

МЕТЕОРОЛОГИЯ**Р.П. Репинская, Л.Б. Чанга, И. Осман****СУДАНО-САХЕЛЬСКИЕ ЗАСУХИ:
ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ;
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ****R.P. Repinskaya, L.B. Chang'a, I. Osman****SUDAN-SAHELIAN DROUGHT:
NATURAL AND ANTROPOGENIC FACTORS;
ECOLOGICAL IMPACTS**

Рассматриваются природные и антропогенные факторы, ответственные за образование судано-сахельских засух; социально-экономические и политические последствия этого грозного явления, нередко приобретающего характер региональных экологических катастроф; обсуждается комплекс мероприятий, направленных на уменьшение возможного ущерба суровых и продолжительных засух, а также состав виртуальных тест-предикторов, рекомендуемых для разработки физико-статистических моделей долгосрочного прогноза муссонных осадков в регионе. Даются некоторые рекомендации по организации эффективной службы погоды.

In this paper natural and anthropogenic factors responsible for the occurrences of Sudan-Sahelian drought are examined, the socio-economical and political impacts for the whole region which often faces ecological catastrophical impacts are analyzed. Discussions on the number of measure directed towards minimizing the impacts of severe and prolonged drought are carried out. A number of potential predictors for the construction of physical-statistical model for the long-range monsoon rainfall prediction in the region are outlined. Recommendations on the organization of effective weather operation are given.

Судано-Сахельская природная зона (ССЗ) простирается к югу от великих африканских пустынь между Атлантикой (19° з.д.) и подножием Абиссинского нагорья (34° в.д. и 4 – 8 – 17° с.ш.). С точки зрения метеорологии, северные и южные границы ССЗ подвижны и очерчиваются изогиями 100 и 600 мм [Радченко, 1983].

Из всех характеристик погоды и климата в ССЗ важнейшее значение имеют осадки, большую часть которых приносят западноафриканский и индоокеанский муссоны. Поскольку тропические муссоны являются макромасштабным возмущением общей циркуляции атмосферы (ОЦА) [Алексеева,

1990], то время их начала и окончания в значительной мере диктуется особенностями планетарной циркуляции. Например, в [Girauld, 1976] отмечается, что время начала юго-западного муссона связано с интенсивностью западного переноса в умеренных широтах Северного полушария и развитием субтропического антициклона Южного полушария.

В ССЗ различают [Лебедев, 1967]: зону пустынь (или Сахарскую) с осадками 50 мм/год; Сахельскую зону с осадками 250 мм/год; зону саванн с осадками 500–1000 мм/год и более. По количеству осадков выделяют и времена года: сухой сезон (по ССЗ он длится с ноября – декабря по май – июнь) и сезон дождей (с июня – июля по октябрь). Продолжительность влажного периода (и количество муссонных осадков) сокращается при продвижении с юга на север от семи месяцев до нескольких дней [Лебедев, 1967; Радченко, 1983].

Отличительной чертой режима осадков в ССЗ является его крайняя неустойчивость, резкие колебания и изменчивость [Лебедев, 1967; Радченко, 1983]. Основные аспекты изменчивости таковы: уменьшение количества осадков с запада на восток и с юга на север; многолетние колебания осадков и их микрогеографическая изменчивость; неравномерность пространственного распределения осадков в период сезона дождей. Так, на относительно небольших расстояниях они могут изменяться от незначительных до избыточных, от слабых до исключительно интенсивных, а в годы нормального и даже повышенного увлажнения возможны локальные засухи. Сказанное объясняется, по крайней мере, двумя факторами:

– тем, что широкие муссонные потоки, продвигающиеся к берегам Африки над океанами, довольно быстро трансформируются и поэтому неоднородны по температурно-влажностным характеристикам, вследствие чего интенсивность конвекции и осадков в разных районах континента с различным рельефом существенно неодинакова;

– влиянием мезомасштабных возмущений, приводящих к локальной конвергенции влаги, в том числе поступающей из региональных источников. По некоторым оценкам интенсивность последней столь же важна, как перенос влаги в Западную Африку из Атлантики.

В ССЗ на фоне слабого муссона нередко наблюдаются длительные суровые засухи, иногда приобретающие характер экологических катастроф с тяжкими последствиями для населения, животноводства, сельского хозяйства, флоры и фауны. В XX в. такие засухи наблюдались в 1910 – 1915, 1940 – 1944, 1968 – 1974, 1977 – 1980, 1982 – 1984, 1990 – 1992 гг. Лишь 10 лет из 100 можно считать в ССЗ нормальными по условиям увлажнения [Лебедев, 1967]. Северная половина региона находится в зоне почти постоянных засух, а на подавляющей части сельскохозяйственной территории каждый второй-третий год может оказаться засушливым; даже на крайнем юге степень вероятности засух составляет 10 – 20 % [Лебедев, 1967; Радченко, 1983]. Засушливые годы в ССЗ характеризуются [Kanamitsi, 1978; Lamb, 1978]: недостаточным разви-

тием юго-западного муссона, замедленным продвижением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) к северу в весенне-летний период и быстрым отступлением ее к югу, в результате чего сезон дождей в глубинных районах материка сокращается, а зачастую и вовсе не наступает.

Муссон определяет не только режим осадков, развитие сельского хозяйства, животноводства и экономики в целом большинства стран ССЗ, но и уклад жизни населения. Например, в центральной, западной и юго-восточной частях Судана деятельность более 70 % населения непосредственно зависит от дождей, поэтому последствия продолжительной засухи здесь обычно оказываются катастрофическими: голод; пересыхание рек, озер и неглубоких колодцев; гибель посевов; неурожай и нехватка кормов для скота; изменение рациона питания людей в пострадавших районах; распространение заболеваний, связанных с плохим и скудным питанием и водой; усиление миграции населения в города; резкий рост цен. Так, в периоды жесточайших засух 1972 – 1973, 1982 – 1984 гг. (наблюдавшихся практически по всей Африке [Алексеева, 1990]) многие люди в Судане оказались перед угрозой голодной смерти; многие умерли; тысячи нашли пристанище в городах, где между мигрантами в лагерях произошли столкновения и распространились инфекционные заболевания, резко возросла смертность; начался невиданный падеж скота (около 80 % скота погибло) [Радченко, 1983]. В 1972 – 1973 гг. в пострадавших районах ССЗ угроза голода нависла над 6 – 7 млн человек [Радченко, 1983], а в 1984 г. в Африке разыгралась настоящая трагедия: засуха охватила 22 государства и принесла неисчислимые бедствия. Тяжелыми последствиями сопровождалась и засуха 1990–1992 гг.

Суровые продолжительные засухи обнажили процессы деградации природной среды, которые развивались в ССЗ в течение длительного времени, резко ускорив нарушение экологического равновесия и развитие опустынивания обрабатываемых земель.

Таким образом, исследование особенностей муссоной циркуляции, ее колебаний и её предсказание является не только жизненно важной задачей метеорологов Африки, особенно на фоне существующих тенденций дальнейшего иссушения климата ССЗ [Покровская, 1984; Репинская, 1998], но и одной из приоритетных проблем метеорологической науки.

Наиболее вероятные механизмы формирования засух могут быть связаны с аномалиями в системах, определяющих климат на глобальном, региональном и/или локальном уровнях [Огалло, 1994], с нелинейным поведением климатической системы [Orville, 1990], в которой атмосфере свойственна внутренняя неустойчивость. Африканские засухи формируются в основном под влиянием природных и антропогенных факторов [Алексеева, 1990; Гланц, 1987].

Под природными факторами понимаются случайные кратковременные флуктуации климата, температуры воды на поверхности океанов (ТПО), Эль-

Ниньо (т.е. неустойчивые взаимодействия атмосферы и тропической части Тихого океана, модулированные сезонным циклом) и связанных с ним событий в Южном полушарии, вызывающих климатические аномалии, которые являются примером телеконнекции, и др. В последние десятилетия уже не вызывает сомнения тот факт, что Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) – является глобальным климатообразующим фактором [Марчук, 1988]. ЭНЮК охватывает тропические и внетропические широты и проявляется во всех важнейших атмосферных характеристиках (давлении, температуре, ветре, влажности, облачности, осадках) и в ряде величин, содержащих информацию о состоянии океана, течениях, ТПО, уровне океана, глубине термоклина, солёности и др.) [Алексеева, 1990].

Из многочисленных синоптико-климатологических исследований физических факторов, ответственных за формирование засушливых периодов в ССЗ, вытекает, что низкие муссонные осадки здесь ассоциируются с определенной динамикой элементов ОЦА и океана, а именно:

1) с интенсивным явлением ЭНЮК [Алексеева, 1990; Orville, 1990]. Подтверждением этому является, например, ситуация, сложившаяся в Атлантико-Африканском секторе (ААС) в июле 1982 г. [Алексеева, 1990] (время зарождения Эль-Ниньо, самого интенсивного за весь период инструментальных наблюдений по степени повышения ТПО и площади распространения [Гланц, 1987]). В этот период субтропический антициклон, располагавшийся над Южной Атлантикой, сместился от 0 до 45° з.д., вследствие чего потоки воздуха на его экваториальной периферии над акваторией Гвинейского залива имели преимущественно восточную составляющую. Таким образом, классического юго-западного муссона Гвинейского залива в июле 1982 г. не наблюдалось, а ВЗК располагалась на 6–8° южнее своего многолетнего положения. Это и дало начало засухе в Африке, которая впоследствии приняла катастрофический характер. К январю 1983 г. (время кульминации ЭНЮК) значительные изменения претерпел и циклонический вихрь, располагающийся в районе Гвинейского залива: произошло смещение его в центр континента. В результате в Экваториальную Африку воздушные массы поступали не с океана, а из континентальных областей Южной Африки и пустынь Северной Африки, что резко усугубило наблюдающуюся здесь с лета 1982 г. засуху [Алексеева, 1990];

2) с аномальными ТПО в локализованном крупномасштабном атлантическом диполе (а именно, с низкими ТПО в северной части Тропической Атлантики, т.е. у Гвинейского залива и Западной Африки, и высокими ТПО в Южной Атлантике [Lough, 1986; World climate ..., 1995]). Аномалии влияют на вероятность возникновения того или иного режима муссонной циркуляции, не оказывая воздействия на его структуру [Palmer, 1993];

3) с высотным гребнем, устанавливающимся над засушливыми районами на длительное время и обуславливающим преобладание крупномасштабных

нисходящих движений над этой территорией, что не позволяет имеющемуся водяному пару реализоваться в облака и осадки;

4) с одновременным смещением исландской депрессии к северу, а азорского антициклона к берегам Африки [Кружкова, 1969; Шереметова, 1981];

5) с блокирующим характером потока на уровне 700 гПа над Северной Атлантикой и Западной Европой [Namias, 1974];

6) с периодами минимальных значений индексов циркуляции Лама – Джексона и Блиновой над Северной Атлантикой [Шереметова, 1981];

7) с небольшой вертикальной мощностью западноафриканского муссона [Петросянец, 1988]. В самом деле, даже в июле–августе, когда муссон достигает своего апогея, экваториальные западные ветры на уровне 700 гПа отсутствуют, так как вертикальная мощность экваториальной ложбины, несущей ВЗК, не превышает 2 км [Петросянец, 1988]. Лишь в отдельных случаях мощность муссона достигает на побережье залива 5–6 км, а на материке 3 км [Лебедев, 1967];

8) с местоположением и интенсивностью ВЗК [Шереметова, 1981; Winstanley, 1973]. Миграция ВЗК по широте зависит от сезона и синоптической ситуации и является важным макросиноптическим признаком, так как при этом изменяется соотношение энергетических вкладов пассатных зон Северного и Южного полушарий [Фалькович, 1979]. Доминирующую роль в локализации ВЗК над Африкой играют субтропические антициклоны, так как именно летом Северного полушария они наиболее мощны, максимально активны и распространены [Кружкова, 1988; Петросянец, 1990]. Возникновение дождливых и бездождных периодов в ВЗК управляется процессами синоптического масштаба типа волн в восточном переносе [Петросянец, 1990]. Ослабление конвекции в ВЗК может быть сопряжено также с выносом тропического воздуха по западной периферии субтропического антициклона в субтропические и умеренные широты [Петросянец, 1987];

9) с нарушением циркуляции атмосферы над Южной Атлантикой, проявляющимся в ослаблении интенсивности южноатлантического максимума [Бирман, 1983], что приводит к ослаблению меридиональных пассатных потоков на востоке тропической зоны Южной Атлантики [Бирман, 1983; Krauss, 1977], ослаблению муссонного потока в области Гвинейского залива, смещению ВЗК к югу с одновременным уменьшением в ней восточных возмущений. Это подтверждается, например, тем, что засуха 1966–1974 гг. сопровождалась относительно высокими температурами в южных субтропиках и аномально высокими температурами в Антарктиде, что определило слабость тропической циркуляции в этот период [Krauss, 1977]. По-видимому, указанный фактор – один из главных, так как основным источником влаги западноафриканского и индоокеанского муссонов является Южное полушарие [Петросянец, 1988]. Достаточно упомянуть исключительно устойчивое интенсивное меридиональное течение Финдлейтера, дующего из Южного полушария летом вдоль

восточных берегов Африки со средними скоростями 10–12 м/с [Петросянц, 1988]. Однако в циркуляции летнего муссона над Африкой наряду с тропическими воздушными массами, поступающими из Южного полушария, участвуют сухие воздушные массы из субтропиков и даже из умеренных широт Северного полушария, перемещающиеся в тылу и по южной периферии термической депрессии [Петросянц, 1988]. Как известно, недостаточное влагосодержание воздушных масс, участвующих в конвергенции в нижней тропосфере на окраине Сахары, является причиной того, что облачные скопления ВЗК в июле сдвинуты к экватору от зоны конвергенции более чем на 1000 км [Петросянц, 1988];

10) с ослаблением крупномасштабной приземной циркуляции в Тропической Атлантике [Репинская, 1993, 1994; Lamb, 1978]. В частности, второе естественное колебание (ЕК) в поле ежедневного приземного давления над ААС тропиков является колебательной системой западноафриканского муссона [Радченко, 1983]. Именно в предмуссонный период (в апреле) указанное ЕК представляет собой четко выраженный диполь. Положительная пучность его локализуется над Сахарой и отражает эволюцию сахарской термической депрессии, а отрицательная двухцентровая пучность – над Атлантическим океаном, один из центров которой располагается над Гвинейским заливом, другой, более мощный, к югу от экватора, над западной частью Тропической Атлантики и востоком Бразилии. Следовательно, доминирующая причина существования второго ЕК приземного давления над ААС заключается в чередовании материков и океанов с их специфической конфигурацией и большими температурными контрастами на подстилающей поверхности. Именно к исходу апреля формируется стартовое положение западноафриканского муссона, так как пассатный циркуляционный механизм уже сильно ослаблен [Репинская, 1993, 1994] и вступают в действие более мощные барикоциркуляционные доминанты: субтропические антициклоны и сахарская депрессия, определяющие фундаментальные особенности "цикла муссонной ложбины" [Риль, 1984], интенсивность конвергенции воздушных потоков и, следовательно, конвекции в области ВЗК и, в конечном итоге, мощность муссонного вторжения.

Отметим, что обнаруженная [Репинская, 1994] прямая связь между интенсивностями очагов в диполе второго ЕК давления и западноафриканского муссона в определённой мере опровергает существующее мнение [Петросянц, 1988] об отсутствии четкой связи полей ветра и давления в тропиках;

11) с фактическим исчезновением муссонной ложбины на уровне 850 гПа над Северной Африкой [Kidson, 1977], а также со слабыми африканским восточным течением в нижней части тропосферы вблизи уровня 700 гПа и верхнетропосферным восточным струйным течением на уровне 200 гПа над районами нижнетропосферных экваториальных западных ветров [Kidson, 1977];

Nowel, 1984]. Последнее связано с ослаблением меридиональной циркуляции в средней и верхней тропосфере частью глобального тренда [Kidson, 1977];

12) с циркуляционными процессами над Европой, положением и интенсивностью циркуляционного вихря на уровне 100 гПа, размером охваченной им площади и характером деформации изогипс [Кружкова, 1988];

13) с истощением почвенной влаги на больших площадях [Orville, 1990];

14) с расширением Сахары к югу и с выбросами большого количества пыли из нее [Kidson, 1977] в сухой период, когда циркуляционной доминантой практически над всей Северной Африкой является северо-восточный пассат и наложенный на него (с ноября по март) зимний северо-восточный муссон (харматан), охватывающий Западную Африку, область Гвинейского залива и островов Зеленого Мыса. После обвального ослабления пассатного циркуляционного механизма, которое происходит с 12 по 21 марта [Репинская, 1993, 1994] в связи с приближением Солнца к зенитальному положению над экватором, харматан свирепствует в течение всего сухого периода (с марта до июня), переноса в слое от земли до высоты 500 м тучи красноватой пыли и мельчайшие песчинки. Запыление приводит к интенсивному радиационному нагреванию воздуха, что отчетливо прослеживается [Мелешко, 1992] в поле первого ЕК фильтрованных аномалий уходящей длинноволновой радиации (УДР), а именно: в районе Тропической Атлантики и Западной Африки в июне происходит "слияние" кластеров, существовавших в феврале как два разных образования, в один дипольный очаг с максимальными значениями аномалий УДР в районе выносов африканской пыли. В результате происходит рост меридионального градиента температуры между запыленной воздушной массой и более холодным воздухом, расположенным к югу от нее, и к усилению восточного ветра (вплоть до образования над Атлантикой около 15° с.ш. восточной струи на высоте 3–4 км со скоростями 20–25 м/с) [Carlson, 1977]. Гидродинамическое моделирование системы "атмосфера – океан – суша" также показало [Мелешко, 1992; Fennessy, 1990], что муссонные осадки в ССЗ весьма чувствительны к точности выбранных начальных условий; к межгодовым изменениям ТПО в экваториальной зоне Тихого океана (больше, чем осадки над Индией [Мелешко, 1992]); к изменению характеристик подстилающей поверхности; к параметризациям гидрологического режима и глубокой конвекции. Обнаружено также [Fennessy, 1990], что муссонная циркуляция случайным образом зависит от внутренней динамики атмосферы, а не от внешних вынуждающих факторов.

Перчень физических факторов, ответственных за формирование засушливых периодов в ССЗ, свидетельствует о следующем:

а) спектр виртуальных предикторов для прогноза засух в ССЗ физико-статистическими методами оказывается чрезвычайно широким. При этом надежное описание эволюции большинства физических факторов (т.е. создание выборки исходных данных требуемого объема), действующих в тропиках и

особенно на океанических пространствах, оказывается практически невозможным. Даже более узкая задача адекватного описания начального состояния колебательной системы западноафриканского муссона представляет серьезную проблему из-за очень редкой метеорологической сети в тропиках и низкого качества наблюдений, а также малой изменчивости атмосферных величин, уменьшающейся при приближении к экватору и находящейся на грани точности измерений и даже за ней [Риль, 1984]. Кроме того, муссонные течения, возбуждаемые мощными источниками нагревания, чрезвычайно сильно и сложно реагируют на их флуктуации. В отклике проявляется предпочтение наибольшему масштабу, но порождаются и мириады компонент движения с масштабами от сезонов до минут [Вебстер, 1988; Репинская, 1993, 1996]. Из сказанного становится ясно, что сформулированная задача не может быть решена без существенного повышения точности натурных измерений в тропиках, разумного расширения наблюдательной сети, использования информации, получаемой с метеорологических спутников, и данных, генерируемых лучшими гидродинамическими моделями, опирающимися на современные схемы четырехмерного анализа и включающими широкий круг параметризаций физических процессов мезо- и микрометеорологического масштабов. Особенно важно располагать точными данными о структуре барического поля вблизи экватора, так как даже небольшие изменения градиента давления здесь могут приводить к заметному изменению поля воздушных потоков [Романов, 1994]. Приэкваториальная специфика циркуляции атмосферы проявляется в широких пределах (примерно в области $\pm 15^{\circ}$ широты). Инерционные члены уравнений динамики атмосферы играют важную роль в формировании воздушных потоков не только вблизи экватора, но также в окрестностях экваториальной ложбины и в зоне между экватором и осью ложбины. Следовательно, при решении различных задач по динамике атмосферы для этих широт важно учитывать соответствующие члены уравнений [Романов, 1994].

В частности, при прогнозировании сценариев засух в ССЗ с позиций синоптического подхода рекомендуется [Кружкова, 1988] учитывать характер изменений циркуляционных процессов в Северном и Южном полушариях: положение и интенсивность азорского и южноатлантического максимумов и сахарской депрессии; вертикальную мощность и интенсивность муссона над Гвинейским заливом и юго-западом Африки; поле геопотенциала в слое 500 – 100 гПа и положение ВЗК. Однако эти рекомендации нам представляются далеко не исчерпывающими;

б) тропическую атмосферу даже в грубом приближении вряд ли можно интерпретировать как самодостаточную физическую систему. Засухи в ССЗ являются откликом на нелинейные взаимодействия множества гидротермодинамических процессов, протекающих в климатической системе не только и не столько на региональном уровне, но обусловлены дальними связями с большими временными сдвигами. Поэтому думается, что наиболее перспективным

для среднесрочного и долгосрочного прогнозов условий увлажнения в ССЗ (как и в любых других засушливых областях) является развитие глобальных прогностических гидродинамических моделей и совмещённых моделей ОЦА и океана, в рамках которых корректный учет процессов, протекающих в тропиках, возможен на основе следующих подходов:

– при использовании вложенной сетки для низких широт с двухсторонним взаимодействием решений на глобальной и вложенной сетках и иерархической системы более мелких сеток в лагранжевых координатах для "отслеживания" эволюции региональных циркуляционных механизмов, ансамблей муссонной облачности и тропических возмущений различных масштабов. Целесообразность введения таких сеток обусловлена тем, что основными облачными системами, ответственными за выпадение осадков в ТПЗ, являются мезомасштабные скопления кучево-дождевой облачности (линейные размеры 100 – 1000 км) [Петросянц, 1987]. Над Африкой летом в муссонной ВЗК они образуются в широтном поясе 5 – 20° с.ш. и в подавляющем большинстве имеют характер линий шквалов. Средняя скорость их перемещения составляет 15 м/с. Например, над Западной Африкой такие шкваловые облачные системы дают 80 % годового количества осадков;

– посредством непрерывной динамической адаптации сеток в физическом пространстве.

Что касается создания климатических моделей, способных описать атмосферу, океан и сушу как единую открытую нелинейную диссипативную физическую систему с бесконечномерным фазовым пространством и в определенном смысле предсказывать изменение климата на произвольно больших интервалах времени при изменении форсингов, то представляется, что большие успехи сулит математическая теория климата [Дымников, 1994], изучающая законы поведения траекторий климатической системы методами качественной теории дифференциальных уравнений.

В качестве антропогенных факторов засух в ССЗ выдвигают увеличение в атмосфере углекислого газа и других относительно активных газов, изменение альbedo и шероховатости земной поверхности [Огалло, 1994]. Действительно, в результате сокращения площади лесов, использования древесины в качестве горючего и строительного материала, а также опустынивания и истощения пастбищ может значительно повыситься альbedo земной поверхности. Последняя будет меньше поглощать солнечной энергии и станет холоднее, что вызовет изменения в нижних слоях атмосферы. Если воздух у земли будет холодный, а на некоторой высоте над ней теплый, то конвективные процессы станут менее интенсивными, замедлится формирование облаков и выпадение осадков. Так, засуха 1972 – 1973 гг. в Сахели, по крайней мере, частично, могла быть вызвана стравливанием пастбищ скотом, в результате чего увеличивалось альbedo, возникали нисходящие потоки и ВЗК смещалась к югу [Чарни, 1977].

Антропогенные воздействия и процесс усиления Сахарой своей засушливости связаны через биогеофизический механизм [Чарни, 1977]. В самом деле, Сахара представляет собой радиационный сток тепла по отношению к окружающей территории, поэтому для поддержания термического равновесия воздух над ней вынужден опускаться и при этом адиабатически сжиматься. При опускании воздух одновременно осушается. Это механизм положительной обратной связи. Биогеофизический механизм такой обратной связи может приводить к неустойчивостям или метастабильности в окраинных областях пустыни – к расширению или отступанию ее границ, а началом этому могут послужить антропогенные воздействия. Такой механизм наиболее подходящ для Сахели [Чарни, 1977].

Для борьбы с засухами могут применяться различные меры, направленные на изменение климата и погоды: создание лесозащитных полос; озеленение опустыненных территорий; создание искусственных водохранилищ в бассейнах пересохших рек и озер для увеличения содержания влаги в атмосфере за счет испарения; создание протяженных муссонных фронтов и формирование облаков посредством активных воздействий на атмосферные процессы с целью регулирования осадков. Однако эффективность таких технических гипотез часто является спорной и, кроме того, их осуществление требует громадных средств и объединения усилий не только всех стран ССЗ, но и мирового сообщества. Фактически они лишь затушевывают глубокие экологические, социальные, а зачастую и политические проблемы. Поэтому представляется, что в странах ССЗ целесообразно реализовывать те меры, которые в короткие и средние сроки могут ослабить воздействие засухи. В частности, необходимо:

- учитывать климатическую ситуацию и положение в сельском хозяйстве при строительстве новых продовольственных комплексов;
- увеличивать во время засухи производство продовольственных сельскохозяйственных культур за счет снижения производства товарных культур и осуществлять закупку продуктов питания на средства, вырученные от экспорта товарных культур;
- оказывать широкую гуманитарную помощь районам, охваченным голодом;
- определить стратегию борьбы с опустыниванием, активно разворачивать работы по развитию хозяйства соответствующих районов и всемерному укреплению продовольственного потенциала;
- с большей эффективностью организовывать метеорологическую службу. Такая служба может сигнализировать о надвигающейся угрозе засухи и способствовать своевременному принятию рациональных хозяйственных, экологических и социальных решений.

Литература

1. Алексеева Л.И., Семенов Е.К., Петросянец М.А. Перестройка циркуляции тропической атмосферы во время Эль-Ниньо 1982–1983 гг. // Метеорология и гидрология, 1990, № 10, с. 21–31.
2. Бирман Б.А., Балашова Е.В. Муссоны Гвинейского залива. // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 1983, Вып. 99, с. 3–13.
3. Вебстер П. Крупномасштабная структура тропической атмосферы. / В кн.: Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере. – М.: Мир, 1988, с. 261–305.
4. Гедеонов А.Д. Об африканской засухе последних лет. // Метеорология и гидрология, 1975, № 5, с. 79–85.
5. Гланц М.Х. Засуха в Африке. // В мире науки и техники, 1987, № 8, с. 4–11.
6. Дымников В.П., Филатов А.Н. Основы математической теории климата. – М.: ВИНТИ, 1994. – 254 с.
7. Кружкова Т.С., Стехновский Д.И. О взаимосвязи субтропических антициклонов и внутритропической зоны конвергенции. // Труды ГМЦ СССР, 1969, вып. 41, с. 3–12.
8. Кружкова Т.С., Бойкова О.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения для тропических районов Северного полушария. // Труды ГМЦ СССР, 1988, вып. 297, с. 65–78.
9. Лебедев А.Н., Сорочан О.Г. Климаты Африки. – Л.: Гидрометеоздат, 1967. – 488 с.
10. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В. Радиационный баланс Земли: ключевые аспекты. – М.: Наука, 1988. – 223 с.
11. Мелишко В.П. и др. Влияние аномалий температуры поверхности океанов летом 1987 и 1988 гг. на изменения муссонной циркуляции в тропиках. // Метеорология и гидрология, 1992, № 12, с. 5–32.
12. Огалло Л.А. Засухи и опустынивание. // Бюллетень ВМО, 1994, № 1, с. 23–28.
13. Петросянец М.А. Синоптическая метеорология тропиков. // Сб.: Достижения в области гидрометеорологии и контроля природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1987, с. 129–158.
14. Петросянец М.А. Тропические муссоны. / Под ред. П.Н. Белова. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 338 с.
15. Петросянец М.А., Гнесла И.В., Фалькович А.И. Тропическая атмосфера во время дождливых и бездождных периодов. // Метеорология и гидрология, 1990, № 2, с. 28–32.
16. Покровская Т.В., Шереметова Л.М. Статистический анализ сахельской засухи. // Труды ГГО, 1984, вып. 471, с. 67–76.
17. Радченко Г.Ф. Страны Сахеля. – М.: Мысль, 1983. – 261 с.
18. Репинская Р.П. Эволюция характеристик главных мод приземного давления в тропиках. // Метеорология и гидрология, 1993, № 1, с. 69–77.
19. Репинская Р.П., Вампа К. Идентификация судано-сахельских засух по главным компонентам давления в тропиках в предмуссонный период. // Метеорология и гидрология, 1994, № 3, с. 52–62.
20. Репинская Р.П. Оценка статистической предсказуемости волновых мод месячных сумм осадков в Судано-Сахельской зоне. // Метеорология и гидрология, 1998, № 3, с. 44–53.
21. Репинская Р.П., Вампа К.М. Аппроксимация с помощью эмпирических ортогональных составляющих месячных сумм осадков над Северной Африкой. // Метеорология и гидрология, 1996, № 11, с. 13–19.
22. Риль Г. Климат и погода в тропиках. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 607 с.
23. Романов Ю.А. Особенности атмосферной циркуляции в тропической зоне океанов. – СПб.: Гидрометеоздат, 1994. – 288 с.
24. Фалькович А.И. Динамика и энергетика внутритропической зоны конвергенции. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. – 246 с.
25. Чарни Дж. Динамика пустынь и засуха в Сахеле. / В кн.: Физические основы теории климата и его моделирование. – Л.: Гидрометеоздат, 1977, с. 176–181.
26. Шереметова Л.М. Экстремальные аномалии увлажнения Северной Африки. // Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. геогр. наук. – Л., 1981. – 15 с.

27. *Carlson T., Prospera J.* Saharian air outbreaks U.S. GATE. // Central program Workshop. 1977.
28. *Fennessy M.J., Shukla J.* Influence of global SST on GCM simulations of the northern hemisphere monsoon circulations of 1987 and 1988. // WCRP – 49, 1990.
29. *Flohn H.* Equatorial Westerlies over Africa, their extension and Significance. // Tropical meteorology in Africa. Nairobi: 1960. P. 253–267.
30. *Girault I.M., Gregorie F.* Le climat soudano-sahelien, ann e pluvieuse. // Meteorologie. 1976. № 6. P. 69–81.
31. *Kanamitsi M., Krishnamurti T.N.* Nother summer tropical circulations during drought and normal rainfall month. // Mon. Weather Rev., 1978, vol. 106, № 3, p. 331–347.
32. *Kidson I.W.* African rainfall and its relation to the upper air circulation. // Q. J. Roy. Met. Soc., 1977, vol. 103, № 437, p. 441–456.
33. *Krauss E.B.* Subtropical droughts and cross-equatorial energy transport. // Mon. Wea. Rev., 1977, vol. 105, № 8, p. 1009–1018.
34. *Lamb P.J.* Case studies of tropical Atlantic surface circulation patterns during recent sub-Saharan weather anomalies: 1967 and 1968. // Mon. Wea. Rev., 1978, vol. 106, p. 482–491.
35. *Lough J.M.* Tropical Atlantic Sea Surface Temperatures and Rainfall Variations in Subsaharan Africa. // Mon. Wea. Rev, 1986, vol. 114, p. 561–570.
36. *Namias I.* Suggestion for research leding long-range precipitation forecasting the tropics. Pt.1. // International tropical Met. Meeting, Amer. Met. Soc.: Boston, 1974, p. 141–144.
37. *Nowel R.E.* African meen wind changes between Sahelian wet and dry periods. // J. Climatol., 1984, 4, № 1, p. 27–33.
38. *Orville H.D.* AMS statment on meteorological drought.// Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1990, vol. 71, № 7, p. 1021–1023.
39. *Palmer T.N.* Some thoughts on monsoon predictability:[Pap.] 4 Meet. TOGA/WGNE Monsoon numer. Exp. Groupx. "Simul. and Predict. Monsoon: Recent Results", New Delh, 12–14 Jan. 1993. // World Clim. Res. Programme. WMO, 1993. № 546, p. 51–57.
40. *Winstanley D.* Recent rainfall trends in Africa, the middle East and India. // Nature, 1973, vol. 244, p. 464–465.
41. World climate research programme clivar. A study of climate variability and predictability science plan August 1995. // WCRP-89 WMO/TD. № 690. P. 40–41.