагает априорное распределение, что уместно не для всех условий, особенно при рассмотрении непродолжительных явлений или начала периода засухи или его окончания. Существует много версий SPI, реализованных в виде различных программных пакетов вычислений, помимо тех, которые можно найти в исходном коде, распространяемом НЦСПЗ. Важно проверять совместимость этих алгоритмов и согласованность выходных данных, используя опубликованные версии.

Ресурсы: программа для SPI может использоваться на персональных компьютерах на базе программного обеспечения Windows <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

Источники:

Guttman, N.B., 1998: Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *Journal of the American Water Resources Association*, 34:113–121, doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.

Guttman, N.B., 1999: Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35:311–322, doi:10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x.

Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall and M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4):485–488.

McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.

Всемирная метеорологическая организация, 2012: Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков (ВМО-№ 1090), Женева.

Wu, H., M.J. Hayes, D.A. Wilhite and M.D. Svoboda, 2005: The effect of the length of record on the Standardized Precipitation Index calculation. *International Journal of Climatology*, 25(4):505–520.

Название индекса: взвешенный стандартизированный индекс аномальных осадков (WASP)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан Лионом для мониторинга осадков в тропических районах в пределах 30° широты от экватора.

Характеристики: используются данные о месячном количестве осадков с координатной привязкой с разрешением 0,5° × 0,5° и на основе 12-месячных перекрывающихся сумм взвешенных стандартизированных аномалий месячных осадков.

Входные параметры: значения месячных осадков и годовых осадков.

Области применения: используется главным образом во влажных тропических регионах для мониторинга развивающейся засухи с учетом определенных влажных и сухих периодов в данном климатическом режиме. Может использоваться для мониторинга засух, которые влияют на сельское хозяйство и другие сектора.

Достоинства: использование количества осадков в качестве единственного входного параметра упрощает расчеты.

Недостатки: относительно невысока эффективность применения в пустынных регионах. Получить данные об осадках с координатной привязкой может быть затруднительно в оперативном режиме.

Ресурсы: методы и расчеты приводятся и разъясняются в литературе http://iridl.ldeo.columbia.edu/maproom/Global/Precipitation/WASP_Indices.html.

Источник: Lyon, B., 2004: The strength of El Niño and the spatial extent of tropical drought. *Geophysical Research Letters*, 31:L21204, doi:10.1029/2004GL020901.

Название индекса: индекс аридности (AI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан на основе работы, проведенной Де Мартонне в 1925 г.; аридность определяется как отношение количества осадков к средней температуре.

Характеристики: может использоваться для классификации климата различных регионов, поскольку отношение осадков к температуре дает возможность определять климатический режим района. Месячные расчеты AI могут использоваться для определения наступления засухи, поскольку индекс учитывает воздействие температуры наряду с осадками.

Входные параметры: среднемесячная температура и осадки. Для климатической классификации используются годовые значения.

Области применения: применяется главным образом для определения развития засухи в более коротких временных масштабах, что имеет ценность для выявления и мониторинга сельскохозяйственных и метеорологических воздействий.

Достоинства: простота вычислений на основе лишь двух входных параметров. Гибкость обусловлена возможностью проведения анализа с разным временным шагом.

Недостатки: не учитывает переход засушливости из года в год. Может характеризоваться медленной реакцией в некоторых типах климата.

Источники:

Baltas, E., 2007: Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14:69–78.

De Martonne, E., 1925: *Traité de Géographie Physique*. 11. Paris, Colin.

Название индекса: Z-индекс Китая (CZI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработанный в Китае индекс CZI основан на простоте расчетов с использованием SPI и совершенствуется на его основе, еще более упрощая расчеты для пользователя. Для выявления и мониторинга засушливых периодов может использоваться статистическая Z-оценка. Индекс впервые применен и разработан в 1955 г. Национальным климатическим центром Китая.

Характеристики: CZI аналогичен SPI, поскольку осадки используются для определения влажных и засушливых периодов с допущением того, что осадки подчиняются распределению Пирсона III типа. В нем используются месячные временные шаги от 1 до 72 месяцев, что позволяет выявлять засухи различной продолжительности.

Входные параметры: месячные осадки.

Области применения: по аналогии с SPI — в случаях, когда сухие и влажные периоды можно отследить в различных временных масштабах.

Достоинства: простые расчеты, которые могут выполняться на компьютере с различным временным шагом. Может использоваться для явлений как сухих, так и влажных периодов. Допускаются пробелы в имеющихся данных, по аналогии с SPI.

Недостатки: данные Z-оценки не требуют коррекции путем их подгонки под гамма-распределение или распределение Пирсона II типа, в связи с чем, предположительно, по сравнению с SPI менее продолжительные временные масштабы представлены не столь хорошо.

Ресурсы: со всеми расчетами и необходимыми разъяснениями по CZI можно ознакомиться по ссылке: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.658/pdf>.

Источники:

Edwards, D.C. and T.B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Atmospheric Science*, 634:1–30.

Wu, H., M.J. Hayes, A. Weiss and Q. Hu, 2001: An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-score. *International Journal of Climatology*, 21:745–758.

Название индекса: индекс увлажнения посевов (CMI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: появившийся изначально в результате работы, проделанной Палмером в начале 1960-х гг., как правило, индекс CMI рассчитывается на еженедельной основе наряду с индексом интенсивности засухи Палмера (PDSI) в качестве краткосрочного компонента засухи с учетом воздействий на сельское хозяйство.

Характеристики: когда стали очевидными некоторые недостатки, связанные с PDSI, Палмер отреагировал на них разработкой CMI. Этот показатель задуман как индекс засухи, который оптимально подходит для воздействий засухи на сельское хозяйство, поскольку он сразу реагирует на быстро меняющиеся условия. Рассчитывается путем вычитания разницы между потенциальной эвапотранспирацией и влажностью для определения любого дефицита.

Входные параметры: недельное количество осадков, средненедельная температура и значение CMI за предыдущую неделю.

Области применения: используется для мониторинга засух, для которых воздействия на сельское хозяйство представляют собой основную проблему.

Достоинства: результат вычисления представляет собой взвешенные данные, что делает возможным сравнение различных климатических режимов. Сразу реагирует на быстро меняющиеся условия.

Недостатки: поскольку он был разработан конкретно для зернопроизводящих регионов США, CMI может давать ложное впечатление о восстановлении после продолжительных засух, поскольку улучшение параметров в краткосрочном масштабе может не быть достаточным для компенсации последствий трудностей долгосрочного характера.

Ресурсы: <https://www.drought.gov/drought/content/products-current-drought-and-monitoring-drought-indicators/crop-moisture-index>.

Источник: Palmer, W.C., 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21:156–161.

Название индекса: индекс засушливой территории (DAI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан в конце 1970-х гг. специалистами Бальме и Мули в Институте тропической метеорологии Индии.

Характеристики: разработан в качестве метода обеспечения более глубокого понимания муссонных осадков в Индии и предусматривает определение эпизодов как наводнений, так и засух с использованием месячных величин осадков. Сравнение месячного количества осадков в течение критического периода муссонов позволяет получить данные об интенсивности сухого и влажного периодов и определить значимость засушливости на основе вклада осадков за каждый месяц в суммарный сезон муссонов.

Входные параметры: месячные осадки в сезон муссонов.

Области применения: используется для определения того, был ли сезон муссонов адекватным или сухим, либо того, существует ли вероятность наводнения. Прогноз засухи является хорошим заблаговременным предупреждением о потенциальной возможности развития голода.

Достоинства: узкоспецифичен с ориентацией на сезоны муссонов в тропиках Индии.

Недостатки: недостаточно применим к другим районам или климатическим режимам.

Ресурсы: математические выкладки и соответствующие пояснения по этому индексу содержатся в авторской статье <http://moeseprints.incois.gov.in/1351/1/large%20scale.pdf>.

Источник: Bhalme, H.N. and D.A. Mooley, 1980: Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108:1197–1211.

Название индекса: рекогносцировочный индекс засушливости (DRI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: работа проводилась по инициативе Цакириса и Вангелиса в Национальном техническом университете Афин, Греция.

Характеристики: состоит из индекса засухи, который содержит упрощенное уравнение водного баланса, учитывающее количество осадков и потенциальную эвапотранспирацию. Имеет три результата вычислений: начальное значение, нормированное значение и стандартизованное значение. Стандартизованное значение DRI по своей природе сходно с SPI и может напрямую с ним сравниваться. Однако DRI более репрезентативен, чем SPI, поскольку в нем рассматривается водный баланс в целом, а не только показатель количества осадков.

Входные параметры: значения месячной температуры и количества осадков.

Области применения: случаи, когда воздействие на сельское хозяйство и водные ресурсы является основной проблемой.

Достоинства: использование потенциальной эвапотранспирации обеспечивает большую репрезентативность общего водного баланса региона по сравнению с SPI, что позволяет иметь лучшее представление об интенсивности засухи. Может рассчитываться для различных временных шагов, как и SPI. Все необходимые математические выкладки приведены в соответствующих источниках.

Недостатки: расчеты потенциальной эвапотранспирации могут выдавать ошибки при использовании только показателя температуры для составления оценки. Месячный временной масштаб может не обладать достаточной способностью быстрого реагирования в условиях быстро развивающихся засух.

Ресурсы: программное обеспечение для DRI доступно по ссылке <http://drinc.ewra.net/>.

Источник: Tsakiris, G. and H. Vangelis, 2005: Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*, 9/10:3–11.

Название индекса: эффективный индекс засушливости (EDI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан в работах Бюна и Уилхайта, а также сотрудников НЦСПЗ.

Характеристики: используются данные о суточном количестве осадков для разработки и вычисления нескольких параметров: эффективные осадки (ЭО), среднесуточные ЭО, отклонение ЭО (ОЭО) и стандартизированная величина ОЭО. С помощью этих параметров можно определить начало и завершение периодов дефицита воды. С использованием входных параметров расчеты EDI могут выполняться для любой местности в мире, при этом результаты для сравнения стандартизуются, обеспечивая точное определение начала, завершения и продолжительности засухи. В то время, когда разрабатывался EDI, большинство индексов засушливости рассчитывались с использованием месячных данных, поэтому переход к суточным данным не имел аналогов и был важным для практической полезности индекса.

Входные параметры: суточное количество осадков.

Области применения: индекс, полезный для оперативного мониторинга ситуаций как метеорологической, так и сельскохозяйственной засухи, поскольку расчеты уточняются на ежедневной основе.

Достоинства: поскольку для расчетов требуется всего один входной параметр, EDI можно рассчитывать для любой местности, где регистрируются данные наблюдений за осадками. Для программы имеются вспомогательные документы, в которых разъясняются процессы вычислений. EDI стандартизируется таким образом, чтобы результаты вычислений для всех климатических режимов можно было сравнивать. Эффективен для выявления начала, завершения и продолжительности явлений засухи.

Недостатки: поскольку учитываются только осадки, воздействие температуры на ситуации засушливости не рассматривается напрямую. Применение суточных данных может осложнить использование EDI в оперативных ситуациях, поскольку ежедневное уточнение входных данных может оказаться невозможным.

Ресурсы: авторы заявляют, что код можно получить, обратившись к ним напрямую. Расчеты доступны и описаны в исходной работе, ссылка на которую приводится ниже. EDI рассчитывается в составе набора индексов, которые вычисляются в пакете программного обеспечения, называемом Информационное моделирование пространственных и временных рядов (SPATSIM) http://www.preventionweb.net/files/1869_VL102136.pdf.

Источник: Byun, H.R. and D.A. Wilhite, 1996: Daily quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 5:1181–1201.

Название индекса: гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Селяниновым в Российской Федерации с учетом условий российского климата.

Характеристики: используются значения температуры и осадков. Индекс чувствителен к засушливым условиям, характерным для изучаемого климатического режима, обладает достаточной гибкостью и может использоваться в применениях месячного и декадного масштабов.

Входные параметры: значения месячной температуры и количества осадков.

Области применения: полезен для мониторинга условий сельскохозяйственной засухи, а также используется в климатических классификациях.

Достоинства: простой для расчетов, значения могут применяться к сельскохозяйственным условиям в сезон вегетации.

Недостатки: в расчетах не учитывается почвенная влага.

Ресурсы: информацию можно получить на веб-сайте Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии <http://cxm.obninsk.ru/index.php?id=154>, а также на веб-сайте интерактивного Агроэкологического атласа России и сопредельных стран http://www.agroatlas.ru/en/content/Climatic_maps/GTK/GTK/index.html.

Источник: Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. Вып. 20. С. 165–177.

Название индекса: индекс засухи НУОА (NDI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан в начале 1980-х гг. в Объединенном центре по метеорологическому обслуживанию сельского хозяйства в рамках попыток Министерства сельского хозяйства США использовать метеорологические и климатические данные для оценки продуктивности сельскохозяйственных культур в мире.

Характеристики: индекс на основе количества осадков, в котором фактические измеренные осадки сравниваются с нормальными значениями во время сезона вегетации. Рассчитывается среднее количество осадков за каждую неделю, а затем скользящее среднее за восемь недель для измеренного среднего количества осадков суммируется и сравнивается. Если фактические осадки превышают 60 % нормы осадков за восьминедельный период, предполагается, что в текущую неделю водный стресс незначителен или отсутствует. Считается, что выявленный стресс сохраняется до тех пор, пока фактическое количество осадков не достигнет уровня в 60 или более процентов от нормы.

Входные параметры: месячное количество осадков, преобразованное в недельные значения осадков.

Области применения: используется как показатель засушливых условий, влияющих на сельское хозяйство.

Достоинства: единственным входным параметром является количество осадков с месячным шагом по времени. Расчеты и пояснения по использованию являются несложными.

Недостатки: требуются данные по меньшей мере за 30 лет для вычислений нормированных месячных значений, которые используются для расчета недельных значений. Имеет узконаправленные области применения, связанные с сельским хозяйством, распространением и развитием сельскохозяйственных культур.

Источник: Strommen, N.D. and R.P. Motha, 1987: An operational early warning agricultural weather system. In: *Planning for Drought: Toward a Reduction of Societal Vulnerability* (D.A. Wilhite, W.E. Easterling and D.A. Wood, eds.). Boulder, CO, Westview Press.

Название индекса: индекс интенсивности засухи Палмера (PDSI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан в 1960-х гг. в качестве одной из первых попыток выявить засуху с использованием большего объема данных, чем только данные о количестве осадков. Палмеру было поручено разработать метод, объединяющий данные о температуре и осадках с информацией о водном балансе, с целью выявления засух в регионах возделывания сельскохозяйственных культур в США. В течение многих лет PDSI был единственным индексом засухи, используемым в оперативной практике, и он до сих пор весьма популярен в мире.

Характеристики: рассчитывается на основе данных о месячных температурах и количестве осадков, а также информации о водоудерживающей способности почв. Учитывает поступающую влагу (осадки) и запасы влаги в почве, принимая во внимание потенциальную потерю влаги в результате температурного воздействия.

Входные параметры: данные о месячной температуре и количестве осадков. Можно использовать информацию о водоудерживающей способности почвы, однако также имеется возможность воспользоваться значениями по умолчанию. Требуются ряды данных о температуре и количестве осадков без пробелов.

Области применения: разрабатывался в основном как способ выявления засух, оказывающих воздействие на сельское хозяйство, но использовался также и для выявления мониторинга засух, связанных с другими типами воздействий. Поскольку PDSI существует давно, имеется множество примеров его применения на протяжении многих лет.

Достоинства: используется по всему миру, код и результаты вычислений широко доступны. В научной литературе можно найти многочисленные статьи, касающиеся PDSI. Использование данных о почве и методологии расчета суммарного водного баланса делает этот индекс весьма надежным для выявления засухи.

Недостатки: необходимость наличия рядов данных без пробелов может вызывать проблемы. Временной масштаб PDSI составляет приблизительно девять месяцев, что приводит к запаздыванию в выявлении засушливых условий на основе упрощения компонента почвенной влаги в расчетах. Запаздывание может достигать нескольких месяцев, что является недостатком при попытках выявить быстроразвивающиеся условия засухи. Существуют также сезонные проблемы, поскольку PDSI не учитываются твердые осадки или замерзшие почвы.

Ресурсы: <http://hydrology.princeton.edu/data.pdsi.php>.

Источники:

Alley, W.M., 1984: The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology*, 23:1100–1109.

Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC.

Название индекса: индекс Z Палмера

Простота использования: желтый.

Происхождение: индекс Z Палмера реагирует на кратковременные условия лучше, чем PDSI, и обычно рассчитывается для гораздо меньших временных масштабов, позволяя выявить быстроразвивающиеся условия засухи. В контексте первоначальной работы, проведенной Палмером в начале 1960-х гг., индекс Z Палмера обычно рассчитывался на месячной основе одновременно с выработкой PDSI как аномалия влажности.

Характеристики: иногда называется «индексом аномальности влажности», а производные значения можно использовать для сопоставимой оценки относительных аномалий региона применительно как к засушливости, так и к увлажненности, когда для сравнений берутся все данные наблюдений для данной местности.

Входные параметры: индекс Z Палмера является производным от PDSI, а значения Z являются частью результатов вычислений PDSI.

Области применения: пригоден для сравнения текущих периодов с другими известными периодами засух. Также может применяться для определения завершения периода засухи, для чего с его помощью определяют объем влаги, необходимый для достижения категории «близко к норме», согласно определению Палмера.

Достоинства: те же, что и достоинства PDSI. В научной литературе имеется целый ряд статей по этому вопросу. Использование данных о почве и метода суммарного водного баланса делает индекс Z Палмера достаточно надежным индексом для выявления засухи.

Недостатки: аналогично PDSI, необходимо наличие полных рядов данных, что может создавать трудности. Временной масштаб составляет приблизительно девять месяцев, что приводит к запаздыванию в выявлении засушливых условий на основе упрощения компонента почвенной влаги в расчетах. Запаздывание может составлять до нескольких месяцев, что является недостатком при попытках выявить быстроразвивающиеся условия засухи. Существуют также сезонные проблемы, поскольку индекс Z Палмера в недостаточной степени учитывает твердые осадки или замерзшие почвы.

Ресурсы: для получения доступа к пакету Палмера необходимо обращаться в НЦСПЗ: <http://drought.unl.edu/>.

Источник: Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, US Weather Bureau, Washington, DC.

Название индекса: индекс аномальных осадков (RAI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: работа была начата в начале 1960-х гг. Ван Роем.

Характеристики: используются нормированные значения количества осадков, основанные на полученных с метеостанций долговременных рядах данных по данной местности. Сравнение с текущим периодом позволяет рассматривать результаты вычислений в историческом контексте.

Входные параметры: количество осадков.

Области применения: рассматриваются засухи, которые влияют на сельское хозяйство, водные ресурсы и другие сектора, поскольку RAI отличается гибкостью и может быть проанализирован в различных временных масштабах.

Достоинства: простота расчетов, только один входной параметр (количество осадков), который может анализироваться в месячном, сезонном и годовом временных масштабах.

Недостатки: требуются полные ряды данных с оценками недостающих значений. Колебания в течение года должны быть небольшими в сравнении с временными колебаниями.

Ресурсы: ресурсы отсутствуют.

Источники:

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly Weather Review*, 105(8):1009–1018.

Van Rooy, M.P., 1965: A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. *Notos*, 14:43–48.

Название индекса: индекс интенсивности засухи Палмера с автокалибровкой (sc-PDSI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: изначальная работа проведена Уэльсом в Университете штата Небраска в Линкольне в начале 2000-х гг.

Характеристики: учитывает все константы PDSI и предусматривает методологию, по которой константы рассчитываются в динамическом режиме на основе характеристик, имеющихся на каждой метеостанции. Автокалибровка sc-PDSI предусматривается для каждой станции и меняется в зависимости от режима климата конкретной местности. Имеются шкалы увлажнения и засушливости.

Входные параметры: месячные температуры и количество осадков. Можно использовать информацию о водоудерживающей способности почвы, однако также имеется возможность воспользоваться значениями по умолчанию. Требуются ряды данных о температуре и количестве осадков без пробелов.

Области применения: может применяться к условиям метеорологических, сельскохозяйственных и гидрологических засух. При том, что результаты напрямую обусловлены местоположением станции, экстремальные явления происходят редко, поскольку они связаны непосредственно со станционной информацией, а не с константой.

Достоинства: поскольку расчеты по sc-PDSI производятся для каждого конкретного места, индекс отражает происходящее в конкретной точке и обеспечивает возможность более точных сравнений между регионами. Можно рассчитывать с различным шагом по времени.

Недостатки: поскольку методология не отличается от PDSI существенным образом, для нее характерны аналогичные трудности, связанные с запаздыванием, а также с отсутствием учета твердых осадков и замерзших почв.

Ресурсы: код можно получить на веб-сайте <http://drought.unl.edu/> и <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/cru-sc-pdsi-self-calibrating-pdsi-over-europe-north-america>.

Источник: Wells, N., S. Goddard and M.J. Hayes, 2004: A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*, 17:2335–2351.

Название индекса: стандартизированный индекс аномальности (SAI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: введен Краусом в середине 1970-х гг. и детально изучался Кацом и Гланцем в Национальном центре атмосферных исследований, США, в начале 1980-х гг. SAI разработан на базе RAI, а RAI входит в состав SAI. Они схожи, но имеют свои особенности.

Характеристики: основан на результатах RAI и разработан для выявления засухи в подверженных засухе районах, таких как западная часть Африки к югу от Сахары и северо-восточная часть Бразилии. RAI характеризует осадки в регионе на основе данных метеостанций и стандартизует годовые суммы осадков. Отклонения затем усредняются по всем станциям региона для получения единой величины SAI.

Входные параметры: осадки с временным шагом в месяц, сезон или год.

Области применения: выявление явлений засушливости, особенно в тех районах, где часто наблюдаются засухи.

Достоинства: один входной параметр, который может быть рассчитан для любого указанного периода.

Недостатки: используются только осадки, расчеты зависят от показателей качества.

Ресурсы: уравнения для расчетов приводятся в соответствующей литературе.

Источники:

Katz, R.W. and M.H. Glantz, 1986: Anatomy of a rainfall index. *Monthly Weather Review*, 114:764–771.

Kraus, E.B., 1977: Subtropical droughts and cross-equatorial energy transports. *Monthly Weather Review*, 105(8):1009–1018.

Название индекса: стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Висенте-Серрано и др. в Пиренейском институте экологии в Сарагосе, Испания.

Характеристики: будучи относительно новым индексом засушливости, SPEI использует в качестве основы SPI, но при этом включает температурный компонент, благодаря чему индекс может характеризовать влияние температуры на развитие засухи путем проведения базовых расчетов водного баланса. SPEI имеет шкалу интенсивности, по которой рассчитываются и положительные, и отрицательные значения, позволяя выявлять явления засушливости и увлажнения. Он может быть рассчитан для временных шагов от 1 до 48 месяцев и более. Благодаря ежемесячному обновлению индекс можно использовать для оперативных целей, и чем длиннее временные ряды доступных данных, тем более надежными будут результаты.

Входные параметры: данные о месячных осадках и температуре. Требуется полные ряды данных без пропусков по месяцам.

Области применения: отличаясь такой же широтой применения для различных целей, как и SPI, SPEI может использоваться для выявления и мониторинга условий, связанных с разнообразными воздействиями засухи.

Достоинства: включение данных о температуре наряду с данными об осадках позволяет SPEI характеризовать влияние температуры на условия засухи. Выходные данные применимы ко всем климатическим режимам, при этом результаты являются сопоставимыми, поскольку они стандартизованы. Благодаря использованию данных о температуре SPEI является идеальным индексом для рассмотрения воздействия изменения климата в результатах моделирования по различным перспективным сценариям.

Недостатки: требование к рядам данных без пропусков как по температуре, так и осадкам может ограничивать применение индекса вследствие недостаточности доступных данных. Поскольку это месячный индекс, оперативное выявление быстро развивающихся условий засухи может оказаться невозможным.

Ресурсы: код SPEI имеется в свободном доступе, расчеты приведены в литературе <http://sac.csic.es/spei/>.

Источник: Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23:1696–1718.

Название индекса: сельскохозяйственный базовый индекс засухи (ARID)

Простота использования: красный.

Происхождение: основан на исследованиях, проведенных Уоли для юго-восточной части США в Университете штата Миссисипи, а также Джонсоном и др. в Университете штата Флорида в 2011 г.

Характеристики: прогнозирует доступность влаги в почве. Используется сочетание приближенных значений водного стресса и моделей сельскохозяйственных культур для выявления воздействия водного стресса на рост и развитие растительности и урожайность конкретных культур.

Входные параметры: данные о суточных осадках и температуре. Используется модель CERES-Maize, хотя могут использоваться и другие имитационные модели сельскохозяйственных культур.

Области применения: используется для выявления и прогноза засухи в условиях, когда воздействия на сельское хозяйство вызывают особую озабоченность.

Достоинства: модели сельскохозяйственных культур и методы водного баланса доказали свою полезность для прогнозирования почвенной влаги и результирующего стресса для сельскохозяйственных культур. Расчеты могут производиться с суточным интервалом, что обеспечивает оперативность реагирования на условия засухи.

Недостатки: разрабатывался и тестировался в юго-восточной части США лишь для нескольких систем выращивания сельскохозяйственных культур. Не просто переносить на другие условия.

Ресурсы: применяемые уравнения и методология поясняются в указанной ниже статье. Исходный код в открытом доступе отсутствует.

Источник: Woli, P., J.W. Jones, K.T. Ingram and C.W. Fraisse, 2012: Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104:287–300.

Название индекса: индекс засушливости, учитывающий особенности сельскохозяйственных культур (CSDI)

Простота использования: красный.

Происхождение: разработан в работах Мейера и др. в начале 1990-х гг. в Университете штата Небраска в Линкольне для изучения воздействия засухи на фактическую урожайность сельскохозяйственных культур.

Характеристики: путем расчета базового почвенного водного баланса индекс позволяет учесть воздействие засухи с одновременным определением того, когда произошел вызванный засухой стресс в процессе развития культуры, а также того, каким будет общее воздействие на конечный урожай. PDSI и CMI позволяют выявить засушливые условия, влияющие на сельскохозяйственную культуру, но не дают представления о возможном воздействии на урожайность.

Входные параметры: климатические входные параметры включают максимальную суточную температуру, минимальную суточную температуру, количество осадков, температуру точки росы, скорость ветра и глобальную солнечную радиацию. Для построения модели необходимы также характеристики почвенного профиля. Данные об урожайности и фенологические данные требуются для построения надлежащих корреляций с днями вегетации, состоянием сельскохозяйственных культур и конечным урожаем.

Области применения: разрабатывался главным образом для выявления воздействия засухи на урожайность сельскохозяйственных культур в зернопроизводящих районах США, узкоспецифичен для той сельскохозяйственной культуры, мониторинг которой осуществляется.

Достоинства: узкоспецифичен для конкретной сельскохозяйственной культуры и основан на особенностях развития растения. В модели учитывается момент вызванного засушливостью стресса на этапе роста растения и оценивается общее воздействие на урожайность.

Недостатки: входные параметры достаточно сложны, и необходимые приборы во многих точках могут отсутствовать, либо для надлежащей оценки условий может оказаться недостаточным период наблюдений.

Ресурсы: методология и расчеты подробно описаны в литературе, см. ссылки на источники ниже.

Источники:

Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. I. Model development and validation. *Agronomy Journal*, 85:388–395.

Meyer, S.J., K.G. Hubbard and D.A. Wilhite, 1993: A Crop-specific Drought Index for corn. II. Application in drought monitoring and assessment. *Agronomy Journal*, 85:396–399.

Название индекса: мелиоративный индекс засушливости (RDI)

Простота использования: красный.

Происхождение: Бюро мелиорации США разработало этот индекс засухи в середине 1990-х гг. в качестве метода стимулирования фондов помощи в случае засухи в связи с землями общего пользования.

Характеристики: разработан для определения интенсивности засухи и ее продолжительности, может также применяться для прогнозирования начала и окончания

засушливых периодов. Предусматривает шкалы засушливости и увлажнения и рассчитывается на уровне речного бассейна аналогично индексу запаса поверхностной влаги (SWSI). RDI включает в себя компоненты водопотребления и температуры, что предусматривает введение в индекс испарения.

Входные параметры: месячные осадки, снежный покров, уровни водоема, речной сток и температура.

Области применения: используется главным образом для мониторинга водообеспеченности речных бассейнов.

Достоинства: узкоспецифичен для каждого бассейна. В отличие от SWSI характеризует влияние температуры на климат. Шкалы засушливости и увлажнения позволяют вести мониторинг влажных и засушливых условий.

Недостатки: расчеты производятся по отдельным бассейнам, поэтому сравнения проводить затруднительно. Использование всех входных параметров в оперативном режиме может приводить к задержкам в получении данных.

Ресурсы: характеристики и математические выкладки представлены в справочных материалах, ссылка на источник которых дана ниже.

Источник: Weghorst, K., 1996: The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications. Bureau of Reclamation, Denver, CO.

7.2 Влажность почвы

Название индекса: аномалия почвенной влаги (SMA)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Бергманом и др. в Национальной метеорологической службе США в середине 1980-х гг. в качестве способа оценки условий засушливости в глобальном масштабе.

Характеристики: могут использоваться значения недельных и месячных осадков и потенциальной эвапотранспирации в простейшем уравнении водного баланса. Предназначен для характеристики степени засушливости или насыщения почвы по сравнению с нормальными условиями и демонстрации того, каким образом стресс, связанный с почвенной влагой, влияет на продуктивность сельскохозяйственных культур в мире.

Входные параметры: данные о недельных и месячных температурах и осадках, а также дата и широта. Могут использоваться значения влагоудерживающей способности почвы и данные для конкретной местности, хотя включаются и параметры по умолчанию.

Области применения: разработан и широко используется для мониторинга воздействий засухи на сельское хозяйство и продуктивность сельскохозяйственных культур в мире.

Достоинства: учет влияния температуры и осадков позволяет рассматривать аспекты водного баланса, благодаря которым столь популярен PDSI, при этом можно менять константы с использованием данных для конкретной местности. Индекс характеризует влагу в различных слоях почвы и лучше, чем PDSI, может быть адаптирован к различным районам.

Недостатки: требования к данным затрудняют расчеты. Оценки потенциальной эвапотранспирации могут колебаться весьма существенно в зависимости от региона.

Ресурсы: входные параметры и расчеты подробно описаны в литературе. На сегодняшний день не существует программы для осуществления расчетов.

Источник: Bergman, K.H., P. Sabol and D. Miskus, 1988: *Experimental Indices for Monitoring Global Drought Conditions*. Proceedings of 13th Annual Climate Diagnostics Workshop, United States Department of Commerce, Cambridge, MA.

Название индекса: индекс дефицита эвапотранспирации (ETDI)

Простота использования: красный.

Происхождение: разработан в ходе исследований на Техасской экспериментальной агрономической станции, США, которые проводились Нарасимханом и Шринивасаном в 2004 г.

Характеристики: продукция на основе еженедельных данных позволяет выявлять водный стресс для сельскохозяйственных культур. ETDI рассчитывается наряду с индексом дефицита почвенной влаги (SMDI), в котором рассчитывается отношение водного стресса со сравнением фактической эвапотранспирации и базовой эвапотранспирации сельскохозяйственных культур. Отношение водного стресса затем сравнивается с медианой, рассчитываемой за продолжительные периоды времени.

Входные параметры: вначале используются данные моделирования из гидрологической модели с использованием модели инструмента почвенной и водной оценки (SWAT) для расчета почвенной влаги в корнеобитаемой зоне на еженедельной основе.

Области применения: полезен для выявления и мониторинга кратковременной засухи, влияющей на сельское хозяйство.

Достоинства: анализируется как фактическая, так и потенциальная эвапотранспирация и могут выявляться влажные и засушливые периоды.

Недостатки: расчеты основаны на результатах вычислений по модели SWAT, однако расчеты могут проводиться при наличии необходимых входных параметров. Пространственная изменчивость ETDI повышается в летние месяцы во время наибольшей эвапотранспирации и высокой степени изменчивости осадков.

Ресурсы: расчеты и подробные пояснения приводятся в указанном ниже источнике, а также в исследованиях корреляции с другими индексами засухи. Информацию о модели SWAT можно найти по ссылке <http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>.

Источник: Narasimhan, B. and R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88.

Название индекса: индекс дефицита почвенной влаги (SMDI)

Простота использования: красный.

Происхождение: разработан в ходе исследований на Техасской экспериментальной агрономической станции, США, проведенных Нарасимханом и Шринивасаном в 2004 г.

Характеристики: недельные данные о почвенной влаге рассчитываются на четырех различных глубинах почвы, включая весь почвенный профиль на глубине 0,61, 1,23

и 1,83 м, и индекс может использоваться как индикатор кратковременной засухи, особенно с использованием результатов на глубине 0,61 м.

Входные параметры: вначале используются данные моделирования из гидрологической модели с использованием модели SWAT для расчета почвенной влаги в корнеобитаемой зоне на еженедельной основе.

Области применения: полезен для выявления и мониторинга засухи, влияющей на сельское хозяйство.

Достоинства: учитывается весь профиль, а также различные глубины, что позволяет адаптировать индекс к различным видам сельскохозяйственных культур.

Недостатки: информация, необходимая для расчета SMDI, основана на выходных данных модели SWAT. Существуют проблемы с автокорреляцией при использовании всех глубин.

Ресурсы: расчеты и подробные пояснения приводятся в указанном ниже источнике. Информацию о модели SWAT можно найти по ссылке <http://swat.tamu.edu/software/swat-executables/>.

Источник: Narasimhan, B. and R. Srinivasan, 2005: Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1):69–88.

Название индекса: запас почвенной влаги (SWS)

Простота использования: красный.

Происхождение: неизвестно — с начала ведения сельскохозяйственной деятельности производители стремились к точному измерению почвенной влаги.

Характеристики: определяется количество доступной влаги в корнеобитаемом слое, что зависит от вида растения и типа почвы. Осадки и орошение влияют на результаты.

Входные параметры: глубина залегания корней, имеющийся потенциал влагоемкости типа почвы и максимальный дефицит влаги в почве.

Области применения: применяется главным образом для мониторинга засухи в условиях сельского хозяйства, однако может также представлять собой компонент определения условий засушливости, влияющих на водобеспеченность.

Достоинства: расчеты хорошо известны и просты для выполнения, даже с использованием параметров по умолчанию. Большое количество почв и сельскохозяйственных культур были проанализированы с использованием данного метода.

Недостатки: там, где почвы неоднородны, может наблюдаться значительная вариативность на незначительных расстояниях.

Ресурсы: расчеты и примеры приведены в источнике, приведенном ниже.

Источник: British Columbia Ministry of Agriculture, 2015: *Soil Water Storage Capacity and Available Soil Moisture*. Water Conservation Fact Sheet, http://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/soil-nutrients/600-series/619000-1_soil_water_storage_capacity.pdf.

7.3 Гидрология

Название индекса: гидрологический индекс засухи Палмера (PHDI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: входит в набор индексов, разработанных Палмером в 1960-е годы в Метеорологическом бюро США.

Характеристики: основан на исходном индексе PDSI и модифицирован для учета более продолжительной засушливости, влияющей на влагоемкость, речной сток и подземные воды. PHDI дает возможность рассчитать сроки завершения засухи на основе необходимого количества осадков путем использования отношения поступающей влаги к влаге, необходимой для завершения засухи. Различают четыре категории засухи: близкая к норме, которая наблюдается приблизительно в 28–50 % случаев; от слабой до умеренной, наблюдаемой в 11–27 % случаев; сильная, в 11–27 % случаев, а также экстремальная, на которую приходится приблизительно 4 % случаев.

Входные параметры: месячные значения температуры и осадков. Можно использовать информацию о влагоудерживающей способности почвы, однако имеются также параметры по умолчанию. Требуются временные ряды данных о температуре и осадках без пропусков.

Области применения: лучше всего подходит для рассмотрения засухи, влияющей на водные ресурсы в более продолжительных временных масштабах.

Достоинства: подход с учетом водного баланса позволяет рассматривать водную систему в целом.

Недостатки: частоты варьируются в зависимости от региона и времени года там, где экстремальная засуха, возможно, не представляет собой столь редкое явление в определенные месяцы года. Воздействие антропогенных факторов, таких как управленческие решения и ирригация, в расчетах не учитывается.

Ресурсы: с кодом можно ознакомиться в исходной работе Палмера, представленной в указанном ниже источнике, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wrcr.20342/pdf>.

Источник: Palmer, W.C., 1965: *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45. United States Weather Bureau, Washington, DC.

Название индекса: стандартизированный индекс запаса водоема (SRSI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Гусевым и др. в Японии в качестве систематического подхода к анализу данных водоема в условиях засухи.

Характеристики: аналогичен SPI в том смысле, что месячные данные используются для расчета функции распределения вероятности данных о запасах водоема для получения информации о водообеспеченности региона или бассейна в диапазоне от -3 (экстремально сухо) до +3 (экстремально влажно).

Входные параметры: месячные величины притока и средние объемы запаса водоема.

Области применения: учитывается суммарный приток и запасы, связанные с конкретной резервуарной системой, предоставляется информация для руководителей в области

водоснабжения на уровне муниципальных образований и поставщиков обслуживания в области ирригации на местном уровне.

Достоинства: легкий в расчетах, поскольку этот индекс копирует расчеты SPI с использованием стандартного гамма-распределения для функции распределения вероятности.

Недостатки: не учитываются изменения, связанные с режимом эксплуатации водоема, и потери за счет испарения.

Ресурсы: Международный центр по опасным явлениям, связанным с водой, и управлению рисками внедрил методологию SRSI применительно к нескольким бассейнам рек в Азии, <http://www.icharm.pwri.go.jp/>.

Источник: Gusyev, M.A., A. Hasegawa, J. Magome, D. Kuribayashi, H. Sawano and S. Lee, 2015: *Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts*. Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015), Broadbeach, Queensland, Australia.

Название индекса: стандартизированный индекс речного стока (SSFI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: SSFI был введен Модарресом в 2007 г., а в 2012 г. Телеска и др. продолжили эти исследования. В исходной работе Модаррес рассматривал SSFI как показатель, аналогичный SPI в том смысле, что SSFI для заданного периода времени определялся как разница в речном стоке от среднего до стандартного отклонения.

Характеристики: разработан с использованием месячных величин речного стока и методов нормирования, имеющих отношение к SPI. Может быть рассчитан как для данных наблюдений, так и данных прогнозирования, давая представление о периодах высокого и низкого стока, связанных с засухой и паводками.

Входные параметры: данные о речном стоке в суточном или месячном временном масштабе.

Области применения: мониторинг гидрологических условий в различных временных масштабах.

Достоинства: простые расчеты с использованием программы SPI. Одна входная переменная, которая допускает пробелы в данных, что упрощает использование индекса.

Недостатки: характеризует речной сток только в контексте мониторинга засухи без учета каких-либо других воздействий.

Ресурсы: индекс подробно описан в литературе, имеются математические выкладки и примеры. С программой SPI можно ознакомиться по ссылке <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>.

Источники:

Modarres, R., 2007: Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21:223–233.

Telesca, L., M. Lovallo, I. Lopez-Moreno and S. Vicente-Serrano, 2012: Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index time series in the Ebro basin (Spain). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(4):1662–1678.

Название индекса: стандартизированный индекс уровня воды (SWI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Бхуияном в Индийском институте технологии, Индия, в качестве метода оценки дефицита питания подземных вод.

Характеристики: как показатель засухи, основанный на гидрологических данных, использует данные по скважинам для изучения воздействия засухи на питание подземных вод. Возможна интерполяция результатов между различными точками.

Входные параметры: уровни подземных вод в скважинах.

Области применения: для районов с частыми сезонными меженными стоками в основных реках и водотоках.

Достоинства: воздействие засухи на подземные воды является важнейшим компонентом сельскохозяйственного и муниципального водоснабжения.

Недостатки: учитываются только подземные воды, а интерполяция между точками может быть нерепрезентативной для региона или климатического режима.

Источник: Bhuiyan, C., 2004: *Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India*. Proceedings of the XXth ISPRS Conference. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/243.pdf>.

Название индекса: индекс стока в период засухи (SDI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Налбантисом и Цакирисом с использованием методологии и расчетов SPI в качестве основы.

Характеристики: используются месячные значения речного стока и методы нормирования, связанные с SPI, для выведения индекса засухи на основе данных о речном стоке. При том, что результаты вычислений схожи с результатами SPI, могут рассматриваться как влажные, так и сухие периоды, а также их интенсивность.

Входные параметры: месячные значения речного стока, а также исторические временные ряды, полученные при помощи гидрометрического поста.

Области применения: используется для мониторинга и определения явлений засухи на основе данных конкретного гидрометрического поста, что может не всегда быть репрезентативным для бассейнов большей площади.

Достоинства: программа широко доступна и проста в использовании. Допускается наличие недостающих данных, и чем продолжительнее ряды данных по речному стоку, тем точнее результаты. Как и в случае с SPI, могут рассматриваться различные временные масштабы.

Недостатки: при наличии единственного входного параметра (речной сток) не учитываются управленческие решения, и периоды отсутствия стока могут привести к искажению результатов.

Ресурсы: описан в литературе с приведением математических выкладок. Код SPI доступен по ссылке: <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>. Для получения более подробной информации о SDI: <http://drinc.ewra.net/>.

Источник: Nalbantis, I. and G. Tsakiris, 2008: Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5):881–897.

Название индекса: индекс запаса поверхностной влаги (SWSI)

Простота использования: желтый.

Происхождение: разработан Шафером и Дезманом в 1982 г. в целях непосредственного устранения некоторых ограничений, выявленных в PDSI.

Характеристики: учитывает работу, проделанную Палмером по PDSI, но включает и дополнительную информацию, в том числе данные о водообеспеченности (данные о снегонакоплении, таянии снега и стоке, водоемах), рассчитывается в масштабах бассейна. SWSI определяет приблизительную повторяемость случаев засух: слабые — 26–50 %, умеренные — 14–26 % и сильные — 2–14 %. На экстремальную засуху приходится менее 2 % случаев.

Входные параметры: запасы водоема, речной сток, снежный покров и осадки.

Области применения: используется для выявления засушливых условий, связанных с гидрологическими флуктуациями.

Достоинства: учет водных ресурсов бассейна в полном объеме дает хорошее представление об общем гидрологическом состоянии конкретного бассейна или региона.

Недостатки: при изменении источников данных или включении новых данных возникает необходимость пересчета всего индекса для отражения изменений во входных данных, что усложняет построение однородных временных рядов. Поскольку расчеты по бассейнам могут отличаться, это затрудняет сравнение бассейнов или однотипных регионов.

Ресурсы: расчеты и пояснения к методологии приводятся в указанных ниже источниках.

Источники:

Doesken, N.J. and D. Garen, 1991: *Drought Monitoring in the Western United States using a Surface Water Supply Index*. Preprints, Seventh Conference on Applied Climatology, Salt Lake City, UT. American Meteorology Society, 266–269.

Doesken, N.J., T.B. McKee and J. Kleist, 1991: *Development of a Surface Water Supply Index for the Western United States*. Climatology Report 91-3, Colorado Climate Center, http://climate.colostate.edu/pdfs/climo_rpt_91-3.pdf.

Shafer, B.A. and L.E. Dezman, 1982: *Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess the Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas*. Proceedings of the Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, CO, 164–175.

Название индекса: сводный индекс засушливости (ADI)

Простота использования: красный.

Происхождение: результат работы, проведенной Кеянташем в Калифорнийском государственном университете, США, и Дракупом в Университете Беркли, штат Калифорния, США, в 2003 г.

Характеристики: многомерный региональный индекс засушливости, в котором рассматриваются все водные ресурсы в контексте множества временных масштабов

и воздействий. Разработан для использования в различных регионах с однотипными климатическими режимами.

Входные параметры: осадки, эвапотранспирация, речной сток, запас водоема, влагосодержание в почве и запас воды в снеге. Входные параметры могут использоваться только при наличии соответствующих переменных по региону, для которого рассчитывается ADI.

Области применения: может применяться в контексте различных типов воздействий засухи. Рассмотрение общего объема воды в условиях какого-либо климатического режима позволяет получить лучшее представление о том, какое количество водных ресурсов будет доступно.

Достоинства: учитываются запасы воды, а также влага, поступающая за счет осадков.

Недостатки: не рассматриваются температуры или подземные воды, которые учитываются в описании ADI.

Ресурсы: пояснения к методологии и математические выкладки можно найти в литературе, содержащей примеры. Программный код для этого индекса не найден.

Источник: Keyantash, J.A. and J.A. Dracup, 2004: An aggregate drought index: assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. Water Resources Research, 40:W09304, doi:10.1029/2003WR002610, http://www.geo.oregonstate.edu/classes/ecosys_info/readings/2003WR002610.pdf.

Название индекса: стандартизированный индекс снеготаяния и дождевых осадков (SMRI)

Простота использования: красный.

Происхождение: разработан для учета твердых осадков и их вклада в стоки в виде талого снега. Работа была выполнена Штаудингером и др. с апробацией на нескольких швейцарских бассейнах.

Характеристики: используя методы, аналогичные SPI, SMRI учитывает дефициты дождевых и снежных осадков и соответствующее влияние на сток, включая осадки, задерживаемые в виде снега. Чаще всего он используется как дополнение к SPI.

Входные параметры: данные о речном стоке, суточных осадках и суточной температуре. В начальном исследовании SMRI использовались данные с привязкой к координатной сетке.

Области применения: предназначен главным образом для рассмотрения воздействий осадков в твердом виде и вклада задержанной таким образом влаги в будущий сток, данный индекс имеет отношение к мониторингу условий засухи.

Достоинства: в рамках индекса рассматриваются все виды поступлений в бассейн с учетом вклада снега и других вкладов в речной сток. Благодаря наличию возможности использовать температуру и осадки для моделирования снега фактические данные о количестве снега не требуются.

Недостатки: использование данных с привязкой к координатной сетке, а также тот факт, что используемые данные имеются только за период с 1971 г., представляют собой слабую сторону для изучения характеристик, основанных на точечных данных и более длительных периодах наблюдений. Неиспользование фактических значений глубины снежного покрова и соответствующего водного эквивалента снега способно привести к ошибкам при прогнозировании стока.

Ресурсы: справочный материал по методам и расчетам представлен в соответствующей литературе.

Источник: Staudinger, M., K. Stahl and J. Seibert, 2014: A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50:7861–7872, doi:10.1002/2013WR015143.

7.4 Дистанционное зондирование

Название индекса: усовершенствованный вегетационный индекс (EVI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: впервые был предложен в работе Уэте и группы специалистов из Бразилии и Университета штата Аризона, США, которые разработали инструмент на основе использования спектрорадиометра для формирования изображений со средним разрешением (MODIS) для оценки вегетационных условий.

Характеристики: мониторинг растительности со спутниковых платформ с использованием усовершенствованного радиометра очень высокого разрешения (AVHRR) для расчета нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) дает весьма полезные результаты. Для индекса EVI применяются методы, аналогичные используемым для NDVI, но с входными данными спутниковых наблюдений, производимых с помощью MODIS. Индексы EVI и NDVI рассчитываются с использованием платформы MODIS и анализируются на предмет сравнения с результатами, получаемыми с использованием платформ AVHRR. EVI более восприимчив к изменениям проективного покрытия, типу проективного покрытия и архитектуре, а также физиогномике растений. EVI может быть увязан со стрессом и изменениями, вызываемыми засухливостью.

Входные параметры: данные спутниковых наблюдений с использованием MODIS.

Области применения: используется для выявления обусловленного засухой стресса в различных ландшафтах. В основном связан с развитием засух, воздействующих на сельское хозяйство.

Достоинства: высокое разрешение и хороший пространственный охват для любой топографии.

Недостатки: стресс растительного покрова может вызываться иными причинами, помимо засухи, и их трудно распознать с использованием только индекса EVI. Период регистрации данных спутниковых наблюдений достаточно непродолжителен, при этом климатические исследования затруднительны.

Ресурсы: методология и расчеты описаны в соответствующей литературе, имеются также онлайн ресурсы по этой продукции http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php.

Источник: Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira, 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1):195–213.

Название индекса: индекс испарительного стресса (ESI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан группой под руководством Андерсона, которая использовала данные дистанционного зондирования для расчета эвапотранспирации по всей территории США. В группу входили ученые из Министерства сельского хозяйства

США, Университета штата Алабама в Хантсвилле и Университета штата Небраска в Линкольне.

Характеристики: создавался в качестве нового индекса засушливости, в котором эвапотранспирация сравнивается с потенциальной эвапотранспирацией на основе данных геостационарных спутников. Проведенный анализ говорит о том, что индекс дает результаты, аналогичные результатам, получаемым с использованием индексов на основе данных об осадках за непродолжительные периоды, однако может иметь гораздо более высокое разрешение и не требует данных об осадках.

Входные параметры: данные о потенциальной эвапотранспирации, получаемые путем дистанционного зондирования.

Области применения: особенно полезен для выявления и мониторинга засух с множественными воздействиями.

Достоинства: очень высокое разрешение с пространственным охватом любой территории.

Недостатки: облачность может вносить помехи и влиять на результаты. Отсутствуют длительные периоды наблюдений для климатологических исследований.

Ресурсы: расчеты индекса описаны в литературе, <http://hrsl.arsusda.gov/drought/>.

Источник: Anderson, M.C., C. Hain, B. Wardlow, A. Pimstein, J.R. Mecikalski and W.P. Kustas, 2011: Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the continental United States. *Journal of Climate*, 24(8):2025–2044.

Название индекса: нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан в трудах Тарпли и др. и Когана из Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НУОА) в США.

Характеристики: используются глобальные данные вегетационного индекса, которые подготавливаются путем картирования суточного излучения с разрешением 4 км. Для расчета NDVI используются значения излучения, измеренные в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах. Измеряется зеленость и интенсивность растительного покрова за семидневный период в качестве способа уменьшения помех от облачности, индекс позволяет выявлять стресс для растительности, связанный с засухой.

Входные параметры: данные спутниковых наблюдений с использованием AVHRR НУОА.

Области применения: используется для выявления и мониторинга засух, воздействующих на сельское хозяйство.

Достоинства: индекс нового типа с точки зрения использования спутниковых данных для мониторинга состояния растительности в связи с эпизодами засушливости. Очень высокое разрешение и большой пространственный охват.

Недостатки: для NDVI особую важность имеет обработка данных, а для этого этапа необходимо наличие надежной системы. Отсутствуют исторические спутниковые данные за продолжительные периоды.

Ресурсы: в литературе описаны методология и расчеты. Программные средства для NDVI представлены онлайн http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php.

Источники:

Kogan, F.N., 1995: Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 76(5):655–668.

Tarpley, J.D., S.R. Schneider and R.L. Money, 1984: Global vegetation indices from the NOAA-7 meteorological satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23:491–494.

Название индекса: индекс температурных условий (TCI)**Простота использования:** зеленый.**Происхождение:** развиты на основе работы, проделанной Коганом в НУОА, США.**Характеристики:** за счет того, что используются тепловые каналы AVHRR, TCI применяется для определения стресса растительности, вызванного температурой и избытком влажности. Условия оцениваются относительно максимальной и минимальной температур и модифицируются для отражения различных реакций растительности на температуру.**Входные параметры:** данные спутниковых наблюдений с использованием AVHRR.**Области применения:** используется совместно с NDVI и индексом вегетационных условий (VCI) для оценки засухливости растений в ситуациях, когда сельскохозяйственные последствия являются основной проблемой.**Достоинства:** высокое разрешение и хороший пространственный охват.**Недостатки:** существует вероятность помех от облачности; непродолжительный период наблюдений.**Ресурсы:** методология и расчеты описаны в литературе, имеются ресурсы в Интернете по этой продукции, http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php.**Источник:** Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100.**Название индекса: индекс вегетационных условий (VCI)****Простота использования:** зеленый.**Происхождение:** разработан в результате работы, проделанной Коганом в НУОА, США.**Характеристики:** за счет того, что используются тепловые диапазоны AVHRR, VCI применяется для выявления условий засухливости и определения их возникновения, особенно в районах, где эпизоды засухливости носят локализованный и нечетко выраженный характер. Главным образом характеризует воздействие засухи на растительность, может давать информацию о начале, продолжительности и интенсивности засухи путем фиксации изменений в растительности и их сравнения с историческими значениями.**Входные параметры:** данные спутниковых наблюдений с использованием AVHRR.**Области применения:** используется совместно с NDVI и TCI для оценки состояния растительности в условиях засухи, влияющих на сельское хозяйство.**Достоинства:** высокое разрешение и хороший пространственный охват.

Недостатки: существует вероятность помех от облачности; непродолжительный период наблюдений.

Ресурсы: методология и расчеты описаны в литературе, имеются ресурсы в Интернете по этой продукции, http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php.

Источники:

Kogan, F.N., 1995: Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11):91–100.

Liu, W.T. and F.N. Kogan, 1996: Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*, 17(14):2761–2782.

Название индекса: индекс реагирования растительности на засуху (VegDRI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан группой ученых из НЦСПЗ, Центра научных исследований и наблюдений за природными ресурсами Земли, Геологическая служба США, и Центра полевых исследований во Флагстаффе, Геологическая служба США.

Характеристики: разработан как индекс засушливости, предназначенный для мониторинга стресса растительности, вызываемого засухой, с использованием сочетания данных дистанционного зондирования, климатических показателей, а также другой биофизической информации и данных о землепользовании.

Входные параметры: SPI, PDSI, процентная годовая сезонная зеленость, начало сезонной аномалии, почвенно-растительный покров, доступная влагоемкость почвы, орошаемое земледелие и определенные экологические регионы. Поскольку некоторые из входных параметров представляют собой рассчитываемые переменные, требуются дополнительные входные параметры.

Области применения: используется главным образом в качестве показателя засушливости для сельскохозяйственных применений.

Достоинства: инновационный комплексный метод с использованием как наземных данных и данных дистанционного зондирования, так и технологических достижений в области глубинного анализа данных.

Недостатки: период наблюдений непродолжителен, поскольку используются данные дистанционного зондирования. Непригоден вне сезона или в периоды незначительного роста растений или его отсутствия.

Ресурсы: с используемыми методами и описанием расчетов можно ознакомиться в источнике, приведенном ниже. См. также <http://vegdril.unl.edu/>.

Источник: Brown, J.F., B.D. Wardlow, T. Tadesse, M.J. Hayes and B.C. Reed, 2008: The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): a new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. *GIScience & Remote Sensing*, 45:16–46.

Название индекса: индекс состояния растительности (VHI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: результат работы, проведенной Коганом в НУОА, США.

Характеристики: одна из первых попыток мониторинга и выявления воздействий на сельское хозяйство, связанных с засушливостью, с использованием данных дистанционного зондирования. Данные AVHRR, получаемые в видимом, инфракрасном и ближнем инфракрасном диапазонах, используются для выявления и классификации стресса растений, вызываемого засухой.

Входные параметры: спутниковые данные, получаемые с помощью AVHRR.

Области применения: используется для выявления и мониторинга засушливости, влияющей на сельское хозяйство во всем мире.

Достоинства: охват по всему земному шару с высоким разрешением.

Недостатки: непродолжительный период регистрации спутниковых данных.

Ресурсы: расчеты и конкретные примеры исследований приводятся в соответствующей литературе. С картами VHI можно ознакомиться в Интернете по ссылке: http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browse.php.

Источники:

Kogan, F.N., 1990: Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11:1405–1419.

Kogan, F.N., 1997: Global drought watch from space. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:621–636.

Kogan, F.N., 2001: Operational space technology for global vegetation assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9):1949–1964.

Название индекса: индекс удовлетворения потребности в воде (WRSI) и геопространственный WRSI

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций для мониторинга и изучения продуктивности сельскохозяйственных культур в районах мира, подверженных голоду. Дополнительная работа была проведена в рамках Сети систем раннего предупреждения об опасности голода.

Характеристики: используется для мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур во время вегетационного периода и на основе информации о доступном для культур объеме влаги. Эта величина представляет собой отношение фактической и потенциальной эвапотранспирации. Такие отношения специфичны для конкретных культур и учитывают особенности развития культур и известные связи между урожайностью и вызванным засухой стрессом.

Входные параметры: модели развития сельскохозяйственных культур, коэффициенты сельскохозяйственных культур и данные спутниковых наблюдений.

Области применения: используется для мониторинга процесса развития и стресса культур, связанных с сельским хозяйством.

Достоинства: высокое разрешение и хороший пространственный охват для любой топографии.

Недостатки: стресс, обусловленный другими факторами, нежели доступность воды, может влиять на результаты. Оценки количества осадков, полученные по данным

спутниковых наблюдений, имеют определенную погрешность, что влияет на результаты применяемых моделей сельскохозяйственных культур и баланс эвапотранспирации.

Ресурсы:

<http://chg.geog.ucsb.edu/tools/geowrsi/index.html>

http://iridl.ldeo.columbia.edu/documentation/usgs/adds/wrsi/WRSI_readme.pdf

Источник: Verdin, J. and R. Klaver, 2002: Grid-cell-based crop water accounting for the famine early warning system. *Hydrological Processes*, 16(8):1617–1630.

Название индекса: нормализованный разностный водный индекс (NDWI) и индекс влажности поверхности земли (LSWI)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан в трудах Гао в середине 1990-х гг. в Институте космических исследований им. Годдарда при Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) в США.

Характеристики: методология очень близка к NDVI, но используется ближний инфракрасный канал для мониторинга содержания воды в растительном покрове. Изменения в проективном покрытии растительности используются для выявления периодов стресса, вызванного засухой.

Входные параметры: спутниковая информация в различных каналах ближнего инфракрасного диапазона.

Области применения: используется для мониторинга засухи, влияющей на сельское хозяйство, в качестве метода выявления стресса.

Достоинства: высокое разрешение и хороший пространственный охват для любой топографии. Отличается от NDVI, поскольку в этих индексах рассматриваются разные сигналы.

Недостатки: стресс для растительного покрова может вызываться не только засухой, но и другими воздействиями, и их трудно распознать, используя только NDWI. Период, за который имеются ряды спутниковых данных, непродолжителен, при этом климатические исследования затруднительны.

Ресурсы: методология описана в литературе, равно как и используемые расчеты на основе данных MODIS, <http://www.eomf.ou.edu/modis/visualization/>.

Источники:

Chandrasekar, K., M.V.R. Sesha Sai, P.S. Roy and R.S. Dwevedi, 2010: Land Surface Water index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS vegetation index product. *International Journal of Remote Sensing*, 31:3987–4005.

Gao, B.C., 1996: NDWI—a Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3):257–266.

Примечание: концепция и расчеты NDWI и индекса влажности поверхности земли (LSWI) весьма схожи.

Название индекса: почвенный уточненный вегетационный индекс (SAVI)**Простота использования:** красный.

Происхождение: разработан Уэте в Университете штата Аризона, США, в конце 1980-х гг. Концепция заключалась в получении глобальной модели для мониторинга почвы и растительности по данным дистанционного зондирования.

Характеристики: SAVI аналогичен NDVI — спектральные индексы могут калиброваться таким образом, что вариации параметров почвы нормируются и не влияют на измерения проективного растительного покрова. Такая доработка NDVI целесообразна, поскольку в SAVI учитываются вариации почвенных параметров.

Входные параметры: данные дистанционного зондирования, которые сравниваются с известными поверхностными диаграммами для различных видов растительности.

Области применения: пригоден для мониторинга почв и растительности.

Достоинства: данные высокого разрешения и высокой плотности, относящиеся к данным дистанционного зондирования, позволяют получить очень хороший пространственный охват.

Недостатки: расчеты сложны, как и получение данных для использования в оперативном режиме. Непродолжительность периода, за который имеются ряды спутниковых данных, может затруднять климатический анализ.

Ресурсы: методология и связанные с ней расчеты подробно разъясняются в соответствующей литературе.

Источник: Huete, A.R., 1988: A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3):295–309.

7.5 Комплексные или модельные**Название индекса: комбинированный показатель засушливости (CDI)****Простота использования:** зеленый.

Происхождение: разработан Сепулькре-Канто и др. в Европейской обсерватории по изучению засухи в качестве индекса засушливости для Европы, в котором SPI, SMA и доля поглощенной фитосинтетически активной радиации (fAPAR) сведены в единый показатель засух, влияющих на сельское хозяйство.

Характеристики: предусматриваются три уровня предупреждений (сигнал внимания, предупреждение и оповещение об опасности) путем объединения трех показателей засушливости: SPI, почвенной влаги и данных о растительности, получаемых путем дистанционного зондирования. Сигнал внимания свидетельствует о недостатке осадков, уровень предупреждения достигается, когда недостаток осадков приводит к недостатку почвенной влаги, а оповещения об опасности выпускаются, когда дефицит осадков и почвенной влаги вызывает воздействия на растительность.

Входные параметры: SPI, вычисляемый на основе данных об осадках, получаемых со станций по всей Европе; в данном случае используется трехмесячный SPI. Данные о почвенной влаге получают с использованием модели LISFLOOD, а параметр fAPAR предоставляется Европейским космическим агентством.

Области применения: используется как показатель засух, имеющих последствия для сельского хозяйства.

Достоинства: хороший пространственный охват и высокое разрешение благодаря сочетанию данных дистанционного зондирования и наземных данных.

Недостатки: использование единственной величины SPI может не быть оптимальным для всех ситуаций и не является репрезентативным для условий, которые могут переходить из сезона в сезон. С трудом поддается воспроизведению и на сегодняшний день не годен для использования за пределами Европы.

Ресурсы: размещен и поддерживается в Европейской обсерватории по изучению засухи в рамках Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>.

Источник: Sepulcre-Canto, G., S. Horion, A. Singleton, H. Carrao and J. Vogt, 2012: Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 12:3519–3531.

Название индекса: система глобального комплексного мониторинга и прогнозирования засухи (GIDMaPS)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: разработан в трудах Хао и др. в Университете штата Калифорния в Ирвине, США, в качестве системы для мониторинга и прогнозирования засухи по всему миру.

Характеристики: обеспечивает информацию, касающуюся засухи, применительно к SPI, почвенной влаге и многомерному стандартизованному индексу засухи (MSDI). GIDMaPS также использует спутниковые данные в сочетании со средствами усвоения данных. Результат представляется на координатной сетке в режиме времени, близком к реальному, и сочетает в себе мониторинг и прогнозирование как способ отслеживания, оценки и предвидения засух с многоплановыми последствиями.

Входные параметры: используется алгоритм, в котором данные дистанционного зондирования сочетаются с индексом глобальной системы усвоения данных о суше (GLDAS) с целью получения значений для трех индексов засушливости, а также сезонных прогнозов.

Области применения: используется для мониторинга и прогнозирования путем получения значений для SPI, MSDI и стандартизованного индекса почвенной влаги. Может применяться для сельского хозяйства и других секторов.

Достоинства: данные на координатной сетке и глобальные данные обеспечивают хорошее отображение всех районов. Наличие шкал увлажнения и засушливости позволяет использовать GIDMaPS для мониторинга не только засух. Она оптимально подходит для территорий, недостаточно охваченных приземными наблюдениями с долговременными рядами данных. Достаточно проста в применении, поскольку может рассчитываться без входных данных пользователей.

Недостатки: размер сетки может не отражать одинаково все территории и климатические режимы. Временные ряды данных, берущие начало в 1980 г., слишком непродолжительны с точки зрения климатических применений. Для модификации индекса необходимо получение кода и входных параметров.

Ресурсы: в литературе имеются подробные пояснения по процессу вычисления, и широко доступны онлайн-ресурсы и карты <http://drought.eng.uci.edu/>.

Источник: Hao, Z., A. AghaKouchak, N. Nakhjiri and A. Farahmand, 2014: Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*, 1:1–10.

Название индекса: глобальная система усвоения данных о суше (GLDAS)

Простота использования: зеленый.

Происхождение: работа проводилась под руководством Роделля с участием ученых из НАСА и НУОА в США.

Характеристики: используется система приземных данных и данных дистанционного зондирования наряду с моделями поверхности суши и методами усвоения данных для получения данных об условиях на суше. Результаты вычислений включают характеристики влажности почвы, которые являются хорошим показателем засушливости.

Входные параметры: модели поверхности суши, наземные метеорологические наблюдения, классификации растительности и спутниковые данные.

Области применения: пригоден для перспективных оценок расхода и стока рек, а также компонентов стока, исходя из текущих условий; идеально подходит для мониторинга засух с множественными воздействиями.

Достоинства: глобальный по своей природе, с высоким разрешением, этот индекс может использоваться для характеристики большинства территорий. Пригоден для мониторинга развития засухи в районах, плохо охваченных данными.

Недостатки: шаг координатной сетки недостаточно мал для островных государств. Только территории, где не производятся приземные наблюдения в режиме, близком к реальному, представлены в процессе усвоения данных.

Ресурсы: методология и входные параметры подробно описаны в литературе. Результаты вычислений можно найти в Интернете.

<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nldas-north-american-land-data-assimilation-system-monthly-climatologies>

<http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/>

<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/services/grads-gds/gldas>

Источники:

Mitchell, K., D. Lohman, P. Houser, E. Wood, J. Schaake, A. Robock, B. Cosgrove, J. Sheffield, Q. Duan, L. Luo, R. Higgins, R. Pinker, J. Tarpley, D. Lettenmaier, C. Marshall, J. Entin, M. Pan, W. Shi, V. Koren, J. Meng, B. Ramsay and A. Bailey, 2004: The multi-institution North American Land Data Assimilation System (NLDAS): utilizing multiple GCIP products and partners in a continental distributed hydrological modelling system. *Journal of Geophysical Research*, 109:D07S90, doi:10.1029/2003JD003823.

Rodell, M., P. Houser, U. Jambor, J. Gottschalck, K. Mitchell, C.-J. Meng, K. Arsenault, B. Cosgrove, J. Radakovich, M. Bosilovich, J. Entin, J. Walker, D. Lohmann and D. Toll, 2004: The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3):381–394.

Xia, Y., K. Mitchell, M. Ek, J. Sheffield, B. Cosgrove, E. Wood, L. Luo, C. Alonge, H. Wei, J. Meng, B. Livneh, D. Lettenmaier, V. Koren, Q. Duan, K. Mo, Y. Fan and D. Mocko, 2012: Continental-scale water and energy flux analysis and validation for the North American Land Data Assimilation System project phase 2 (NLDAS-2): 1. Intercomparison and application of model products. *Journal of Geophysical Research*, 117:D03109, doi:10.1029/2011JD016048.

Название индекса: многомерный стандартизированный индекс засухи (MSDI)**Простота использования:** зеленый.**Происхождение:** разработан Хао и Агхакоучаком в Университете штата Калифорнии в Ирвине, США.**Характеристики:** используется информация об осадках и почвенной влаге для выявления и классификации эпизодов засухи путем изучения дефицитов осадков и почвенной влаги. Подходит для выявления эпизодов засухи, когда обычные показатели, основанные на данных об осадках или почвенной влаге, не могут указывать на наличие засухи.**Входные параметры:** данные о месячных осадках и почвенной влаге, полученные из системы ретроспективного анализа данных новейшей эпохи MERRA-Land. Данные MERRA-Land генерируются на сетке $0,66^{\circ} \times 0,50^{\circ}$ начиная с 1980 г.**Области применения:** используется для выявления и мониторинга засухи в случаях, когда осадки и почвенная влага являются существенными факторами воздействий.**Достоинства:** данные на координатной сетке и глобальные данные обеспечивают хорошее отображение всех районов. Наличие шкал увлажнения и засушливости позволяет использовать данный индекс для мониторинга не только засух. Этот индекс оптимально подходит для территорий, недостаточно охваченных наземными наблюдениями с долговременными рядами данных. Достаточно прост в применении, поскольку может рассчитываться без входных данных пользователей. Из результатов вычислений MSDI могут быть получены отдельные индексы.**Недостатки:** размер сетки может не в равной степени соответствовать всем территориям и климатическим режимам. Временные ряды данных, берущие начало в 1980 г, слишком непродолжительны с точки зрения климатических применений. Для модификации индекса необходимо получение кода и входных параметров.**Ресурсы:** в литературе имеются подробные объяснения процесса вычисления, широко доступны онлайн-ресурсы и карты <http://drought.eng.uci.edu/>.**Источник:** Hao, Z. and A. AghaKouchak, 2013: Multivariate Standardized Drought Index: a multi-index parametric approach for drought analysis. *Advances in Water Resources*, 57:12–18.**Название индекса: монитор засух в США (USDM)****Простота использования:** зеленый.**Происхождение:** разработан Свободой и др. в конце 1990–х гг. для анализа засушливых условий с использованием результатов различных показателей и входных данных и на основе сравнения текущих данных с условиями прошлых лет. Это была первая работа по «комплексному» подходу в оперативной практике в США.**Характеристики:** используется метод процентильного ранжирования, согласно которому индексы и показатели, основанные на данных различных периодов, могут сравниваться на эквивалентной основе. Имеется шкала из пяти уровней интенсивности: от аномально засушливых условий, которые наблюдаются приблизительно раз в три–пять лет, до условий экстремальной засухи, которые наблюдаются раз в пятьдесят лет. Индекс является гибким в том отношении, что может использоваться любое количество входных параметров, и его уровень субъективности позволяет включить в анализ воздействия, связанные с засухой.

Входные параметры: отличается гибкостью, поскольку нет заданного количества показателей. Первоначально использовались лишь несколько входных параметров; в настоящее время построение USDM предусматривает анализ 40–50 входных параметров. Индексы засушливости, почвенная влага, гидрологические данные, климатологические данные, моделируемые величины и данные дистанционного зондирования — все учитываются в анализе. USDM обладает достаточной гибкостью для включения в анализ новых показателей по мере их появления.

Области применения: идеально подходит для мониторинга засух с множественными воздействиями, особенно на сельское хозяйство и водные ресурсы, в условиях любых сезонов и климатических режимов. Подготавливается на еженедельной основе, однако имеется возможность адаптировать его для месячного анализа.

Достоинства: используются множество индексов и показателей, что обеспечивает более надежные окончательные результаты. Может быть приспособлен для удовлетворения потребностей различных пользователей. Его инновационный характер заключался в способе выявления засухи и классификации интенсивности, индекс также позволяет анализировать данные различных временных масштабов с использованием методологии процентильного ранжирования.

Недостатки: требуются оперативные данные, поскольку при проведении анализа оптимальные результаты дает включение наиболее свежих данных по входным параметрам. Наличие ограниченного набора входных параметров снижает эффективность анализа USDM, хотя не исключает возможности его применения.

Ресурсы: методология подробно разъясняется в литературе и онлайн, <http://droughtmonitor.unl.edu/>.

Источник: Svoboda, M., D. Lecomte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus and S. Stephens, 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181–1190.

ДОПОЛНЕНИЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА

Каждые четыре года Комиссия по сельскохозяйственной метеорологии ВМО рассылает запрос в национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) с просьбой заполнить анкету по национальным отчетам о деятельности в области сельскохозяйственной метеорологии. В последней анкете (2010–2014 гг.) в одном из вопросов НМГС было предложено перечислить индексы засушливости, используемые в настоящее время в службе и/или стране/территории. Таблица 2 содержит предварительный список индексов засушливости по результатам опроса. Необходимо подчеркнуть, что этот список не является исчерпывающим для всех используемых индексов засушливости, однако он дает хорошее представление о том, что в настоящее время используется и/или имеется в наличии. Точная формулировка в анкете звучала следующим образом: «Перечислите, пожалуйста, пять наиболее широко используемых в вашей службе индексов засушливости».

Таблица 2. Предварительный список индексов засушливости по результатам опроса

Страна/территория	Индексы засушливости
Австрия	Стандартизированный индекс осадков; количество осадков в децилях
Аргентина	Стандартизированный индекс осадков; квинтили; водный баланс почвы; вероятность возникновения; максимальный период дней без осадков
Беларусь	Модели продуктивности сельскохозяйственных культур; индекс увлажнения Шашко; измерения влажности по Процерову; запасы влаги в почве; количество дней в месяце с относительной влажностью $\leq 30\%$
Белиз	Стандартизированный индекс осадков
Бельгия	Метеорологическая засуха; дефицит осадков
Болгария	Индекс влажности почвы; индекс аридности; индекс Торнтвейта; стандартизированный индекс осадков; индекс интенсивности засухи Палмера; гидротермический коэффициент Селянинова
Босния и Герцеговина	Стандартизированный индекс осадков; гидротермический коэффициент (Селянинова); индекс аридности; индекс интенсивности засухи Палмера; процент от нормы осадков; эталонная эвапотранспирация; водный баланс почвы
Бразилия	Стандартизированный индекс осадков; индекс интенсивности засухи Палмера; стандартизированный индекс эвапотранспирации; индекс увлажнения посевов; децили и квинтили; индексы засушливости с учетом особенностей конкретных культур
Бывшая югославская Республика Македония	Стандартизированный индекс осадков; децили; индекс интенсивности засухи Палмера; индекс аридности; индекс Ланга
Германия	Стандартизированный индекс осадков; стандартизированный индекс температуры; климатический водный баланс; влажность почвы, которая выражается как доступная растениям вода от полевой влагоемкости на различных глубинах
Гонконг, Китай	Стандартизированный индекс осадков
Греция	Стандартизированный индекс осадков; индекс интенсивности засухи Палмера; мелиоративный индекс засушливости; индекс засухи Палфая
Демократическая Республика Конго	Процент от нормы осадков
Доминиканская Республика	Стандартизированный индекс осадков
Израиль	Стандартизированный индекс осадков; отношение средних значений осадков
Иордания	Стандартизированный индекс осадков; индекс аридности

Исламская Республика Иран	Рассчитываются ежедневно: эффективный индекс засушливости, индекс аридности, децили, процент от нормы осадков; рассчитываются еженедельно: индекс температурных условий, индекс вегетационных условий, индекс состояния растительности; рассчитываются ежемесячно: стандартизированный индекс осадков, мелиоративный индекс засушливости
Испания	Стандартизированный индекс осадков; влагосодержание почвы (доступная влага, рассчитанная как процент влагоемкости почвы из модели водного баланса почвы)
Казахстан	Гидротермический коэффициент Селянинова, стандартизированный индекс осадков
Канада	Стандартизированный индекс осадков; индекс реакции на засуху в период вегетации; отклонение осадков от нормы; индекс интенсивности засухи Палмера; смешанные индексы, используемые в экспериментальных моделях
Кипр	Стандартизированный индекс осадков; индекс интенсивности засухи Бальме и Мули
Китай	Индекс дефицита влаги в посевах; индекс влажности почвы; индекс аномальных осадков
Кот-д'Ивуар	Индекс удовлетворения потребности в воде; водный баланс
Ливия	Стандартизированный индекс осадков
Литва	Гидротермический коэффициент Селянинова; стандартизированный индекс осадков
Новая Зеландия	Дни с дефицитом почвенной влаги; стандартизированный индекс осадков; глубина дефицита потенциальной эвапотранспирации; децили и аномалии количества осадков; пространственные оценки засухи
Объединенная Республика Танзания	Стандартизированный индекс осадков; процент от нормы осадков
Пакистан	Стандартизированный индекс осадков; процент от нормы; отклонение в процентах; нормализованный разностный вегетационный индекс; температура поверхности земли
Перу	Индекс интенсивности засухи Палмера; стандартизированный индекс осадков; стандартизированный индекс стока; стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации
Российская Федерация	Отношение месячного количества осадков к сумме температур; отношение суммы осадков к среднегодовому дефициту влажности воздуха; отношение запасов почвенной влаги за указанный период к суммарному дефициту влажности воздуха за тот же период (умноженное на 0,375); количество дней с относительной влажностью воздуха ниже 30 %; количество дней с максимальной температурой воздуха выше 25 °С; запасы почвенной влаги для почвенных слоев 0–20, 0–50 и 0–100 см; суммарные аномальные метеорологические условия; отклонения средней температуры воздуха; суммы осадков и запасов влаги в 1-м слое почвы от нормы
Словения	Аномалии осадков; стандартизированный индекс осадков; суммарный метеорологический водный баланс; декадный индекс стресса, вызванного засухой; последовательные сухие дни
Соединенные Штаты Америки	Стандартизированный индекс осадков; индекс интенсивности засухи Палмера; индекс увлажнения посевов; индекс запаса поверхностной влаги; процент от нормы осадков
Таиланд	Индекс доступной влаги; стандартизированный индекс осадков
Тринидад и Тобаго	Стандартизированный индекс осадков; индексы засухи Палмера
Турция	Стандартизированный индекс осадков; индекс процентной доли от нормы; индекс интенсивности засухи Палмера
Узбекистан	Количество дней с температурой выше 40 °С; индекс аридности (годовая сумма осадков, мм/год); обеспечение водного стока во время вегетационного сезона (апрель–сентябрь); снегонакопление; уменьшение почвенной влаги до 4 мм и менее

Украина	Гидротермический коэффициент Селянинова; показатель влагообеспеченности Процера; индекс аридности Педя; метеорологический индекс продуктивности Багрова; стандартизированный индекс осадков
Хорватия	Стандартизированный индекс осадков; мониторинг засушливых/влажных условий и прогноз с заблаговременностью до семи дней; совокупное количество осадков; диаграмма Уолтера; аномалии месячной температуры и осадков
Чешская Республика	Агрометеорологическая засуха; фактическая и потенциальная эвапотранспирация и моделирование почвенной влаги с использованием оперативной модели водного баланса; климатический водный баланс; процент осадков по сравнению с нормой; гидрологические критерии (например, речной сток и уровни воды в водоеме)
Чили	Стандартизированный индекс осадков; нормализованный разностный вегетационный индекс; процентная доля от нормы осадков
Швейцария	Стандартизированный индекс осадков; стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации; аномалии осадков; сельскохозяйственный базовый индекс засухи
Шри-Ланка	Стандартизированный индекс осадков
Ямайка	Стандартизированный индекс осадков; процент 30-летних средних значений за два месяца

БИБЛИОГРАФИЯ

В настоящий раздел вошли все публикации, упомянутые в главах 1–6 или взятые за основу при разработке этого справочника. Конкретные публикации по каждому индексу/показателю содержатся в ссылке(ах) в кратком описании конкретного индекса/показателя в главе 7.

Eriyagama, N., V. Smakhtin and N. Gamage, 2009: *Mapping Drought Patterns and Impacts: a Global Perspective*. IWMI Research Report No. 133. Colombo, International Water Management Institute, http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/PUB133/RR133.pdf.

Hayes, M.J., 2011: *Comparison of Major Drought Indices: Introduction*. National Drought Mitigation Center, <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

Hayes, M., M. Svoboda, N. Wall and M. Widhalm, 2011: The Lincoln Declaration on Drought Indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92:485–488.

Heim, R.R., 2002: A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1149–1165.

Hisdal, H. and L.M. Tallaksen (eds.), 2000: *Drought Event Definition*. Technical Report 6 of the ARIDE Project, Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe, Department of Geophysics, University of Oslo, Norway.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Special Report of Working Groups I and II of the IPCC (C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor and P.M. Midgley, eds.). Cambridge and New York, Cambridge University Press.

Keyantash, J. and J.A. Dracup, 2002: The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1167–1180.

- Lawrimore, J., R.R. Heim, M. Svoboda, V. Swail and P.J. Englehart, 2002: Beginning a new era of drought monitoring across North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83:1191–1192.
- Lloyd-Hughes, B., 2014: The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(3):607–611, doi:10.1007/s00704-013-1025-7.
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–23 January 1993, Anaheim, CA. Boston, MA, American Meteorological Society.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh, 2010: A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391:202–216.
- Mishra, A.K. and V.P. Singh, 2011: Drought modeling. A review. *Journal of Hydrology*, 403:157–175.
- Pulwarty, R.S. and M. Sivakumar, 2014: Information systems in a changing climate: early warnings and drought risk management. *Weather and Climate Extremes*, 3:14–21.
- Sivakumar, M.V.K., R.P. Motha, D.A. Wilhite and D.A. Wood (eds.), 2011: *Agricultural Drought Indices*. Proceedings of a WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, Murcia, Spain, 2–4 June 2010 (AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011). Geneva, http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_agricultural_drought_indices_proceedings_2010.pdf.
- Svoboda, M., B.A. Fuchs, C. Poulsen and J.R. Nothwehr, 2015: The drought risk atlas: enhancing decision support for drought risk management in the United States. *Journal of Hydrology*, 526:274–286, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.01.006.
- Svoboda, M., D. LeComte, M. Hayes, R. Heim, K. Gleason, J. Angel, B. Rippey, R. Tinker, M. Palecki, D. Stooksbury, D. Miskus and S. Stephens, 2002: The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8):1181–1190.
- Wardlaw, B.D., M.C. Anderson and J.P. Verdin (eds.), 2012: *Remote Sensing of Drought: Innovative Monitoring Approaches*. Boca Raton, FL, CRC Press.
- Wilhite, D. and M. Glantz, 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International*, 10:111–120.
- World Meteorological Organization, 2006: *Drought Monitoring and Early Warning: Concepts, Progress and Future Challenges* (WMO-No. 1006), Geneva, http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_2006.pdf.
- Всемирная метеорологическая организация, 2012: Руководство для пользователей стандартизированного индекса осадков (ВМО-№ 1090), Женева, http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_ru_2012.pdf.
- World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2014: *National Drought Management Policy Guidelines: A Template for Action* (D.A. Wilhite). Integrated Drought Management Programme (IDMP) Tools and Guidelines Series 1. WMO, Geneva, and GWP, Stockholm, http://www.droughtmanagement.info/literature/IDMP_NDMPG_en.pdf.
- World Meteorological Organization (WMO), United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013: *High Level Meeting on National Drought Policy*, Geneva, 11–15 March 2013. Policy Document: National Drought Management Policy. Geneva, http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/drought/hmndp/documents/PolicyDocumentRev_12-2013_En.pdf.
- Zargar, A., R. Sadiq, B. Naser and F.I. Khan, 2011: A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19:333–349.

Начало Комплексной программе борьбы с засухой (КПБЗ) было положено ВМО и ГВП на Совещании высокого уровня по национальной политике в отношении засухи в марте 2013 г. КПБЗ работает с широким кругом партнеров с целью оказания поддержки заинтересованным сторонам на всех уровнях. КПБЗ предоставляет своим партнерам руководящие указания в области политики и управления посредством глобально скоординированной подготовки научной информации, а также обмена передовым опытом и знаниями в области комплексной борьбы с засухой. КПБЗ вносит вклад в Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания (ГРОКО), особенно в том, что касается приоритетных областей ГРОКО: снижение риска бедствий, водные ресурсы и сельское хозяйство и продовольственная безопасность. Она, в частности, направлена на оказание поддержки регионам и странам в разработке упреждающей политики борьбы с засухой, а также более совершенных механизмов прогнозирования. Настоящие руководящие указания вносят вклад в достижение этой цели.

www.droughtmanagement.info



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



Global Water
Partnership

Towards a water secure world

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

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

Integrated Drought Management Programme Technical Support Unit

c/o Climate and Water Department

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

Э-почта: idmp@wmo.int

public.wmo.int

Global Water Partnership Global Secretariat

PO Box 24177, SE-104 51 Stockholm, Sweden

Тел.: +46 8 1213 86 00 – Э-почта: gwp@gwp.org