

Нели Христова, e-mail: nelly_hristova@gea.uni-sofia.bg
Олга Ничева, e-mail: olganitcheva@yahoo.com
Поля Добрева, e-mail: polya2006@yahoo.com

ПРОСТРАНСТВЕНО - ВРЕМЕВО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА НЕДОСТИГА НА ВОДИ ЧРЕЗ FALKENMARK INDEX

SPATIAL - TIME DISTRIBUTION OF WATER SCARCITY BY FALKENMARK INDEX

Nelly Hristova, Olga Nicheva, Polya Dobrev

Summary: This work, based on Falkenmark Index (FI), calculated the major drainage basins in Bulgaria for dry (75 % probability of annual streamflow) and very dry (95 % probability of annual streamflow) years during 1934 and 2017. The results show that there are several catchment areas where during dry and very dry years (FI is less than $500 \text{ m}^3 \text{ cap}^{-1} \text{ year}^{-1}$) there is absolute water scarcity – Rusenski Lom River, Provadiyska River, Aitoska River, and Hadjiiska River. The drainage basins without water stress in dry and very dry years (FI above $1700500 \text{ m}^3 \text{ cap}^{-1} \text{ year}^{-1}$) are the following – Ropotamo River, Arda River, Mesta River, and Struma River. This work is the first estimation of the water resources by Falkenmark indicator in Bulgaria.

Key words: water resources, Falkenmark Index, river basin, dry year

Увод

Оценката за степента на обезпеченост с пресни води продължава да бъде предизвикателство пред хидроложката наука и водностопанската практика, пред моделите за управление на водните ресурси, пред водната сигурност и водното законодателство. Проблемите произтичат от многоцелевото използване на водите, от неравномерното им пространство-времево разпределение, от вариращите структура и динамика на водоползването, от сложните взаимодействия на водните и екологичните системи [1]. Един от подходите, чрез който се анализира обезпечеността с пресни води, се основава на индексите за недостиг на вода – физически недостиг и/или икономически недостиг [2]. Показателите за оценка на недостиг или наличност на води се определят като инструменти, които дават възможност за измер-

ване и сравняване и които могат да бъдат използвани в процесите на вземане на решения и разработване на политика в областта на водите [3]. През последните няколко десетилетия в хидроложките проучвания се предлагат и тестват голям брой индекси, насочени към оценка на нуждите от питейни води, към уязвимостта на водните ресурси, към екологичните изисквания за водата и др. – Water Stress Indicator [4,5], Vulnerability of Water Systems [6], Water stress index [7], Water Poverty Index – WPI [8,9], Water Stress Index – WSIEWR [10] и др. Обширните прегледи за предимствата и недостатъците на индексите за недостиг на вода открояват като проблеми за тяхното прилагане различната пространствена и времева скала на данните за водните ресурси и за потреблението, достъпността до хидроложка информация за ежедневен и

месечен речен отток и др. [11, 12, 13, 14, 15 и др.]. Във всички тях се посочва като най-широко използван показателят за водните ресурси на глава от населението, измерван като съотношение на възобновяемата вода в хидроложкия цикъл и броя на хората, известен още като индикатор Falkenmark (1989), или индекс на водния стрес. Оценките за воден стрес на водните ресурси в страната се отнасят за териториите на басейновите дирекции по управление на водите и се определят чрез праговите стойности на индикатора експлоатационен воден индекс – WEI + (процентът на използваната прясна вода в сравнение с общите налични възобновяеми сладководни ресурси): по-малък от 10 % – няма воден стрес; при 10 %-20 % – нисък стрес; и при повече от 20 % – воден стрес [16]. Индикатори, основани на използването на водните ресурси, са предложени и от други автори. Целта на настоящата работа е да анализира териториалното разпределение на водните ресурси чрез индикатора на Falkenmark (1989) по речни басейни през сухи и много сухи години.

Методи на изследване

Индексът на воден стрес (FI), предложен от Falkenmark (1986), има вида:

$$(1) FI = \frac{W}{N},$$

където: W е обемът на годишния речен отток (m^3); N – броят на населението в речния басейн.

Оценката за степента на обезпеченост с водни ресурси на човек за година е направена на основата на праговите стойности: $>1700 m^3/човек/год.$ – без воден стрес; $1000-1700 m^3/човек/год.$ – воден стрес; $500-1000 m^3/човек/год.$ – недостиг на вода; $< 500 m^3/човек/год.$ – абсолютен недостиг на вода. Индексът на воден стрес – FI , е изчислен за сухи (75 % обезпеченост) и много сухи (95 % обезпеченост) години. Обемът на годишния отток за съответните години е определен на основата на теоритични криви за последната станция по течението на главната река.

Броят на населението във всеки речен басейн за периода от 1934 до 2017 г. е определен като сума от броя на населението на селищата, землището на които се включва в границите на речния басейн. Индексът FI за речния басейн на р. Провадийска е изчислен с населението на гр. Варна и без тези демографски данни, а за водосбора на р. Айтоска – с населението на гр. Бургас и без включване на неговото население при изчисленията.

Речните басейни, за които е изчислен индекс на водния стрес на Falkenmark, имат обща площ, която съставлява 86 % от територията на страна, и покриват почти изцяло хидрогеографските региони и главните водосборни басейни на България. В изследването се включват и над 80 % от населените места в страната.

Резултати

Стойностите на FI през суха година варират в широки граници в отделните речни басейни – между $50,6 m^3/човек/год.$ за басейна на р. Провадийска през 2011 г. и $25\,333 m^3/човек/год.$ за басейна на р. Факийска през 2012 г. (Табл. 1). В обхвата на посочените гранични стойности FI е над $1700 m^3/човек/год.$ през всички изследвани години за речните водосбори на реките Ерма, Нишава, Лом, Янтра, Факийска, Ропотамо, Арда, Места и Струма (Фиг. 1). В тази група речни басейни с най-голям обем води на човек за година се открояват трансграничните речни водосбори на реките Факийска (с FI между $3790,0 m^3/човек/год.$ през 1946 г. и $25333,3 m^3/човек/год.$ през 2012 г. и с най-голямо увеличения на индекса FI – 6,9 пъти), Ерма (с FI от $2452,2 m^3/човек/год.$ през 1934 г. до $14\,360,5 m^3/човек/год.$ през 2017 г.) и Нишава (с FI от $1801,0 m^3/човек/год.$ през 1934 г. до $5751 m^3/човек/год.$ през 2017 г.). Причина за голямата обезпеченост с води на населението в посочените речни басейни е периферното им разположение в границите на страната, което предполага по-малкия брой селища и малката населеност. Водният обем е неколккратно по-голям от $1700 m^3/човек/год.$ и в речните басейни на реките Лом и Янтра, слабо населени в старопла-

нинската си част. Голямата площ на водосборите на реките Места и Струма в планинския и високопланинския хип-

сометричен пояс обяснява и липсата на воден стрес за жителите в техните граници през всички изследвани години.

Таблица 1. Максимални и минимални стойности на FI ($m^3/човек/год.$)*

Речен басейн	Суша година (75% обезпеченост)		Много суша година (95% обезпеченост)	
	<i>FI</i> <i>min</i>	<i>FI</i> <i>max</i>	<i>FI</i> <i>min</i>	<i>FI</i> <i>max</i>
Ерма	2452	14360	1644	9628
Нишава	1801	5751	1306	4170
Тополовец	604	2292	275	1044
Войнишка	1174	5472	595	2775
Арчар	661	1588	207	739
Лом	2016	4783	1419	3280
Огоста	1358	2228	722	1185
Искър	839	1869	591	1317
Вит	1323	1928	848	1235
Осъм	1549	2861	1047	1934
Янтра	1912	2964	941	1459
Русенски Лом	301	441	140	205
Батова	1246	1598	990	269
Провадийска	70	157	13	30
Камчия	1044	1414	446	604
Айтоска	285	449	137	216
Хаджийска	103	196	36	68
Средецка	725	1825	293	737
Факийска	3789	25333	1451	9701
Ропотамо	6790	15972	2803	6595
Велека	1032	3831	416	1543
Тунджа	1229	1669	726	987
Марица	1650	2435	1034	1526
Арда	4072	7046	2274	3933
Места	5470	6299	4072	4688
Струма	3358	4440	2244	2668

* Стойностите на FI за речните басейни на Провадийска и Айтоска в таблицата са изчислени без населението на градовете Варна и Бургас съответно.

Втора група речни басейни обособяват реките Тополовец, Арчар, Вит, Батова, Камчия, Средецка и Тунджа, във водосборите на които стойностите на FI за суша година са между 1000 и 1700 $m^3/човек/год.$ С воден стрес през сухи години за целия период на изследване са водосборите на реките Батова, Камчия и Тунджа. В тази група се включват

речни басейни, за които индикаторът на воден стрес е 1000–1700 $m^3/човек/год.$: за водосбора на р. Тополовец; на Арчар; на Вит и на водосбора на р. Средецка. С най-малка продължителност (брой години) е състоянието на воден стрес през суша година в речните басейни на реките Войнишка, Искър, Осъм, Велека и Марица (Фиг. 1).

Недостиг на вода, или с FI от 500 до $1000 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. през суха година, се установява за водосбора на р. Искър, в речния басейн на р. Тополовец, в речния басейн на р. Арчар и в басейна на р. Средецка. (Фиг. 1).

Няколко речни басейна оформят групата на териториите с абсолютен недостиг на вода през суха година, или с $FI < 500 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. За целия изследван период с абсолютен воден недостиг са речните басейни на

Речен басейн	1934	1946	1956	1965	1975	1985	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Ерма																																				
Нишава																																				
Тополовец																																				
Войнишка																																				
Арчар																																				
Лом																																				
Огоста																																				
Искър																																				
Вит																																				
Осъм																																				
Янтра																																				
Русенски Лом																																				
Батова																																				
Провадийска																																				
Камчия																																				
Айтоска																																				
Хаджийска																																				
Средецка																																				
Факийска																																				
Ропотамо																																				
Велека																																				
Тунджа																																				
Марица																																				
Арда																																				
Места																																				
Струма																																				

Фиг. 1. FI ($\text{m}^3/\text{човек}/\text{год}$.) през суха година (75 % обезпеченост):

>1700
 $1000 - 1700$
 $500 - 1000$
 < 500

Русенски Лом, Провадийска, Айтоска и Хаджийска, или независимо от увеличаването/намалването на броя на населението в границите на техните водосбори. Индикаторът FI е под $500 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. през суха година в речния басейн на р. Провадийска и без населението на гр. Варна и в речния басейн на р. Айтоска без населението на гр. Бургас.

Пространствено-времето разпределение на FI през много суха година усложнява картината за недостига/излишъка на вода на жител за година според обема на годишния отток в границите на речния басейн. Стойностите на FI се намират варианти между $46,1 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. за басейна на р. Провадийска и $9701,6 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. за басейна на р. Факийска (Табл. 1). Без воден стрес за населението са речните

водосбори на реките Ропотамо, Арда, Места и Струма, а за почти целия период с данни за населеното – речните басейни на Ерма, на Нишава, на Тополовец, на Лом, на Осъм и на Факийска (Фиг. 2).

Увеличава се броят на речните басейни и на годините, за които стойностите на FI за много суха година са между 1000 и $1700 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. С воден стрес през много суха година за целия период на изследване е водосборът на р. Марица, речните басейни на реките Осъм, Янтра, Батова и Велека (Фиг. 2). Със стойности на FI между 1000 и $1700 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год}$. за много суха година през по-голямата част от изследвания времеви период се открояват водосборите на реките Тополовец, Войнишка, Огоста, Искър, Осъм, Янтра, Батова и Велека.

С воден недостиг, или с FI между 500 и $1000 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год.}$ през много суха година за целия изследван период, е водосборът на р. Камчия, речните басейни на Арчар, Огоста, Искър, Вит, Средецка и Тунджа (Фиг. 2). С абсолютен недостиг на вода през много суха година (с $FI < 500 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год.}$) за целия изследван период са водосборите на реките Русенски Лом, Провадийска, Айтоска и Хаджийска (Фиг. 2).

Прогнозните данни на Националния статистически институт (НСИ) за броя на населението до 2080 г. показват намаляване на броя на жителите във всички административни области и при трите хипотези – за конвергентност (реалистичен вариант), за относително ускоряване (демографското развитие протича при благоприятни социално-икономически процеси в страната) и за относително забавяне (демографското развитие протича при хипотези за неблагоприятни

Речен басейн	1934	1946	1956	1965	1975	1985	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			
Ерма																																					
Нишава																																					
Тополовец																																					
Войнишка																																					
Арчар																																					
Лом																																					
Огоста																																					
Искър																																					
Вит																																					
Осьм																																					
Янтра																																					
Русенски Лом																																					
Батова																																					
Провадийска																																					
Камчия																																					
Айтоска																																					
Хаджийска																																					
Средецка																																					
Факийска																																					
Ропотамо																																					
Велека																																					
Тунджа																																					
Марица																																					
Арда																																					
Места																																					
Струма																																					

Фиг. 2. FI ($\text{m}^3/\text{човек}/\text{год.}$) през много суха година (95 % обезпеченост):



социално-икономически процеси в страната), с изключение на гр. София, за което населено място населението намалява след 2060 г. [17]. Посочените тенденции предпоставят най-общо намаляване на водния стрес за населението в страната през следващите десетилетия по изследвания индикатор през сухи и много сухи години, но подобна прогнозна оценка изисква териториално диференцирана прогноза за измененията в броя на населението по речни басейни.

Заклучение

Водните ресурси на глава от населението, измервани като съотношение на годишния воден обем и броя на хората в даден речен басейн за територията на България, варира в широки граници през сухи и много сухи години – между 207 и $25\,333 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год.}$ и 46 и $9701 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год.}$ съответно. С траен абсолютен воден недостиг (под $500 \text{ m}^3/\text{човек}/\text{год.}$) през сухи и много сухи години от 1934 до 2017 г. се открояват водосборите на реките Русен-

ски Лом, Провадийска, Айтоска и Хаджийска. Годишният отточен обем обезпечава с над 1700 m³/човек/год. през сухи и много сухи години населението в речните басейни на Ропотамо, Арда, Места и Струма. Индексът за воден стрес на Falkenmark за речните басейни потвърждава неравномерното пространствено-времево разпределение на годишния обем на речния отток на територията на страната и допълва информация от данните за експлоатационен воден индекс (WEI+).

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 № ДО-230/06-12-2018).

Литература

- Gain, A.K., Rouillard, J.J., Benson D. 2013. Can integrated water resources management increase adaptive capacity to climate change adaptation? A critical review. *J. Water Resour*, 5 (04) 11–20.
- Seckler, D., Upali, A., Molden, D., de Silva, R., Barker, R. 1998. World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues. Research Report No. 19. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Đedro-Monzonís M, Solera A, Ferrer J, Estrela T, Paredes-Arquiola J. 2015. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482–493.
- Falkenmark, M. 1989. The massive water scarcity threatening Africa – why isn't it being addressed? *Ambio*, 18(2): 112–118.
- Falkenmark, M. & Widstrand, C. 1992. Population and Water Resources: A delicate balance. *Population Bulletin*. Population Reference Bureau, Washington, USA.
- Gleick, P. H. 2000. The world's water: A biennial report on freshwater resources 2000–2001. Washington, DC: Island Press.
- Vörösmarty C. J, Douglas E. M., Green P. A., Revenga C. 2005 Geospatial Indicators of Emerging Water Stress: An application to Africa. *Ambio*, 34, 230–236.
- Sullivan, C. 2002. Calculating a Water Poverty Index. *World Development*, 30(7), 1195–1211.
- Lawrence, P., Meigh, J., Sullivan, C. 2002. The water poverty index: an international comparison. *Keel Economics Research Papers, KERP 2002/19*, October, 2002.
- Smakhtin V, Revenga C, Döll P. 2004. A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity. *Water International*, 29, 307–317.
- Molle, F. Mollinga, P. 2003. Water poverty indicators: Conceptual problems and policy issues. *Water Policy*, 5, 529–544.
- Schyns J. F., Hoekstra A. Y., Booij M. J. 2015. Review and classification of indicators of green water availability and scarcity. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 19, 4581–4608.
- Xu H., Wu, M., 2017. Water Availability Indices – A Literature Review. Energy Systems Division, Argonne National Laboratory.
- Damkjaer, S., Taylor, R. 2017. The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513–531.
- Xu H., Wu M., 2017. Water Availability Indices – A Literature Review. Energy Systems Division, Argonne National Laboratory. National Technical Information Service (NTIS).
- Raskin P., Gleick P., Kirshen P., Pontius G., Strzepek K. 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World: Report of the Secretary General United Nations Economic and Social Council, Commission on Sustainable Development. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/CN.17/1997/9&Lang=E.
- НСИ. Прогноза за населението по области и пол.