

ТЕНДЕНЦИИ В ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗАСУШАВАНЕТО В БЪЛГАРИЯ - Рени Стоянова<sup>1</sup>, Нина Николова<sup>2</sup>, Калина Радева<sup>3</sup>

СУ „Св. Климент Охридски“ – София

e-mail: докторант <sup>1</sup>reniistoyanova@gmail.com, проф. д-р <sup>2</sup>nina@gea.uni-sofia.bg,  
зл.ас. д-р <sup>3</sup>kradeva@gea.uni-sofia.bg

### TENDENCIES IN THE DROUGHT RESEARCH IN BULGARIA

PhD student Reni Stoyanova<sup>1</sup>, prof. Nina Nikolova<sup>2</sup>, assist. prof. Kalina Radeva<sup>3</sup>

SU "St. Kliment Ohridski" - Sofia

e-mail: <sup>1</sup>reniistoyanova@gmail.com, <sup>2</sup>nina@gea.uni-sofia.bg, <sup>3</sup>kradeva@gea.uni-sofia.bg

#### Abstract

*The drought is a normal climatic phenomenon but it can develop as an extreme climatic event and become a natural hazard. The strength of the drought is determined by its duration, intensity, spatial extent and the needs of the population. The present article could bring to increase the knowledge about drought in Bulgaria through a synthesis of existing research publications. The article presents the methods that are used in the Bulgarian scientific literature to detect meteorological and hydrological droughts and provides a brief overview of the special and temporal distribution of meteorological and hydrological droughts in Bulgaria. It is established that in recent years there has been a growing interest in the study of drought through complex indicators that reflect the factors for the drought occurrence. The research shows that the analyses based on a large physical-geographical or administrative region are useful in developing strategies or plans for the territorial development, but the local research, which reflects the specific physical-geographical features, is of practical importance.*

*Keywords: atmospheric drought, hydrological drought; review, Bulgaria*

#### УВОД

Засушаването е природно явление, причинено от временно намаляване на наличността на вода, като следствие от дългосрочен дефицит на валежите. Резултатите от климатичните модели показват, че през 21 век се очакват продължителни сухи периоди, съчетани с високи температури, което ще засили негативните ефекти от засушаването (Dai, 2013, Trnka et al, 2011, Trnka et al., 2015). В редица публикации (Agnew and Anderson 1992; Williams-Sether et al. 1994) засушаването се класифицира в зависимост от причините, които го поражда като: 1) Метеорологично засушаване – възниква в следствие на недостатъчни валежи и се определя в абсолютни стойности при сравнение на валежната сума с тази за даден референтен период; 2) Атмосферно засушаване – в допълнение към анализа на валежа, се отчитат също температурата на въздуха, влажността и скоростта на вятъра; 3) Селскостопанско засушаване – води до недостиг на влага за растежа на растенията и се оценява като почвена влажност, която не компенсира загубите от изпарение; 4) Хидроложко засушаване –характеризира се с намаляване на речния отток и обикновено настъпва със закъснение в сравнение с метеороложкото и земеделското засушаване. Поради факта, че речните басейни са свързани помежду си хидрологични системи, хидроложкото засушаване може да обхване по-голяма територия от тази обхваната първоначално от метеорологично засушаване; 5) Социално-икономическо засушаване – свързва се с последиците от недостига на вода, които засягат социално-икономическите системи.

Този тип засушаване се проявява когато търсенето на икономически стока превишава предлагането в резултат на недостиг на вода във връзка с метеорологичното време. 5) Екологично засушаване – дефинира се като "продължителен и широко разпространен недостиг на вода от наличните водоизточници, които създават стрес за развитието на екосистемите"<sup>22</sup>. Общо за всички типове засушаване е липсата на валежи (WMO, 1993). От метеорологична гледна точка, засушаването е свързано с различни по дължина и безводие периоди на суша.

Необходимостта от детайлни изследвания на засушаването и въздействието му върху различни сектори на икономиката се определя от това, че засушаването се различава от останалите бедствия по няколко признака: 1) ефекта от засушаването обикновено се акумулира и проявява за дълъг период от време и може да се наблюдава години след приключване на сухия период; 2) отсъствието на точна и универсална дефиниция за засушаване води до несигурност дали съществува или не засушаване и каква е степента на интензивност на сушата; 3) последиците от засушаване се проявяват в по-широк географски район от колкото районът, който непосредствено е засегнат от бедствието. Това прави количественото определяне на последиците от засушаването и осигуряването помощ за засегнатите райони значително по-трудно в сравнение с дейностите при друго природно бедствие (Afonso do Ó, 2005).

Цел на настоящето изследване е да направи преглед на научните изследвания на атмосферното и хидроложко засушавания в България като акцентира на методите, използвани за разкриване на динамиката и интензивността на явлението, а също така и да даде синтезирана информация за пространствено-хронологичната проява на засушаването в България.

Анализът на съществуващите научни публикации е извършен в две направления: 1) теоретико-методично – сравнителен анализ на използваните методи за изследване на засушаването и 2) референция – документиране на местоположението и времето на случване на явлението. Подборът на публикациите е направен на базата на следните критерии: 1) съответствие и 2) обхват на изследваната територия. Според първия критерий са подбрани публикации, които анализират метеорологичното и / или хидроложко засушаване в България. По отношение на териториалния обхват изследванията за България се групират както следва: 1) Изследвания на базата на осреднени данни за територията на страната (или на двете големи единици Северна и Южна България); 2) Изследвания, които представят резултатите по физикогеографски райони, райони за планиране или общини; и 3) Резултати, базирани се на локални особености и данни от конкретни станции, които служат за основа на последващи регионални анализи.

## ДИСКУСИЯ

### *Методи за изследване на атмосферното и хидроложкото засушаване*

В специализираната литература съществуват редица публикации, анализиращи засушаването в България от гледна точка на неговата проява, интензивност и фактори: Колева (1988), Раев и др. (2003), Славов и др. (2003), Popova and Kercheva, (2002; 2005), Александров (2005, 2006, 2011), Koleva and Alexandrov, (2008), Popova and Pereira, (2008), Попова (2012, 2014), Popova et al. (2015), Чиликова-Любомирова, (2013), Radeva & Nikolova (2020).

---

<sup>22</sup> National Drought Mitigation Center (<http://drought.unl.edu/Home.aspx>), достъп 09.09.2020.

### *Индекси на засушаване, базирани само на данни за валежи*

Сред климатичните параметри, характеризиращи метеорологичното засушаване, най-често се използват валежите. Анализират се месечните валежи и валежните аномалии като процентно отклонение от средната многогодишна стойност – норма (Koleva and Alexandrov, 2008; Popova et al., 2014). Разновидност на валежните аномалии са Rainfall Anomaly Indices (RAI) и кумулативните аномалии (Cumulative precipitation Anomalies - CA). Тези индекси са използвани от редица автори за определяне на продължителността и магнитуда на засушаването в различни територии от България (Nikolova and Vassilev, 2005; Nikolova and Alieva, 2011, Nikolova et al., 2012, Nikolova and Radeva, 2019).

Един от най-често използваните през последните десетилетия индекси за оценка на засушаването е стандартизираният индекс на валежите (SPI) – Standardized Precipitation Index (Mc Kee et al., 1993), който дава информация за интензивността, магнитуда и пространственото разпространение на засушаването (Nikolova and Alieva, 2011; Nikolova, 2013; Popova et al. 2011; Popova et al., 2014). Основните предимства на този метод са, че за изчислението му са необходими само данни за валежите, изчисленията не са сложни и позволяват да се определи проявата на засушаване за различни времеви интервали (месечно, сезонно, годишно или няколко години). Стойностите на SPI съответстват на стандартизираните редици от стойности на валежите, трансформирани към гама-разпределение. Поради това при SPI=0 няма отклонение от средната стойност на валежите в избраната времева скала за анализирания период. Положителните стойности на SPI показват, че валежът е над средната стойност, а отрицателните стойности на SPI показват, че валежите са под средната стойност (Alexandrov and Radeva, 2010).

### *Комплексни индекси на засушаване*

През последните години се увеличава броят на публикациите, характеризиращи засушаването чрез комплексни индекси, отразяващи влиянието освен на валежа и на други фактори, най-често на температурата на въздуха. Към тези индекси се отнасят индекс на засушаването на Де Мартон (De Martonne Aridity Index), индекс на Торнтуйт, Palmer Drought Severity Index (PDSI), Palfai's Aridity Index (PAI) и стандартизиран индекс на валежите и изпарението – Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI).

Индексът на де Мартон, предложен е от френския географ Емануел де Мартон през 1926 г., е един от първите индекси, използвани за оценка на аридността, но намира приложение при определяне на сухи и валежни периоди (месеци, години). Индексът на Де Мартон е използван от Киров (1930), Koleva and Alexandrov (2008), Митков и Топлийски (2017); Moteva et al. (2010) и др. за определяне на сухи месеци и години, на базата на което са направени изводи за тенденциите в проявата на засушаване в България. Митков и Топлийски (2017) правят сравнителен анализ на използването на индексите на де Мартон и на Торнтуйт за оценка на сухите периоди в България и установяват значителна синхронност на резултатите.

Един от първите индекси, използвани в научните изследвания за измерване на степента на засушаване е Palmer Drought Severity Index – PDSI (Palmer, 1965). Първичните данни за изчисление на този индекс са валежите, евапотранспирацията и наличния воден капацитет на почвите. Индексът намира широко приложение при оценка на въздействието на засушаването върху земеделието (Gocheva et al. 2010; Alexandrov et al., 2011; Popova et al., 2014).

Друг комплексен индекс за оценка на засушаването е Palfai's Aridity Index – PAI (Palfai et al. 1998). PAI изразява отношенията на изпарение (температура) и валежи, а също

така отчита състоянието на нивото на подпочвените води (Gocheva et al. 2010). Чрез въвеждане на корекционни коефициенти PAI може да се прилага при оценка на въздействие на засушаването за развитие на различни земеделски култури (Koleva and Alexandrov, 2008).

Стандартизираният индекс на валежите и изпарението SPEI (Vicente-Serrano et al., 2010) представлява разлика между кумулативните валежи и потенциалната евапотранспирация и показва засилване на засушаването при увеличаване на температурата на въздуха. SPEI има предимството пред индекса на Palmer с това, че се основава на лесно достъпни данни (валежи и температура на въздуха) като в същото време дава информация за причините за настъпване на засушаването, причинено от метеорологични фактори. През последните години SPEI се налага като метод за установяване на характеристиките на засушаването в отделни райони на България: за басейна на р. Струма (Nikolova and Radeva, 2019); за северна България (Radeva and Nikolova, 2020). Чрез SPEI/SPI Stagge et al. (2015) правят сравнителен анализ на проявата на метеорологично засушаване в България и други европейски страни (Словения, Германия, Великобритания и Норвегия) като оценяват въздействието на сушата върху различни сектори. Най-значими въздействия за България се установяват за земеделието и водоснабдяването.

#### *Индекси за изследване на хидроложкото засушаване*

Изследванията на хидроложкото засушаване в България са сравнително малко и от скоро и се базират основно на данни за речния отток. Хидроложките индекси са показатели, описващи засушаването от хидроложка гледна точка, като целта им е количествено и/или качествено да оценят явлението (Чиликова-Любомирова, 2013). В научните публикации, анализиращи хидроложкото засушаване в България, най-често се използват Streamflow Drought Index (SDI); Standardized Runoff Index (SRI), а също така и Base-flow index; Hydrological drought index (HDI) и Drivers-Pressure-State-Impact -Response (DPSIR). Чиликова-Любомирова (2013) прави кратък анализ и оценка на засушаването в хидроложки аспект като дава препоръки за разработване на комбинирани индекси, които биха могли да позволят паралелно изследване на повече от един аспект на сушата. Установена е добра синхронност между многогодишните колебания на индекса за метеорологично засушаване (SPI) и на хидроложкото засушаване (SDI), Radeva et al. (2018).

Base-flow index (Индекс на базовия отток) и Hydrological drought index (HDI) - Хидроложки индекс на сушата са използвани от Dakova (2004), която предлага количествени критерии за оценка хидроложка суша, подходящи за българските условия. Анализират се различни индикатори на хидроложко засушаване във вътрешногодишен и в многогодишен аспект.

Комплексен индикатор за воден недостиг и засушаване е Drivers-Pressure-State-Impact -Response (DPSIR), (Ilcheva et al., 2015). Авторите предлагат методика за съвместна оценка на риска от засушаване за водоснабдяването, която идентифицира райони с воден стрес и отчита необходимостта от осигуряване на екологичен отток в реките.

#### *Метеорологично и хидроложко засушаване в България - пространствено-хронологично проявление*

Анализът на тренда на годишните валежи за миналия и началото на настоящия век показва увеличение на валежите в редица райони на северното полукълбо с 20 до 40% (IPCC, 2007). От друга страна, за Балканският полуостров и България е характерна обща тенденция към намаляване на валежите от 1980-те години (Alexandrov, 2004).

Научните изследвания върху режима и многогодишните изменения на валежите в България показват тенденция към намаляване на валежните суми и засушаване в редица райони на страната. Petkova et al. (2008) показват общ спад в зимните валежи в много области в Северна България през периода 1931-2005. Tran et al. (2002) посочват, че сушата може да се случи по всяко време и да се разпространи върху големи площи в продължение на дълъг период от време и до ниво с висока интензивност в България. Александров (2011) посочва три периода с по-продължителни и силни засушавания в България: 1902-1913 г., 1942-1953 г. и 1982-1994 г. През първия период сухите години са около 20 %, през втория те нарастват на около 40 %, а през периода 1982-1994 г. те са вече около 50 %.

Редица изследвания дават детайли относно характеристиките и проявата на засушаването в България през последните десетилетия или век (Alexandrov, 2011, Alexandrov, 2006, Knight et al, 2004, Nikolova et al. 2012). Nikolova (2013) определя интензивността на засушаването и неговото въздействие върху основни земеделски култури, отглеждани в Северна България. На базата на сезонни и годишни валежи Nikolova and Alieva (2011) анализират периодите на засушаване в Дунавската равнина (България) чрез изчисление на кумулативни валежни аномалии и стандартизиран индекс на валежите. Nikolova et al (2012) изследват засушаването в Южна България от гледна точка на времевите изменения, интензивност, сезонност и териториални различия. Авторите подчертават, че сушата е нормално и относително често явление в България, което се наблюдава главно от 80-те години на 20-ти век. Установено е, че районите на Пловдив и Стара Загора са сред районите в България, които в най-голяма степен са застрашени от засушаване поради намаление на валежите и увеличаване на температурата на въздуха (Попова, 2012; Попова и кол. 2013). Общините с повишен риск към почвено-атмосферно засушаване са локализирани в южната и източната части на страната, както и в крайдунавските територии (Александров, 2011). Ророва et al. (2015) показват тенденция за засилване на сушата не само в Тракия, но и в северните части на България и Софийското поле, като по този начин потвърждават, че земеделските земи в България изпитват повишена уязвимост от воден стрес.

Според Radeva and Nikolova (2020), на базата на получени резултати от индексите SPI и SDI, като най-сухи периоди се отличават 80-те и 90-те години. Според SPEI най-сухите години са били след 2000 г. Резултатите, получени от проучването, показват, че Северна България е с висока степен на цялостна уязвимост от суша като засушаването е най-добре проявено в Северозападна България.

Чрез изчисление на стандартизирания индекс на оттока (SRI) Христова и Иванова (2018) класифицират хидроложката година 2000/2001 г. като една от най-сухите за целия период на хидрометрични наблюдения в повечето речни басейни на България, предимно в южните и в югозападните части и особено в антропогенно натоварените водосбори. През 2000/2001 г. от „изключително засушаване“ е обхваната 52% от територията на България, а от „силно засушаване – 28%. По-големи области на „умерено“ и „около средното“ засушаване се наблюдават в Източна България. В географски аспект се наблюдава намаляване на степента на хидроложко засушаване в посока от запад на изток и с увеличаване на средната надморска височина на речните басейни. (Христова и Иванова, 2018).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от анализирани публикации ни дават основание да направим следните изводи: 1) за изчисляването на индексите на засушаване от съществено значение е наличието на дългопериодични редици от непрекъснати и качествени наблюдателни данни; 2) през последните години се увеличават изследванията на засушаването чрез комплексни индекси; 3) при използването на данни от климатични модели и сценарии е необходимо да се прави верификация с данни от инструментални измервания за общ период; 4) при изследване на засушаването пространственото осредняване на данните не винаги дава добри резултати, тъй като така се заглаждат крайните стойности. Анализите на база голям физикогеографски или административен район са полезни при разработване на стратегии или планове за развитие, но с конкретно практическо значение са локалните изследвания, които отразяват специфичните физикогеографски особености.

**Благодарности:** Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на Национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и финансирана от МОН (Споразумение № Д01-322/18.12.2019).

## ЛИТЕРАТУРА

- АЛЕКСАНДРОВ, В. (2005). Върху почвеното засушаване в България. [http://meteorology.meteo.bg/soil\\_drought\\_1.pdf](http://meteorology.meteo.bg/soil_drought_1.pdf). Достъпен на 03.09.2020 г.
- АЛЕКСАНДРОВ, В. (2006). Мониторинг на почвеното засушаване, [http://meteorology.meteo.bg/soil\\_drought\\_3.pdf](http://meteorology.meteo.bg/soil_drought_3.pdf) Достъпен на 08.09.2020 г.
- АЛЕКСАНДРОВ, В. (2011). *Сушата в България*. Брошура Център за управление на засушаването в Югоизточна Европа ЦУЗЮЕ, с. 44.
- КИРОВ, К. (1930). Сушата в България. *Сведения по земеделието*, бр. 3-4, март-април, 94-106.
- КОЛЕВА Е. (1988). Особенности в разпределението на валежите в равнинната част на България, *Проблеми на метеорологията и хидрологията*, кн.2, 41-48.
- МИТКОВ С., ТОПЛИЙСКИ Д. (2017). Изменение на климата в България, представено чрез комплексни индекси. *Год. СУ, ГГФ*, 2, 110, 25–38.
- ПОПОВА З. (2012). *Оценка на уязвимостта към засушаване чрез модели на продуктивността на селскостопанските култури*. Брошура Център за управление на засушаването в Югоизточна Европа ЦУЗЮЕ /DMCSEE/ Резюме от резултатите от проекта, 39-55. ИПАЗР Н. Пушкаров, ISBN: 978-954394-102-5.
- ПОПОВА, З., ИВАНОВА, Л. С. ПЕРЕЙРА, К. БОНЕВА, К. ДОНЕВА, В. АЛЕКСАНДРОВ, М. КЕРЧЕВА, П. АЛЕКСАНДРОВА. (2014) Оценка на риска от промени на климата и уязвимост към суша в зоната на Черноземите, Северна България. *Почвознание агрохимия и екология*, год. XLVIII, № 3-4, 90–105.
- РАЕВ И., KNIGHT G.C., STANEVA M. (2003). *Засушаването в България съвременен аналог за климатични промени /природни, икономически и социални измерения на засушаването 1982–1994 г./*, БАН Академично издателство "Проф.Марин Дринов", с. 284.
- СЛАВОВ Н., КОЛЕВА ЕК, АЛЕКСАНДРОВ, В., (2003). Климатични особености на засушаването. *В Засушаването в България – съвременен аналог на климатични промени*. Ред. Раев И. С., БАН, 38–50.
- ХРИСТОВА, Н., ИВАНОВА, Е. (2018). Оценка и географско разпределение на речния отток през 2000/2001 година. *Год. СУ, ГГФ*, 2, 110, 39–51.

- ЧИЛИКОВА-ЛЮБОМИРОВА, М. (2013). Засушаване – политики и мерки в хидроложки аспект. *Проблеми на географията*, кн. 3-4, 69–82.
- AGNEW, C., ANDERSON, W. (1992). *Water in the arid realm*. University College, Univ. London, UK. p. xvi + 329.
- AFONSO DO Ó. (2005). Regional Drought Analysis and Mitigation Using the SPI. *ICID 21st European Regional Conference 2005 - 15-19 May 2005 - Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland*.
- ALEXANDROV, V., ST. RADEVA and E. KOLEVA. (2011). Utilization of Standardised Precipitation Index, Palmer Drought Severity Index and Reconnaissance Drought Index as drought indicators in drought Bulgaria. *11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011 Conference Proceedings/ ISSN 1314-2704, June 20-25, 2011, Vol. 2, p. 969-976*.
- ALEXANDROV V., RADEVA S. (2010). SPI as an indicator of drought in South Bulgaria. In: López-Fran cos A.(comp.), López-Fran cos A. (collab.). *Economics of drought and drought preparedness in a climate changecontext*. Zaragoza: CIHEAM / FAO / ICARD A / GD AR / CEIGRAM / MARM, 2 01 0. p. 11 3-11 5 (OptionsMéditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 95).
- ALEXANDROV, V., M. SCHNEIDER, E. KOLEVA, and J.-M. MOISSELIN. (2004). Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology*, v.79, No 3-4, p. 133-149.
- DAI, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nat. Clim. Chang.*, 3, 52–58
- DAKOVA, S. (2004). Low flow and drought spatial analysis. *BALWOIS conference*, Ohrid, 25–29 May 2004. CD version
- GOCHEVA A., MALCHEVA K., MARINOVA T. (2010). Some drought indices for the territory of Bulgaria. *Bul. J. Meteo & Hydro* 15/3, p. 88–96.
- ILCHEVA I., D.GEORGIEVA, A.YORDANOVA, (2015). New Methodology for joint assessment of drought-risk of water supply under climate change, water stress areas identification and ecological flow provision for WFD. *Journal of International Scientific Publications, Ecology & Safety*, ISSN 1314-7234, Volume 9, p. 413-433.
- KNIGHT C. G, RAEV, I., & STANEVA M. P. (2004). *Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog for Climate Change*. Routledge, 352, ISBN 9781138622074.
- KOLEVA E., V. ALEXANDROV. (2008). Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology* 92, p. 113–120.
- MC KEE T. B., DOESKEN, N. J., & KLIEST, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8-th Conference on Applied Climatology*. 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society. Boston. MA, p. 179-184.
- MOTIEVA M., KAZANDJIEV V.,GEORGIEVA V. (2010). Climate change and the hydrothermal and evapotranspiration conditions in the planning regions of Bulgaria. *Fourteenth International Water Technology Conference*, IWTC 14 2010, Cairo, Egypt. p. 3–14.
- NIKOLOVA, N. (2013). *The Impact of the Drought on the Main Crops Cultivated in the Northeast Bulgaria*. *Forum geografic*, XII (1), p. 16-24. doi: 10.5775/fg.2067-4635.2013.016.
- NIKOLOVA, N , S. VASSILEV. (2005). Variability of Summer-Time Precipitation in Danube Plain, Bulgaria. *Зборник радова. Collection of Papers, N 54, Geographic Institute "Jovan Cvijic" Serbian Academy of Sciences and Arts*, Belgrade, p. 19–32.
- NIKOLOVA N., G. ALIEVA. (2011). Drought Periods in Danube River Plain (Bulgaria) in a Changing Climate. *Proceeding of International Scientific Conference Global Changes and Regional Development*, 16-17 April 2010, София.

- NIKOLOVA, N., G. ALIEVA, and I. VOISLAVOVA. (2012). Drought Periods in Non-Mountainous Part of South Bulgaria on the Background of Climate Change. *International scientific journal Geographica Pannonica*, Vol. 16, Issue 1 (2012), p. 18-25.
- NIKOLOVA N., RADEVA K. (2019). Data Processing for Assessment of Meteorological and Hydrological Drought. In: Murayama Y., Velev D., Zlateva P. (eds) *Information Technology in Disaster Risk Reduction*. ITDRR 2017. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 516. Springer, Cham, p. 145–160.
- PALFAI, I., SZILARD, G., and TOTH, L.M. (1998). *Drought forecasting as an aid to irrigation water management, Water and the environment – innovation issues in irrigation and drainage*. Ed. L.S.Pereira and J.Gowing, E&FN Spon., p. 422.
- PALMER, W. (1965). *Meteorological drought*. Research paper no.45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>. Accessed 28/08/2020.
- PETKOVA, N., E. KOLEVA, V. ALEXANDROV. (2008). Winter Climate Variability at Danube Plain, North Bulgaria. *XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Bled, Slovenia. 2 – 4 June 2008. Conference e-papers. ISBN 978-961-91090-2-1.
- POPOVA, Z., KERCEVA, M. (2002). Optimization of strategies to mitigate biological droughts consequences under wheat and maize in Bulgaria. *Journal of Balkan ecology*. Vol.5, №1, p. 48-58.
- POPOVA, Z., KERCEVA, M. (2005). CERES model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning - *Risk analyses. Physics and Chemistry of the Earth Parts A/B/C* 30 (1). p. 117-124.
- POPOVA, Z. M. IVANOVA, L. PEREIRA, V. ALEXANDROV, M. KERCEVA, K. DONEVA, D. MARTINS (2015). Droughts and Climate Change in Bulgaria: Assessing Maize Crop Risk and Irrigation Requirements in Relation to Soil and Climate Region. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 21 (No 1). Agricultural Academy, p. 35-53.
- POPOVA Z., M. IVANOVA, D. MARTINS, L. S. PEREIRA, K. DONEVA, V. ALEXANDROV, M. KERCEVA. (2014). Vulnerability of Bulgarian agriculture to drought and climate variability with focus on rainfed maize systems. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, Springer; International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol. 74 (2), p. 865-886.
- POPOVA, Z., PEREIRA L., IVANOVA M., PALEXANDROVA P., DONEVA K., ALEXANDROV V., KERCEVA M. (2011). Assessing drought Vulnerability of Bulgarian Agriculture through Model Simulations. *World Academy of Science, Engineering and Technology* Vol: 59, p. 11-26.
- RADEVA K., N. NIKOLOVA. (2020). Hydrometeorological Drought Hazard and Vulnerability Assessment for Northern Bulgaria. *Geographica Pannonica*, Vol. 24, Issue 2, p. 112.
- RADEVA K., N. NIKOLOVA, M. GERA (2018). Assessment of hydro-meteorological drought in the Danube Plain, Bulgaria. *Hrvatski geografski glasnik*, Vol.80 No.1, p. 7-25.
- STAGGE J. H., KOHN I, TALLAKSEN L. M., and STAHL K. (2015). Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. *Journal of Hydrology* 530, p. 37–50.
- TRAN L., KNIGHT, G. and WESNER, V. (2002). Drought in Bulgaria and atmospheric synoptic conditions over Europe. *GeoJournal* 57, 165–173.
- TRNKA, M.; HLAVINKA, P. and SEMENOV, M.A. (2015). Adaptation options for wheat in Europe will be limited by increased adverse weather events under climate change. *J. R. Soc. Interface* 2015, 12, 20150721.



TRNKA, M., OLESEN, J.E.; KERSEBAUM, K.C.; SKJELVAG, A.O.; EITZINGER, J.; SEGUIN, B.; PELTONENSAINIO, P.; ROTTER, R.; IGLESIAS, A.; ORLANDINI, S.; et al. (2011). Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Glob. Chang. Biol.* 2011, 17, 2298–2318. [CrossRef]

VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERHA, S. and LYPEZ-MORENO, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23, p. 1696–1718.

WILLIAMS-SETHUR, T., MACEK-ROWLAND, K. M., and EMERSON, D. G. (1994). Climatic and hydrologic aspects of the 1988–92 drought and the effect on people and resources of North Dakota, *North Dakota State Water Commission Water Resources Investigation*. Vol. 29, p. 57.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996

World Meteorological Organization (WMO) (1993). Drought and Desertification. *Report on the Eleventh Session of the Commission for Climatology*. Havana 1993, WMO/TD-No 605.