

УДК 551.509.33+ 551.577.38

В.Г. Сальников*, Г.К. Турулина,
С.Е. Полякова, А.А. Скакова

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: Vitali.Salnikov@kaznu.kz

Крупномасштабные атмосферные процессы и засушливость в Казахстане

Приведен обзор индексов атмосферной засушливости/увлажнения. Изучено влияние крупномасштабных динамических процессов в атмосфере на формирование режима осадков над Казахстаном. Полученные возмущения в распределении месячных сумм осадков в годы Эль-Ниньо являются отражением соответствующих изменений динамической структуры атмосферы.

Ключевые слова: атмосферная засуха, осадки, индексы засушливости/увлажнения, атмосферная циркуляция, южное колебание, Эль-Ниньо.

В.Г. Сальников, Г.К. Турулина, С.Е. Полякова, А.А. Скакова

Қазақстанда атмосфералық құрғақшылық және ірі масштабты атмосфералық процестер

Атмосфералық құрғақшылық ылғалдану индекстері келтірілген. Қазақстанда жауын-шашын режимінің қалыптасуына атмосферадағы ірі масштабты динамикалық процестердің әсері зерттелген. Эль-Ниньо жауын-шашынның айлық жиынтығының таралуында алынған ауытқулар атмосфераның динамикалық құрылысының сәйкес өзгеруінің көрінісі болады.

Түйін сөздер: атмосфералық құрғақшылық, жауын-шашын, құрғақшылық/ ылғалдану индекстері, атмосфералық циркуляция, оңтүстік тербелістер, Эль-Ниньо.

V.G. Salnikov, G.K. Turulina, S.E. Polyakova, A.A. Skakova

Large-scale atmospheric processes and atmospheric arid in Kazakhstan

A review of the indices of atmospheric aridity/humidity. The influence of large-scale dynamical processes in the atmosphere for the formation of rainfall over Kazakhstan. The resulting disturbances in the distribution of monthly precipitation during El Nino are a reflection of the relevant changes of the dynamic structure of the atmosphere.

Keywords: atmospheric drought, rainfall, aridity index/humidity, atmospheric circulation, Southern Oscillation, El Nino.

Ежегодно в различных районах земного шара наблюдаются аномальные природные явления. В докладе МГЭИК [1] и в многочисленных работах [2–4] было отмечено, что потепление климата приводит к увеличению частоты опасных гидрометеорологических явлений, таких, как засухи, периоды избыточного увлажнения, наводнения, сильные морозы и др., которые наносят все больший экономический и социальный ущерб обществу. В

последние десятилетия наблюдается нарастающее экстремальных явлений погоды.

Большая часть территории Республики Казахстан располагается в аридных и полумаридных зонах, здесь засухи являются одним из потенциально опасных природных процессов. Наибольший урон они наносят сельскому хозяйству, вызывая резкое снижение, а иногда и полную гибель сельскохозяйственных культур.

Единого универсального индекса для характеристики условий засушливости / увлажнения не существует. Перечень индексов, используемых в мировой практике, довольно широк [3–8]. В статье в качестве показателей изменения засушливости / увлажненности территории предложено использовать несколько индексов, оцениваемых по данным наземных гидрометеорологических наблюдений:

- коэффициент увлажнения (отношение количества осадков и испаряемости), который позволяет судить о влагообеспеченности по соотношению тепла и влаги, поступающих на данный участок суши;

- гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК) – интегральный показатель гидротермического режима, учитывающий тепло и влагу, и употребляемый в качестве показателя влагообеспеченности растительного покрова;

- стандартизированный индекс осадков (SPI-standardized precipitation index) рекомендуется Всемирной метеорологической организацией для использования всеми национальными гидрометеорологическими службами для оценки условий увлажнения. SPI разработан на базе положения, что дефицит осадков оказывает различное воздействие на поверхностный и подземный сток природных вод, снежный покров и влажность почвы [9];

- индекс Д.А. Педя.

Показатель увлажнения Н.Н.Иванова показывает отношение годовой суммы осадков к годовой испаряемости:

$$K = \frac{\bar{R}}{\bar{E}_0}, \quad (1)$$

где R – сумма осадков за год, мм; $\bar{E}_0$ – испаряемость за год, мм.

Если значение K выше или ниже 1, то, соответственно, наблюдается избыток или дефицит влаги.

Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК), самый распространенный из вышеперечисленных показателей, рассчитывается по формуле (2):

$$ГТК = \frac{\sum r}{0,1 \sum t}, \quad (2)$$

где $\sum r$ – сумма осадков за вегетационный период (мм); $\sum t$ – сумма температур за тот же период ($^{\circ}\text{C}$).

Знаменатель в формуле (2), по исследованиям Г.Т. Селянинова, приближенно характеризует испаряемость. Условия увлажнения сельскохозяйственных культур за вегетационный период по гидротермическому коэффициенту Селянинова будут избыточно влажными при $ГТК > 2$, умеренно влажными при $ГТК > 1$ и засушливыми при $ГТК < 1$ (1,0–0,8 – умеренно засушливо, 0,8–0,6 – засушливо, 0,6–0,5 – средняя засуха, 0,5–0,4 – сильная засуха, $< 0,4$ – очень сильная засуха). Этот коэффициент не используется для оценки условий увлажнения зимы, весны и осени, когда средняя суточная температура воздуха ниже 10°C .

В соответствии с Линкольнской декларацией по индексам засухи (итоги межрегионального семинара ВМО по индексам засухи, 2009 г. [10], наряду с другими в качестве единого индекса национальным гидрометслужбам было рекомендовано использовать стандартизированный индекс осадков (SPI). Стандартизированный индекс осадков рассчитывается с использованием данных только о количестве осадков.

Стандартизированный индекс осадков (SPI) был разработан Макки и соавторами [9] и определяет количественный дефицит осадков на различных масштабах времени. Для описания количества осадков за разные временные периоды с помощью SPI, вероятностное распределение значений осадков приводится к нормальному виду с помощью гамма-функции.

SPI рассчитывается только по данным о количестве осадков и требует вычисления только двух параметров гамма-распределения. SPI может быть использован для мониторинга условий увлажнения на различных масштабах времени, что делает его полезным для описания засухи метеорологической, гидрологической и сельскохозяйственной. Временная изменчивость позволяет определить динамику условий увлажнения, например, начало засухи, ее продолжительность и окончание. Следующее преимущество SPI заключается в его стандартизации, то есть частоты экстремальных явлений в любом месте и на любой временной шкале сопоставимы, обеспечивая более точный пространственный анализ сухих и влажных периодов. Положительные значения SPI

характеризуют влажный период, а отрицательные – сухой.

Работники сельского хозяйства классифицируют засуху по степени недобора урожая. А.В. Процеров выделяет очень сильную засуху – снижение урожая на 50 % нормы и более, сильную – на 20–50 % и слабую – менее 20 %. Очень сильные засухи возникают, когда за вегетационный период осадков выпадает менее 50 % нормы, а средняя температура воздуха превышает норму на 3–4 °С. При сильных засухах осадков бывает 60–70 % нормы, а температура отклоняется на 2 °С. Для средней засухи характерны осадки 70–80 % нормы и слабая положительная аномалия температуры воздуха (1,0–1,5 °С) [6].

Д.А. Педь предложил в качестве критерия засухи использовать индекс S_i . Он включает в себя основные (определяющие) факторы, необходимые для формирования изучаемого явления: температуру воздуха, количество выпавших осадков и влажность деятельного слоя почвы. Их учет особенно важен потому, что наиболее опасными являются атмосферно-почвенные засухи, которые возникают при определенном сочетании температуры воздуха, атмосферных осадков и влажности в деятельном слое почвы (до 1 м). При нахождении индекса S_i , характеризующего засуху или избыточное увлажнение того или иного района в определенное время года, автор предложил брать не сами значения T , R и E , а их аномалию по сравнению с климатической нормой (ΔT , ΔR , ΔE).

В случае атмосферной засухи используется формула:

$$S_i \tau = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R}. \quad (3)$$

По значению S_i можно судить об интенсивности атмосферной засухи: чем больше S_i , тем явление сильнее, и наоборот. По интенсивности засуху можно подразделить на три класса: слабая, средняя и сильная.

В качестве пороговых, согласно [6], приняты следующие значения: слабая засуха $S_i = 1,0–2,0$, средняя засуха $S_i = 2,0–3,0$, сильная засуха $S_i \geq 3,0$.

Наиболее опасна для сельскохозяйственного производства атмосферная весенняя засуха, когда развиваются корни растения. При слабой корневой системе, но сильной транспирации, растение погибает даже при

запасах влаги в почве, которую оно не в состоянии использовать. Засухи летние, особенно во вторую половину сезона, менее опасны. Следовательно, при одних и тех же суммарных показателях S_i за вегетационный период их эффект может быть разным (относительно урожая) в зависимости от того, когда отмечались большие – в первую или вторую часть этого периода. Другими словами, описание засухи с помощью S_i нужно производить с учетом времени.

В статье для оценки интенсивности засух приведен один из индексов – коэффициента увлажнения Н.Н. Иванова, при этом использовалось стандартизированное отклонение коэффициента увлажнения K , рассчитываемое как отношение аномалии K к среднеквадратическому отклонению: $x > 0$ – нет засухи; $-0,5 \leq x \leq 0$ – слабая засуха; $-1,0 < x < -0,5$ – средняя засуха; $x \leq -1,0$ – сильная засуха (где x – стандартизированное отклонение коэффициента Н.Н. Иванова).

Для иллюстрации на рисунке 1 представлен временной ход коэффициента увлажнения Н.Н. Иванова и урожайности за период 1971–2011 гг. по Костанайской области Республики Казахстан.



Рисунок 1 – Временной ход значений стандартизированного отклонения коэффициента увлажнения Н.Н. Иванова (кривая) и урожайности (гистограммы) за период 1971–2011 гг. по Костанайской области Республики Казахстан

Анализ рисунка 1 показал, что наблюдается достаточно хорошая согласованность между временным ходом коэффициента K и колебанием урожайности, т.е. высоким значениям урожайности соответствуют положительные значения стандартизированного отклонения K , низкоурожайным годам отрицательные значения [8].

Естественно, что одним из определяющих факторов возникновения засухи является атмосферная циркуляция. Среди явлений планетарного масштаба, протекающих в системе атмосфера – океан, наибольшее внимание в последние годы привлекает явление Эль-Ниньо и связанное с ним южное колебание (ЭНЮК). В ряде работ [11–14] показано, что многие из наиболее заметных межгодовых вариаций метеорологических характеристик атмосферы Северного полушария и гидрологических величин в океане связаны с явлением ЭНЮК. Заметим, что роль крупномасштабных динамических процессов и их аномалий в атмосфере северного полушария в формировании погодного и климатического режима в Казахстане изучена пока не в полной мере.

Климатическое явление Эль-Ниньо связано со значительными колебаниями атмосферного давления, температуры воздуха и океанической

поверхности и известно издавна. Обстоятельный обзор Эль-Ниньо – Южное колебание дан в работах Г.В. Груза [2], М.А. Петросянца [15–16]. Явление Эль-Ниньо проявляется, как правило, с декабря по март и возникает в среднем один раз в три-четыре года. Согласно последним наблюдениям, достоверность наступления Эль-Ниньо можно определить по показаниям барометров, установленных в г. Дарвин (Австралия) и на острове Таити: при Эль-Ниньо давление на Таити будет высоким, а в Дарвине – низким. Однако, как отмечено [15], и в этом случае возможны неточности в определении времени наступления Эль-Ниньо, поскольку коэффициент корреляции между температурой поверхности экваториальной части Тихого океана и Южным колебанием в период явления Эль-Ниньо достаточно высок, но все же он не равен единице (рис. 2).

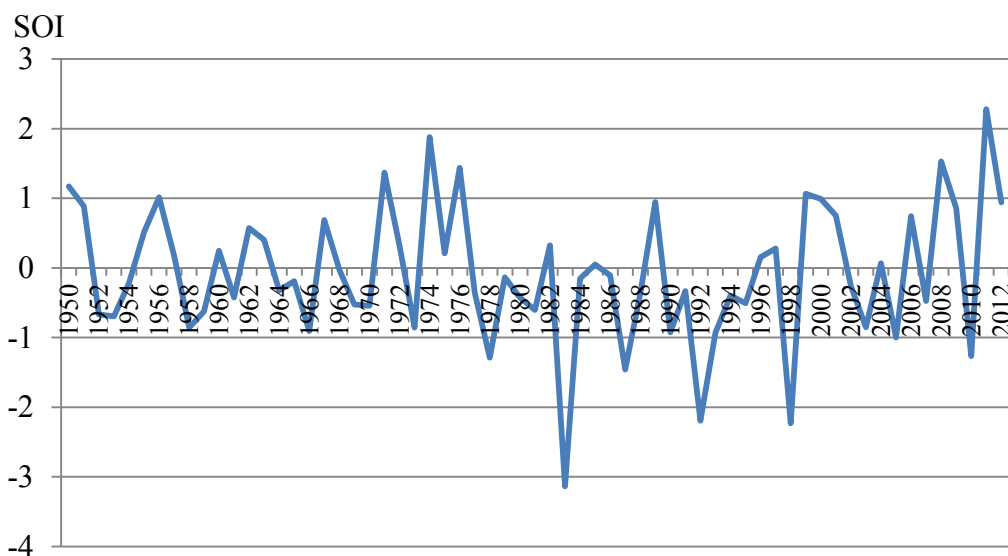


Рисунок 2 – Временной ход индекса Южного колебания (SOI)

Индекс южного колебания (SOI) в период с 1950 по 2012 гг. характеризуется значительной изменчивостью во времени и в последние десятилетия наблюдается преобладание отрицательных значений. Отрицательные значения индекса SOI означают теплую фазу ЭНЮК, т.е. развитие Эль-Ниньо; положительные значения индекса – холодную фазу, т.е. развитие Ла-Нинья. Сильные Эль-Ниньо, как видно из рисунка 2, происходили в 1982 и 1998 годах. Явление ЭНЮК проявляется в виде

экстраординарных погодных аномалий в различных регионах земного шара, удаленных от места его возникновения на тысячи километров.

Влияние климатических феноменов Эль-Ниньо и Южного колебания определенным образом сказывается и в Казахстане, так как изменения в глобальной атмосферной циркуляции планеты вызывают и изменения локальных погодных условий. Иногда это положительное влияние, например, повышение урожайности

зерновых культур благодаря большому количеству осадков в степной зоне Казахстана. Но, с другой стороны, необходимо учитывать и возможные неблагоприятные погодные явления в других регионах Казахстана. Это полностью отвечает и общемировой тенденции возрастания частоты и интенсивности проявлений Эль-Ниньо и, соответственно, количества ураганов, наводнений и засух.

В рассмотренных выше индексах для оценки условий засушливости или увлажнения определяющим параметром являются осадки. Для изучения влияния явлений ЭНЮК на погодный режим в Казахстане и был выбран такой важный показатель атмосферной циркуляции, как осадки. При этом в качестве исходных данных использовались аномалии месячных сумм осадков за 1958-2000 гг.

Для выделенных [16] лет Эль-Ниньо строились карты распределения аномалий осадков по рассматриваемой территории. Рассматривался промежуток времени от января года, в котором началось Эль-Ниньо до декабря следующего года, т.е. всего 24 месяца. Отдельно анализировались случаи для лет мощного, а

также раннего и позднего Эль-Ниньо. Для оценки статистической значимости полученных результатов использовался критерий Стьюдента. Задавались два уровня значимости – 5% и 10%.

В среднем многолетнем плане, согласно различным исследованиям [17 и др.], месячные суммы осадков в равнинной части Казахстана уменьшаются с севера на юг. Помимо широтного убывания осадков с севера на юг Казахстану присуще увеличения их сезонных сумм от Уральской и Актюбинской областей к Павлодарской.

В годы Эль-Ниньо (рис. 3 а, в) характерные особенности распределения осадков по территории Казахстана претерпевают существенные изменения. Весной на всей территории республики суммы осадков изменяются в пределах нормы. В летние месяцы зоны положительной аномальности осадков смещаются на западные и восточные районы Казахстана. При этом аномальность выражена достаточно чётко. В то же время, над северной частью отмечается дефицит осадков.

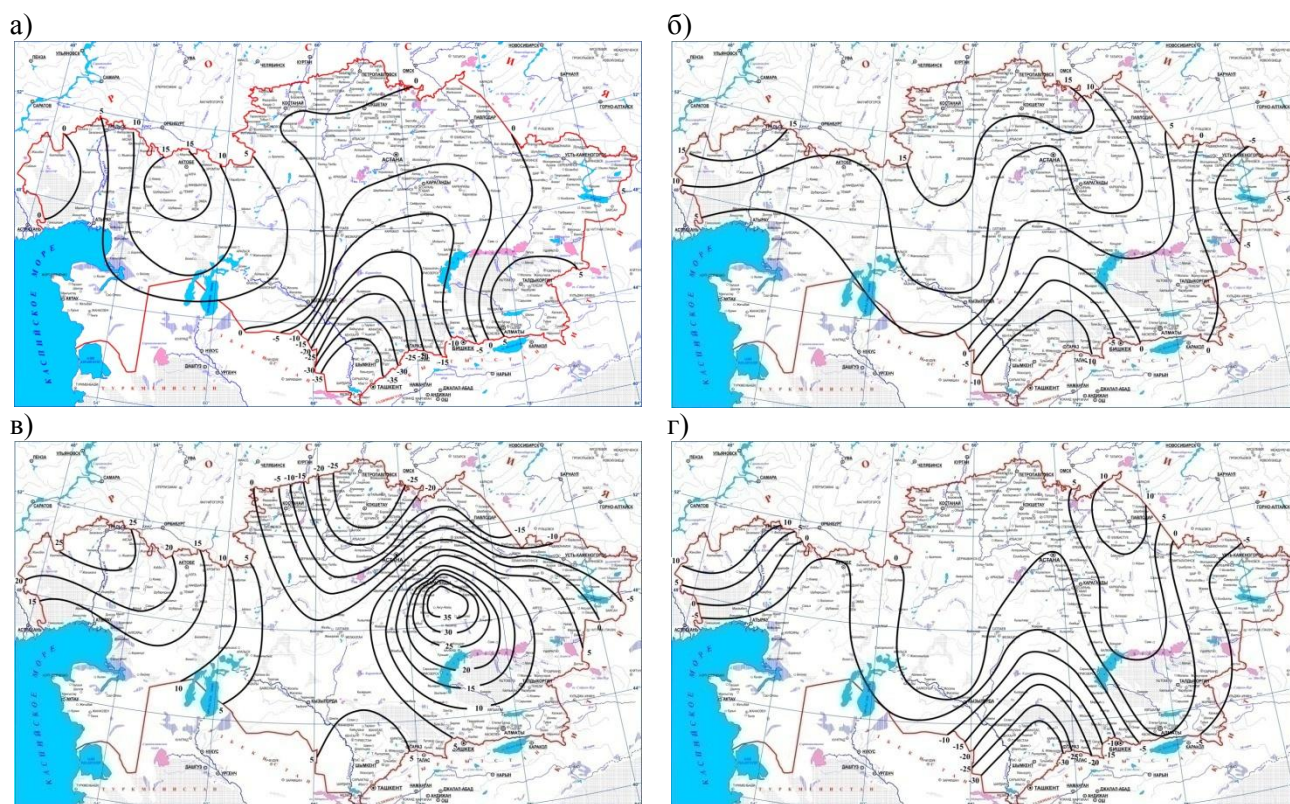


Рисунок 3 – Композиционные поля аномалий осадков в центральные месяцы сезонов в годы Эль-Ниньо (а – весна; в – лето) и следующие за годом Эль-Ниньо (б – весна; г – лето)

Для весен тех лет, которые следуют за годом Эль-Ниньо (рис. 3 б, г), характерно появление положительных аномалий осадков практически на всей территории республики. Только на крайнем юге отмечается зона небольшого их дефицита. Летом похожая картина осадков сохраняется, наблюдается затухание возмущений распределения осадков, связанных, по-видимому, с действием Эль-Ниньо. Для лет мощного, раннего и позднего Эль-Ниньо характерно возрастание величины аномалий месячных сумм осадков. Однако для окончательных выводов необходимо произвести проверку полученных результатов на большом материале.

В работе [3] показано, что в годы Эль-Ниньо во внетропических широтах северного полушария отмечается усиление западных

ветров, увеличение степени бароклинности атмосферы, сдвиг шторм-треков и изменение в меридиональном переносе тепла стационарными вихрями.

Полученные возмущения в распределении месячных сумм осадков в годы Эль-Ниньо являются отражением соответствующих изменений динамической структуры атмосферы.

Таким образом, значительная перестройка общей циркуляции атмосферы в умеренных широтах Северного полушария в годы Эль-Ниньо приводит в существенной аномальности распределения месячных сумм осадков по территории Казахстана. Наиболее значительное проявление сигнала отмечается в период с июня года Эль-Ниньо по март следующего года. Экстремальные аномалии наблюдаются практически на всей территории республики.

Литература

- 1 Изменение климата: Обобщенный доклад Межправительственной группой экспертов по изменению климата / под редакцией Р.Т. Уотсона и др. – МГЭИК, Женева, Швейцария. – 2007. – 104 с.
- 2 Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связях климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 5. – С. 32–51.
- 3 Переведенцев Ю.П., Шантилинский К.Н., Важнова Н.А., Наумов Э.П., Шумихина А.В. Изменения климата на территории Приволжского федерального округа в последние десятилетия и их взаимосвязь с геофизическими факторами // Вестник Удмуртского университета. – 2012. – Вып. 4. – С. 122–135.
- 4 Клименко В.В. Почему замедляется глобальное потепление? // Доклады Академии наук РФ. – 2011. – Т. 440. – № 4. – С. 536–539.
- 5 Palmer W.C. Meteorological drought. Dep. of Commerce Weather Bureau. – Washington, 1965. – Research Paper. – N.45 – 58 p.
- 6 Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып.156. – С. 19–38.
- 7 Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшный В.И. Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 310 с.
- 8 Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методов, моделей и геоинформационных технологий контроля, анализа и прогноза динамики процессов опустынивания на территории Республики Казахстан» (промежуточный). – Алматы, 2012. – 130 с. (№ госрегистрации 0112РК00567, Инв. № 0212РК00989, МНРТИ 39.01.94).
- 9 McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January. – Anaheim, CA, 1993. – PP. 179-184.
- 10 Sivakumar Mannava V.K., Raymond P. Motha, Donald A. Wilhite, Deborah A. Wood Agricultural Drought Indices. Proceedings of the WMO/UNISDR Expert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain: Geneva. – Switzerland: World Meteorological Organization., 2011. AGM-11, WMO/TD No. 1572; WAOB-2011. – 197 pp.
- 11 The global climate system. A critical review of the climate system during 1982–1984: World climate data program. – WMO: Geneva, 1985. – 52 p.

- 12 The global climate system. Autumn 1984 – Spring 1986: World climate data program. – WMO: Geneva, 1987. – 87 p.
- 13 Gray W.M. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part.1: El-Nino and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation influences // Mon. Wea. Rev. – 1984. – Vol. 112. – PP. 1649–1667.
- 14 Rasmusson E.M., Hall J.M. El-Nino: The great equatorial Pacific Ocean warming event od 1982–83 // Weatherwise. – 1983. – Vol. 36. – N 4. – PP. 313–348.
- 15 Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 8. – С. 24–35.
- 16 Волков Ю.Н., Калашников Б.М. Эль-Ниньо: идентификация и возможность прогнозирования // Труды ДВНИГМИ. – 1990. – Вып. 136. – С. 158–172.
- 17 Чичасов Г.Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды. – С-Пб.: Гидрометеиздат, 1991. – 304 с.

References

- 1 Izmenenie klimata: Obobshhennyj doklad Mezhpripravitel'svennoj gruppoj jekspertov po izmeneniju klimata / Pod. Redakciej R.T. Uotsona dr. – MGJeIK, Zheneva, Shvejcarija. – 2007. – 104 s.
- 2 Gruza G.V., Ran'kova Je.Ja., Kleshhenko L.K., Aristova L.N. O svjazjah klimaticheskikh anomalij na territorii Rossii s javlel'em Jel'-Nin'o – Juzhnoe kolebanie // Meteorologija i gidrologija. – 2002. – № 5. – S. 32-51.
- 3 Perevedencev Ju.P., Shantilinskij K.N., Vazhnova N.A., Naumov Je.P., Shumihina A.V. Izmenenija klimata na territorii Privolzhskogo federal'nogo okruga v poslednie desjatiletija i ih vzaimosvjaz' s geofizicheskimi faktorami // vestnik Udmurtskogo universiteta. – 2012. – Vyp. 4. – S. 122–135.
- 4 Klimenko V.V. Pochemu zamedljaetsja global'noe poteplenie? //Doklady Akademii nauk RF. – 2011. – T. 440. – № 4. – S. 536–539.
- 5 Palmer Shh.C. Meteorological drought. Dep. of Commerce Shheather Buerau. – Shhashington, 1965. – Reseach Paper, N.45 – 58 p.
- 6 Ped' D.A. O pokazatele zasuhi i izbytochnogo uvlazhnenija // Trudy Gidrometcentra SSSR. – 1975. – Vyp.156. – S. 19–38.
- 7 Gringof I.G., Popova V.V., Strashnyj V.I. Agrometeorologija. – L.: Gidrometeoizdat, 1987. – 310 s.
- 8 Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Razrabotka metodov, modelej i geoinformacionnyh tehnologij kontrolja, analiza i prognoza dinamiki processov opustynivaniya na territorii Respubliki Kazahstan» (promezhutochnyj). – Almaty, 2012. – 130 s. (№ gosregistracii 0112RK00567, Inv. № 0212RK00989, MNRTI 39.01.94)
- 9 McKee T.B., Doesken N.J. and Kleist J. The relationship of drought frejauency and duration to time scales // Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January. – Anaheim, CA, 1993. – RR. 179–184.
- 10 Sivakumar Mannava V.K., Raymond P. Motha, Donald A. Shhilhite, Deborah A. Shhood Agricultural Drought Indices. Proceedings of the ShhMO/UNISDR Ehpert Group Meeting on Agricultural Drought Indices, 2-4 June 2010, Murcia, Spain: Geneva. – Sshhitzerland: Shhorld Meteorological Organization., 2011. AGM-11, ShhMO/TD No. 1572; ShhAOB-2011. – 197 pp.
- 11 The global climate system. A critical revieshh of the climate system during 1982–1984: Shhorld climate data program. – ShhMO: Geneva, 1985. – 52 p.
- 12 The global climate system. Autumn 1984 – Spring 1986: Shhorld climate data program. – ShhMO: Geneva, 1987. – 87 p.
- 13 Gray Shh.M. Atlantic seasonal hurricane frejauency. Part.1: El-Nino and 30 mb Jauasi-Biennial Oscillation influences // Mon. Shhea. Rev. – 1984. – Vol. 112. – RP. 1649–1667.
- 14 Rasmusson E.M., Hall J.M. El-Nino: The great ejauatorial Pacific Ocean shharming event od 1982–83 // Shheathershhise. – 1983. – Vol. 36. – N 4. – RR. 313–348.
- 15 Petrosjanc M.A., Gushhina D.Ju. Ob opredelenii javljanenija Jel'-Nin'o i La-Nin'ja // Meteorologija i gidrologija. – 2002. – № 8. – S. 24–35.
- 16 Volkov Ju.N., Kalashnikov B.M. Jel'-Nin'o: identifikacija i vozmozhnost' prognozirovanija // Trudy DVNIGMI. – 1990. – Vyp. 136. – S. 158–172.
- 17 Chichasov G.N. Tehnologija dolgosrochnyh prognozov pogody. – S-Pb.: Gidrometeoizdat, 1991. – 304 s.