

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 111

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTY OF GEOLOGY AND GEOGRAPHY

Book 2 – GEOGRAPHY

Volume 111

КОЛЕБАНИЯ И КЛИМАТИЧНА ЕЛАСТИЧНОСТ НА ГОДИШНИЯ РЕЧЕН ОТТОК В БЪЛГАРИЯ

НЕЛИ ХРИСТОВА, ИВАН ПЕНКОВ, КАЛИН СЕЙМЕНОВ

Катедра Климатология, хидрология и геоморфология
e-mails: hristovaneli@abv.bg

Nelly Hristova, Ivan Penkov, Kalin Seymenov. FLUCTUATION AND CLIMATE ELASTICITY of ANNUAL STREAMFLOW IN BULGARIA

Assessment of annual streamflow is an important task of hydrology science and a significant indicator of climate change. The present study describes chronological changes, fluctuation, and sensitivity of streamflow to the climate of Bulgaria during 1997–2016. The work is based on publicly available data of annual water resources in the country. Statistical procedures and nonparametric estimator “climate elasticity” are applied. The obtained results indicate homogeneity and randomness of the time series of annual streamflow. The annual volume of water resources in 1997–2016 is very close to the referent periods, but with larger fluctuation, because the investigating period includes extreme wet and extremely dry years. The runoff coefficient is 0.24 and correlation between annual flow and precipitation is 0.66. Precipitation elasticity of annual streamflow of Bulgaria is 0,94 and for Lom River – between 0.46 (for the mountain part of catchment area) and 1.48 (for the plain part of river basin). Climate elasticity of annual flow implies that the streamflow would change on-average 9.4% or equal than the foresight of the model ALADIN. This results are confirmed by climate elasticity of streamflow in Lom catchment area. This work is the first estimation of the water resources during XXI century in Bulgaria and complements previous studies.

Kew words: annual streamflow, climate change, variability, climate elasticity, Bulgaria.

УВОД

Изучаването на изменчивостта на речния отток в условията на положителен тренд в изменение на температурата на въздуха и на промените в моделите на разпределение на валежите се основава през последните десетилетия на прилагането на нови

методични процедури – уейвлет трансформации (Smith et al., 1998; Nalley et al., 2012 и др.), фрактална диагностика (Kantelhardt *et al.*, 2006), detrended fluctuation analysis (DFA) във вариант Fourier-detrended fluctuation analysis (Chianca et al., 2005 и др.) и multifractal detrended fluctuation analysis (MFDFA) (Koscielny-Bunde et al., 2006; Hajian, Movahed, 2010; Rybski, *et al.*, 2011 и др.), change-point analysis (Burn, Elnur, 2002; Tan, Gan, 2015 и др.) и модели – ARMA/ARIMA, Soil and Water Assessment Tool (SWAT), Hydrological Bureau Water balance-section (HBV), TOPMODEL (Devi et al., 2015), StreamFARM model (Rebora et al., 2006; von Hardenberg et al., 2007), SWAT (Cuo et al., 2016) и др. Някои от посочените модели се прилагат за моделиране и прогнозиране на месечните и годишните водни обеми в отделни речни басейни – Божилова (2003), Йорданова (2003), Ribarova et al. (2008), Bojilova (2006, 2010, 2011, 2017), Nedkov, Artinyan (2017), Yordanova et al. (2017), на воднобалансовите елементи – Йорданова (2003, 2005), Artinyan et al. (2008), Няголов и др. (2014), Artinyan et al. (2017), на водните количества при наводнения – Ribarova et al. (2009), Mavrova-Guirguinova, Pencheva (2017) и др. Към тях се отнасят и моделите за определяне на годишния отток на основата на регионални зависимости на средногодишния отток от площта на речния басейн за хомогенни райони – Ранкова и Крумова (2016), Димитров и др. (2017), Ninov et al. (2017).

Друг подход за анализ на изменчивостта на оттока спрямо климатичните влияния е използването на различни индекси и показатели – коефициент на речния отток, климатична еластичност (*climate elasticity of streamflow*), Hurst exponent и др. Подобен подход използват Генов (2000, 2002, 2005), Герасимов и Божилова (2003), Герасимов и др. (2003, 2005), Герасимов и др. (2004), които анализират годишния отток до 2000 г., за 106-годишен период, през призмата на различни климатични сценарии. Представа за тенденциите в годишните колебания на водните ресурси до 2000 година дават още анализите на Лазаров и Зяпков (2003) и Няголов и др. (2012). Настоящата работа представлява продължение (до известна степен) на тези проучвания. Публичната хидрометрична информация през последните две десетилетия формира времеви ред с продължителност, репрезентативна за анализ на изменчивостта на годишния отток и неговата реакция на климатичните въздействия. В посочения контекст целта на настоящата работа е да анализира вариабилността и климатичната еластичност на речния отток в България за периода 1997–2016 г.

ИЗХОДНИ ДАННИ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Основа за настоящото изследване са публичните данни за речния отток, предоставяни от Министерство на околната среда и водите (МОСВ) в „Бюлетин за състоянието на водните ресурси на Република България“ от 2001 до 2009 г., от Изпълнителната агенция по опазване на природната среда (ИАОС) – във „Води – Състояние на водните ресурси и качеството на водите“ и от бюлетините „Състояние на реките“ (от 2006 до 2009 г.) и „Годишна хидрологична оценка на регистрирания отток“ от 2010 до 2016 г., публикувани от Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ). В Бюлетините на МОСВ се посочва, че годишният отток (в посочения период на публикуване) е изчисляван на основан на 18 наблюдателни пункта с обща площ 70 473 km², а водните

ресурси определяни от 15 ХМС с обща площ 80 660 km². В сведенията на НИМХ е отбелязано, че направените оценки се отнасят за регистрирания отток, „...който е по-малък от естествения, като разликата се задълбочава в сухите години – до 20 и повече процента“. Редиците от средногодишния отток ($Q_{\text{ср.г}}$ в m³×10⁶) са получени от наблюдения на водните обеми в долните течения на главните реки и не включват сведения за речни водосбори без хидрометрични постове (Ранкова, Крумова, 2016). Бюлетините на НИМХ съдържат оценка за измененията на годишния отток спрямо норми за 30-годишни периоди с различни начални и крайни години – 1960–1990, 1971–2000, 1981–2010, както и за предходни години. За най-представителен се препоръчва периодът 1971–2000, възприет и в повечето европейски страни. Ninov et al. (2017) предлагат нов референтен период – 1981–2015, който според авторите включва измененият отток под влияние на антропогенната дейност и е установен постоянно за територията на страната. От 2013 г. НИМХ, МОСВ и Изпълнителната агенция „Проучване и поддръжане на река Дунав“ (ИАППД) към Министерство на транспорта публикуват данни за възобновяемите пресни водни ресурси в България (с и без оттока на р. Дунав), валежите, евапотранспирацията и подземните води. Средно многогодишният речен отток е изчислен за периода 1981–2015. Внимателният прочит на бюлетините открива редица несъответствия между хидрометричните данни, посочени от трите източника на информация, неточности относно нормите за референтните периоди, отклоненията (в %) спрямо предходната година и др. Данни за годишния речен отток са публикувани и в „Национална стратегия за развитие на водния сектор“, 2012 г. Крайният резултат от направеното проучване е оформянето на времеви ред от годишен речен отток с дължина 20 години (1997–2016) за територията на страната. Хидрометричната информация е за календарна година. Стойностите на годишния отток за изчислителния период се сравняват с трите референтни периода, посочени в бюлетините на НИМХ.

За коректен анализ на вариабилността и климатичната еластичност на речния отток, времевите редове от годишни водни обеми и валежи са оценявани за еднородност – чрез двойносомарната крива, за случайност – чрез непараметрични статистически критерии, за сходство в разпределението на двете редици – по критерия на Уилкоксон (*Wilcoxon signed-rank test*). Корелационният коефициент валежи-речен отток е определен на основата на регресионния анализ, по коефициента на Pearson (Pearson-Brave).

Климатичната еластичност на речния отток (Sankarasubramanian et al., 2001), наричана *sensitivity factor* от Schaake, 1990, Dooge, 1992 и от Dooge et al., 1999, *magnification factor* – от Kuhnelt et al., 1991 (цит. по Sankarasubramanian et al., 2001) и *precipitation elasticity of streamflow* – от Chiew, et al., 2006), се дефинира като пропорционално изменение на речните водни обеми (Q) спрямо вариабилността на валежите (P) по израза:

$$(1) \varepsilon_p(P, Q) = \frac{dQ/Q}{dP/P} = \frac{dQ}{dP} \frac{P}{Q},$$

трансформиран от Sankarasubramanian et al. (2001) в непараметричния индикатор:

$$(2) \varepsilon_p = \text{median} \left(\frac{Q_i - \bar{Q}}{P_i - \bar{P}} \frac{P}{Q} \right).$$

Fu et al. (2007) предлагат двупараметричен индикатор, който е по-надежден според Allaire et al. (2015) и Tsai (2016), а Andr assian et al. (2017) въвеждат абсолютна и относителна климатична еластичност на речния отток.

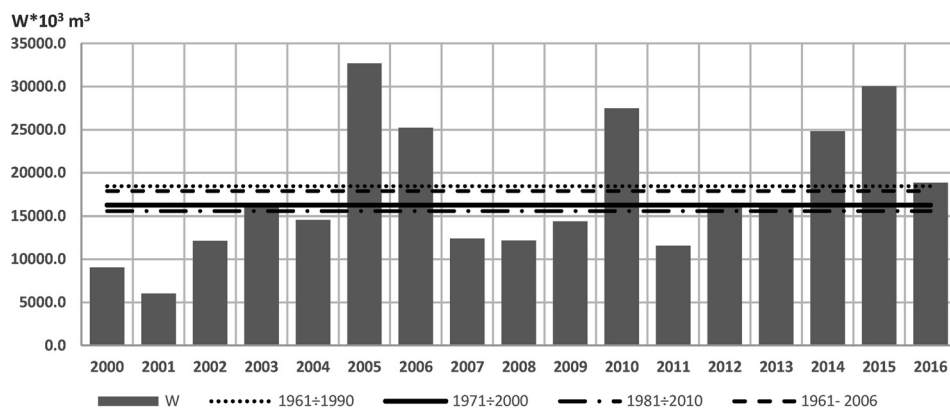
РЕЗУЛТАТИ

Предварителният статистически анализ удостоверява хомогенност (на основата на двойносомарнатата крива и на резултатите от Pettitt's test, Standard Normal Homogeneity Test – SNHT test, Buishand's test и von Neumann test, при всички от които $p \geq \alpha$), случайност (чрез one-sample runs test и по критерия за значимост на коефициентите на автокорелация) и лог-нормално разпределение (установено чрез теста на Shapiro-Wilk – статистиката $W = 0.926$, $p = 0,184$ или $p > 0,05$, Q–Q плотът и емпиричната хистограма) на времевия ред от годишни стойности на речния отток. Същият анализ установява еднородност на редиците от речен отток и валежи (по параметричните тестове на Стюдънт и F -тест на Фишер и на непараметричните тестове на Mann-Whitney – U test и на Wald-Wolfowitz) и сходство на емпиричните разпределения на (по теста на Уилкоксон – p (0,0001) е по-малка от нивото на значимост $\alpha = 0,05$).

Средно многогодишната стойност на регистрирания речен отток за 2000–2016 г. е $17\,568,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (с грешка 6,7 при коефициент на вариация 0,37) и е най-близо до нормата за 1961–2006 г. ($17\,891 \cdot 10^3 \text{ m}^3$), както и до тази, изчислена за 106-годишен период от Герасимов и др. (2003) – 198,84 mm (които, трансформирани в обем, дават $17\,604 \cdot 10^3 \text{ m}^3$). Посоченото сходство намира своето обяснение с включването в изчислителния период на години с екстремна водност, определени като такива спрямо теоретичните криви на обезпеченост за 30-годишния период 1945/46–1974/75 (Хидрологичен справочник..., 1982). Средно многогодишният отток за 2000–2016 е по-малък от определения от Бецински (1990) – 20,16 млрд. m^3 за 1945/1946–1974/1975, от нормите за 1950/1951–1989/90 – $19\,352 \cdot 10^3 \text{ m}^3$, за 1960/1961–1989/1990 – $18\,391 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ (цит. по Лазаров, 1996) и 1974–2008 г. – 18,085 млрд. m^3 (Национална стратегия за управление..., 2012). Отклоненията от посочените норми не превишават 10% и дават основание средно-многогодишният речен отток на територията на страната да се оцени като относително устойчив, с обем между 17,0–18,0 и 20,0 млрд. m^3 . Коефициентът на вариация (C_v) е 0,43, по-голям спрямо посочените 30-годишни периоди, за които варира между 0,31 и 0,34. Установената вариабилност на годишния отток за 1997–2016 г. се обяснява с по-малката дължина на редицата от една страна и с включването във времевия ред на членове с много малка повтораемост.

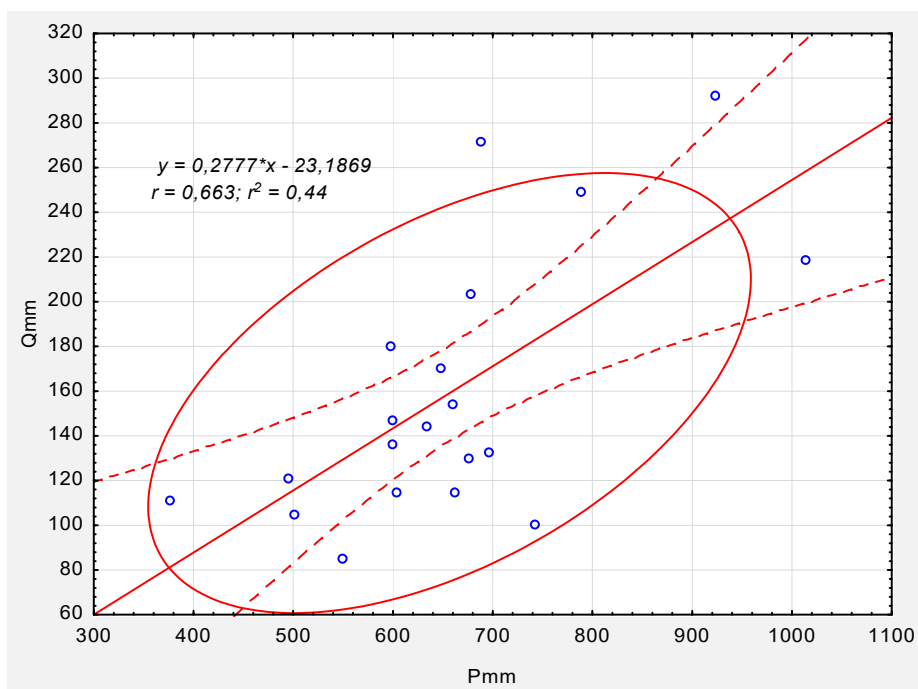
Водните обеми през 1998–2016, съотнесени спрямо нормата за 1961÷1990, 1971÷2000, 1981÷2010 и 1961÷2006, определят за многоводни годините 2005, 2015, 2010, 2006 и 2014 (по реда на тяхната обезпеченост – $p \leq 25\%$), за маловодни – 2001, 2000, 2011, 2002 и 2008 г. (по реда на тяхната обезпеченост – $p \geq 75\%$), а останалите години – за средноводни години (фиг. 1).

Най-големи отклонения от нормата за посочените референтни периоди се регистрират през 2005 г., когато превишението на оттока е над 200%, и през 2001 г., с воден обем, който съставлява около 30% от нормата. Степента на водност се откроява добре и при K -mean клъстеризацията. При зададени пет клъстера, се обособяват две групи



Фиг. 1. Хронологичен ход на годишния отток за 2000–2016 и нормата за различни периоди (по данни от НИМХ, <http://hydro.bg/bg/data/reki>)

Fig. 1. Annual streamflow for 2000–2016 and for different others periods (source NIMH)



Фиг. 2. Зависимост между валежите и речния отток за 1997–2016

Fig. 2. Precipitation-Streamflow relationships for 1997–2016

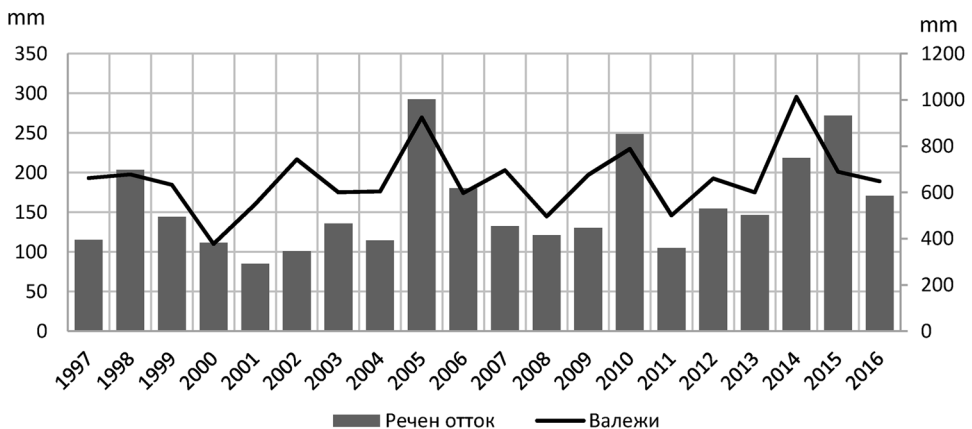
многоводни години – 2005 и 2015 и 2006, 2010, 2014. В самостоятелна група се отделя много сухата 2001 г., и сухите години 2000, 2002, 2007, 2008 и 2011, средноводните години – 2003, 2004, 2009, 2012, 2013, 2016.

Проследяването на връзката валежи – отток за изследвания период установява средна зависимост между двете изследвани величини – коефициентът на корелация по Pearson – 0,663, е статистически значим при 0,01 и двустранен критерий. Полученият резултат се обяснява със съотнасянето на валежите и повърхностните води в календарна, а не в хидроложка година. Графичната зависимост между двете изследвани величини е представена чрез 95%-доверителни интервали (фиг. 2).

Подобна тясна зависимост валежи-речен отток се установява за многогодишния им ход през изследвания изчислителен период (фиг. 3).

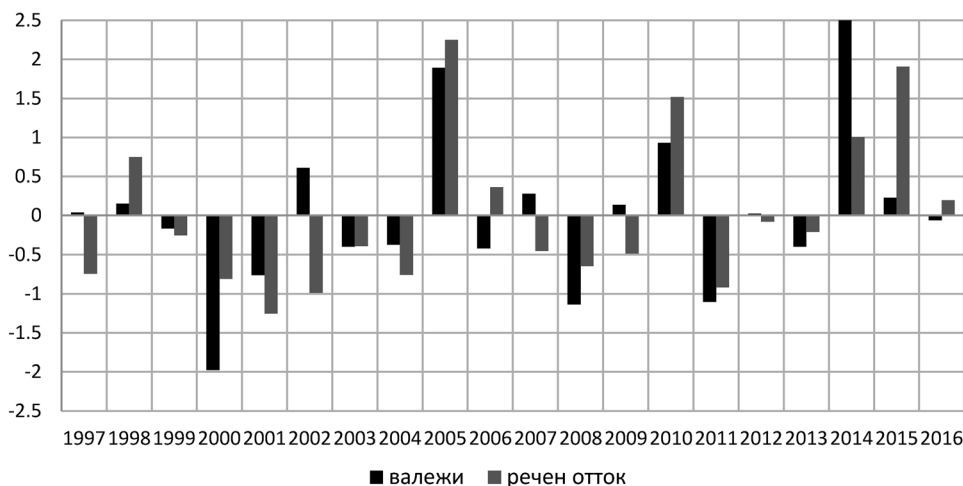
Сходството в многогодишния ход на валежите и речния отток на територията на страната за 1997–2016 се доказва и чрез съпоставяне на стандартизирани отклонения на годишните им стойности (фиг. 4). Наблюдаваните непреки съответствия между изследваните величини – през 1997, 2002, 2006, 2007, 2009 и 2016 г., се дължат на непълното трансформиране на валежите в отток през календарни години.

Коефициентът на оттока е 0,24 и варира от 0,14 (2001) до 0,39 (2015), с $C_v = 0,26$. Неговата стойност е по-ниска от получената за периода 1935–1955 – 0,27 (Панайотов, 1961) и по-висока от тази за периода 1981–2015 – 0,22 (определена по данните за средната стойност на валежите и речния отток за посочения период). Отточният коефициент удостоверява устойчиво и постоянно съотношение между валежите и речния отток на територията на страната и слабо увеличаване на евапотранспирацията с малка вариабилност.



Фиг. 3. Хронологичен ход на валежите и речния отток за 1997–2016

Fig. 3. Annual precipitation and annual streamflow for 1997–2016



Фиг. 4. Стандартизирани отклонения на валежите и речния отток за 1997–2016

Fig. 4. Standardize data of precipitation and streamflow for 1997–2016

Средната многогодишна стойност на климатична еластичност на речния отток, или на неговото пропорционално изменение спрямо вариабилността на валежите, е 0,94 и сходна с резултатите, получени от Sankarasubramanian and Vogel (2003) за 1337 речни басейна в САЩ, от Chiew et al. (2006) за 521 водосбора в света (и най-вече с тези от средните и големите географски ширини на Северното полукълбо), и от Tsai (2017) за източните части на САЩ. Получената стойност на ε_p показва, че изменение на годишното количество на валежите с 10% ще предизвика изменение на речния отток с 9,4%. Климатичната еластичност на речния отток е с голяма неустойчивост за анализирания период – $C_v = 0,45$. Връзките между стойностите на ε_p с валежите, с речния отток и с коефициента на оттока показват, че абсолютните промени на речния отток за дадена абсолютна промяна на валежите ще бъде отразена като по-голяма еластичност в речни басейни с по-нисък отточен коефициент. Според климатичните сценарии за България, разработени в НИМХ-БАН (модел ALADIN), през периодите 2013–2042 г., 2021–2050 г., и 2071–2100 г., речният отток ще намалее с –9,3% спрямо нормата за 1976–2005 г. (Александров, 2014). Полученият резултат за ε_p в настоящата работа показва сходно изменение. За потвърждение на получените резултати се използват данните за годишните валежи и отток в речния басейн на р. Лом за период от 54 години (1960–2014). В планинската част на водосбора $\varepsilon_p = 0,46$, а в равнинната част е 1,48. Този фрагмент от климатичната еластичност на годишния отток в речните басейни очаквано удостоверява по-малки изменения на речните водни обеми при изменения на годишните валежни суми в планинските водосбори в сравнение с равнините и се нуждае от допълнителни изследвания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на годишния речен отток за 1997–2016 г., формиран на територията на страната, показва, че средногодишният воден обем – $17\,568,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ е най-близък до нормата за 1961–2006 г., сходен по вариабилност за други изчислителни периоди, без закономерности в редуването на маловодни, средноводни и многоводни години. Изменчивостта на годишните водни обеми за 1997–2016 г. е в съответствие с колебанията на валежите и средномногогодишен отточен коефициент 0,24, свидетелстващ за слабо увеличение на изпарението. Климатичната еластичност на годишния речен отток в България е 0,94 и показва абсолютно намаление/увеличение на годишните водни обеми с 9,4% при съответно намаление/увеличение на годишните валежни суми.

Настоящата работа е първата оценка на годишните водни обеми на територията на страната след 2000 г. и допълва досегашните изследвания за годишния речен отток. Определената климатична еластичност на речния отток дава нова информация за възможните изменения на хидрологичните процеси в България.

SUMMARY

Assessment of annual streamflow is an important task of hydrology science and a significant indicator of climate change. The present study describes chronological changes, fluctuation, and sensitivity of streamflow to the rainfall of Bulgaria during 1997–2016. The work is based on publicly available data of annual water resources in the country. Statistical procedures and nonparametric estimator “climate elasticity” are applied. The obtained results indicate homogeneity and randomness of the time series of annual streamflow. The mean value of streamflow in 1997–2016 is very close to the referent periods, but with larger fluctuation, because the investigating period includes extreme wet and extremely dry years. The runoff coefficient is 0.24 and correlation between annual flow and precipitation is 0.66. Precipitation elasticity of annual streamflow of Bulgaria is 0.94 and for Lom River – between 0.46 (for the mountain part of catchment area) and 1.48 (for the plain part of river basin). Climate elasticity of annual flow implies that the streamflow would change on-average 9.4% or equal than the foresight of the model ALADIN. This results are confirmed by climate elasticity of streamflow in Lom catchment area. This work is the first estimation of the annual streamflow during XXI century in Bulgaria and complements previous studies.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров, В. 2014. Климатични промени в България: минало, настояще и бъдеще. Достъпна на адрес: <http://catrisk.insmarket.eu/docs/Veselin-Alexandrov.pdf>
- Безински, П. 1990. Обезпеченост на страната с водни ресурси. – В: Втора национална конференция по хидрология и хидроложки аспекти на водностопанските проблеми, 12–15 май 1987. С., УИ „Кл. Охридски“, 28–34.
- Божилова, Е. 2003. Приложимост на дизагрегационните модели към условията на речния отток в България. Дисертация. Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/publication/287632587_PRILOZIMOST_NA_DIZAGREGACIONNITE_MODELI_KM_USLOVIATA_NA_REC_NIA_OTTOK_V_BLGARIA
- Генев, М. 2000. Колебания на годишните температури, валежи и отток в Южна България (Егейски водосборен басейн). – *Техническа мисъл*, XXXVII, 227–232.

- Генев, М. 2002. Колебания на речния отток. – В: География на България. С., ФорКом, 227–232.
- Генев, М. 2005. Тенденции в колебанията на речния отток на България. – Първа международна конференция с техническо изложение по водни ресурси, технологии и услуги – БУЛАКВА 2005 (7–10. 06. 2005, София), 286–295.
- Герасимов, С., Е. Божилова. 2003. Потенциал на водните ресурси на България и тенденции на изменение. – *Сп. БАН*, 3, 9–18.
- Герасимов, С., М. Генев, Е. Божилова, Т. Орехова. 2004. Водните ресурси през периода на засушаването 1892–1994 г. Вероятни сценарии за бъдещо развитие. С., Херон прес, 17–79. Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/publication/287596035_Vodnite_resursi_na_Blgaria_prez_perioda_na_zasusavaneeto_1982-1994_Veroatni_scenarii_za_bdeso_razvitiie
- Димитров, Д., М. Ранкова, К. Крумова. 2017. Анализ на статистическите оценки на водните ресурси. – *Водно дело*, 1/2, 2–11.
- Йорданова, А. 2003. Моделиране на речния отток с помощта на периодичен ARMA модел. – *Водни проблеми*, 2.
- Йорданова, А. 2005. Приложение на ARMA моделите за прогнозиране на речния отток. – *Водни проблеми*, 35.
- Лазаров, К., Л. Зяпков. 2003. Структурни елементи и тенденции в годишните колебания на естествените ресурси от повърхностни води на Република България. – *Сп. БАН*, 4, 3–10.
- Национална стратегия за развитие на водния сектор. 2012. Достъпна на адрес: <http://www3.moew.government.bg/?show=top&cid=569>.
- Няголов, И., А. Йорданова, И. Илчева. 2012. Състояние на водните ресурси и използването им в РБългария. – *Минно дело*, 9.
- Няголов, И., И. Илчева, А. Йорданова, В. Захаријева, Д. Георгиева. 2014. Средства за подпомагане вземането на решения при управление риска за водоснабдяването при засушаване и климатични промени. – *Годишник на УАСГ*, XLVII, I-A, 105–113. Достъпна на адрес: <http://lib.uacg.bg/ft/STA/F0004598.PDF>.
- Панайотов, Т. 1961. Средномногогодишен отток. – В: *Хидрология на България*, С., Наука и изкуство, с. 115.
- Ранкова, М., К. Крумова. 2016. Възможности за оценка на ресурсите от повърхностни води в България – *Водно дело*, 1/2, 22–26.
- Allaire, M. C., R. M. Vogel, C. N. Kroll. 2015. The hydromorphology of an urbanizing watershed using multivariate elasticity. – *Adv. Water Resour.* 86 (Part A), 147–154.
- Andréassian, V., L. Coron, J. Lerat, N. Le Moine. 2016. Climate elasticity of streamflow revisited – an elasticity index based on long-term hydrometeorological records. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 4503–4524.
- Artinyan, E., D. Dimitrov, K. Kroumova, M. Rankova. 2017. Annual water resources assessment using different observations and models. – В: *Danube conference 2017*. 215–222. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Artinyan, E., F. Habets, J. Noilhan, E. Ledoux, D. Dimitrov, E. Martin, P. Le Moigne. 2008. Modelling the water budget and the riverflows of the Maritsa basin in Bulgaria. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 21–37. Достъпна на адрес: <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/21/2008/>
- Bojilova, E. 2006. Integrated river basin modelling, Bulgarian case study. – В: *HydroEco 2006 – Karlovy Vary, Czech Republic*; Kovar-Hrkal-Bruthans (eds.). Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/publication/320467146_INTER-ANNUAL_DISTRIBUTION_FOR_YANTRA_RIVER_BASIN_NORTH_BULGARIA
- Bojilova, E. 2010. Upper Yantra river basin modeling. – *Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology* (BJMH), 15, 3, 93–104.
- Bojilova, E. 2011. Flow modeling of the Yantra river, Bulgaria, XXV conference of the Danubian countries, June 2011, abs. 155, full text on USB, Editors: G. Balin and M. Domonkos. Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/publication/287198786_FLOW_MODELING_OF_THE_YANTRA_RIVER_BULGARIA
- Bojilova, E. 2017. River basin modeling under future climate conditions. impact approach. Part I. – В: *Danube conference 2017*. 558–569. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Burn, D. H., M. A. Elnur. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. – *J. Hydrol.*, 255 (1–4), 107–122. Достъпна на адрес https://rmgsc.cr.usgs.gov/outgoing/threshold_articles/Burn_Elnur2002.pdf
- Chianca, C.V., A. Ticona, T.J.P. Penna. 2005. Fourier-detrended fluctuation analysis. – *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 357, 3, 447–454. Достъпна на адрес: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03784371/357>
- Chiew, F. H. S., M. C. Peel, T. A. McMahon, L. W. Siriwardena. 2006. Precipitation elasticity of streamflow in catchments across the world. – В: *Climate Variability and Change*, Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308, 2006, 256–262. Достъпна на адрес: <https://iahs.info/uploads/dms/13670.49-256-262-08-308-Chiew.pdf>

- Fu, G., S. P. Charles, F. Chiew. 2007. A two-parameter climate elasticity of streamflow index to assess climate change effects on annual streamflow. – *Water Resour. Res.*, 43 (11), W11419. Достъпна на адрес: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007WR005890/full>
- Guo, J., X. Su, V. Singh, J. Jin. 2016. Impacts of climate and land use/cover change on streamflow using SWAT and a separation method for the xiying river basin in Northwestern China. – *Water*, 8, 192, 1–14. Достъпна на адрес: <https://pdfs.semanticscholar.org/f75f/bf2798d3f1e37c29594d9c3104032098359a.pdf>
- Hajian, S., M. S. Movahed. 2010. Multifractal detrended cross-correlation analysis of sunspot numbers and river flow fluctuations. – *Phys. A Stat. Mech. Appl.*, 389, 4942–4957. DOI: 10.1016/j.physa.2010.06.025
- Kantelhardt, J.W., S. A. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, S.Havlin, A. Bunde, H. E. Stanley. 2002. Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series. – *Phys. A Stat. Mech. Appl.*, 316, 87–114.
- Koscielny-Bunde, E., J. W. Kantelhardt, P. Braun, A. Bunde, S. Havlin. 2006. Long-term persistence and multifractality of river runoff records: Detrended fluctuation studies. – *J. Hydrol.*, 322, 120–137. Достъпна на адрес: http://havlin.biu.ac.il/PS/55-06-J_Hydrol_322_120.pdf
- Mavrova-Guirguinova, M., D. Pencheva. 2017. Ann model for flood risk identification: Sevlievo, Bulgaria. – В: Danube conference 2017. 265–268. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Nalley, D., J. Adamowski, B. Khalil. 2012. Using discrete wavelet transforms to analyze trends in streamflow and precipitation in Quebec and Ontario (1954–2008). – *J. Hydrol.*, 475, 204–228. Достъпна на адрес: https://www.mcgill.ca/bioeng/files/bioeng/using_discrete_wavelet_transforms_to_analyze_trends_in_streamflow_and_precipitation_in_quebec_and_ontario_1954-2008.pdf
- Nedkov, N., E. Artinyan. 2017. Modeling and forecasting of the riverflow in lower course of Osam, Vit and Ogosta rivers. – В: Danube conference 2017. 245–251. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Ninov, P., Karagiozova, T., Bojilova, E., Todorova, N., Krumova, K., Todorova, N., Dobрева, R., Boeva, A., Ivanova, R., Rankova, M. 2017. Update of the technological scheme for assessment of surface water resources on the territory of Bulgaria. – В: Danube conference 2017, 191–200. Достъпна на адрес: http://www.danube-conference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Rebora, N. L. Ferraris, J. von Hardenberg, A. Provenzale. 2006. The RainFARM: rainfall downscaling by a filtered auto regressive model. – *J. Hydrometeorol.*, 7 (4), 724–738. Достъпна на адрес: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM517.1>
- Ribarova I., Pl. Ninov, K.A. Daniell, N. Ferrand, M. Hare. 2008. Integration of Technical and Non-Technical Approaches for Flood Identification. – In: Lambert, Martin (Ed.); Daniell, TM (Ed.); Leonard, Michael (Ed.). Proceedings of Water Down Under 2008. Modbury, SA: Engineers Australia; Causal Productions, 2008: 2598–2609. Достъпна на адрес: <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=594199174447029;res=IELE NG, ISBN: 0858257351>
- Ribarova, I., P. Ninov, F. Melone, T. Moramarco, N. Berni. 2009. Comparison of eight rainfall-runoff models for flood simulations. – In: Intergrating water systems – Voxall&Maksimovic, Taylor&Francis group, ISBN 978-415-54851-9, London, 2009. Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/profile/T_Moramarc/publication/254864746_Comparison_of_eight_rainfall-runoff_models_for_flood_simulations/links/004635201f5562b9ef000000/Comparison-of-eight-rainfall-runoff-models-for-flood-simulations.pdf?origin=publication_list
- Rybski, D., A. Bunde, S. Havlin, J.W. Kantelhardt, E. Koscielny-Bunde. 2011. Detrended fluctuation studies of long-term persistence and multifractality of precipitation and river runoff records. – In *Extremis*, Springer, 216–248. Достъпна на адрес: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-14863-7_11
- Sankarasubramanian, A., R. M. Vogel, J. F. Limbrunner. 2001. Climate elasticity of streamflow in the United States. – *Water Resour. Res.*, 37, 1771–1781. Достъпна на адрес: <http://water.columbia.edu/files/2011/11/Sankar2001ClimateElasticity.pdf>
- Smith, L. C., D. L. Turcotte, B. L. Isacks. 1998. Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. – *Hydrological Processes*, 12, 233–249. Достъпна на адрес: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.502.2343&rep=rep1&type=pdf>
- Tan, X., T.Y. Gan. 2015. Nonstationary analysis of annual maximum streamflow of Canada. – *Journal of Climate*, 28, 1788–1805. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00538.1>
- Tsai, Y. 2017. The multivariate climatic and anthropogenic elasticity of streamflow in the Eastern United States. – *Journal of Hydrology, Regional Studies*, 9, 199–215. Достъпна на адрес: https://www.researchgate.net/publication/311961980_The_multivariate_climatic_and_anthropogenic_elasticity_of_streamflow_in_the_Eastern_United_States

- von Hardenberg, J., L. Ferraris, N. Rebora, A. Provenzale. 2007. Meteorological uncertainty and rainfall downscaling. – *Nonlin. Process. Geophys.*, 14, 193–199. Достъпна на адрес: <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00303055/document>
- Yordanova, A., I. Niagolov, I. Ilcheva. 2017. Aspects of stochastic modeling in water resource management. – In: Danube conference 2017. 269–279. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf
- Yordanova, V., Sn. Balabanova, V. Stoyanova. 2017. Application of the TOPKAPI model on the Ogosta River Basin. – In: Danube conference 2017. 357–364. Достъпна на адрес: http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf

Интернет сайтове:

<http://www.moew.government.bg/bg/vodi/byuletin-za-sustoyanieto-na-vodnite-resursi/> Бюлетин за състоянието на водните ресурси.

<http://hydro.bg/bg/data/reki> Национален институт по метеорология и хидрология (НИМХ)

<http://eea.government.bg/> Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС)

Постъпила март 2018 г.