

RESEARCH OF THE DROUGHT SEVERITY FOR POROUS GROUNDWATER

Abstract: By analyzing the groundwater levels decline due to drought phenomenon, the severity of porous groundwater drought is investigated using the Threshold Level Method in combination with the cumulative departure. A groundwater body located in southern Bulgaria in the area of the Upper Thracian valley is considered. In terms of GIS, the spatial and time extents of the groundwater levels decline are visualized. The presented approach could be used in the forthcoming Water Management Plans in Drought Conditions.

Keywords: Groundwater Drought, Threshold Level Method, Cumulative Departure, Groundwater Drought Severity Maps, Water Management Plans in Drought Conditions

Authors information:

Gergana Droumeva-Antonova
Chief Assistant, PhD
National Institute of Meteorology and Hydrology,
BAS
✉ drdroum@abv.bg
🌐 Bulgaria

Krassimira Nacheva
Chief Assistant, PhD
National Institute of Meteorology and Hydrology,
BAS
✉ krassimira.nacheva@abv.bg
🌐 Bulgaria

Въведение

Засушаването на подземните води или хидрогеоложката суша (groundwater drought) е част от хидроложката суша и най-общо може да се дефинира като установено устойчиво, регионално и временно намаляване на водния ресурс под неговата средна стойност [1]. Негативните последици от хидрогеоложкото засушаване се изразяват в понижаване нивата на подземните води, намаляване на количеството на подземния отток към реки и извори, намаляване на капилярното покачване от плиткозалягащи водоносни хоризонти, което е от значение за влажните зони, свързани с режима на подземните води. Основни естествени фактори за проява на засушаване на подземните води са намалено количество на валежите, особено през студените месеци, когато главно става подхранването на подземните води, предшествано от намаляване на почвената влажност през летните месеци, когато евапотранспирацията надвишава валежите. Експлоатацията на подземни води може допълнително да увеличи природно възникналата суша, а от друга страна преексплоатацията им може да доведе до антропогенна суша. Засушаването на подземните води от поров тип може да възникне месеци или дори години след реализиране на метеороложката суша, да не бъде толкова контрастно изразено, както сушата при повърхностните и почвени води, а възстановяването на нормалното състояние на подземните води може да отнеме години след края на метеороложката суша [1].

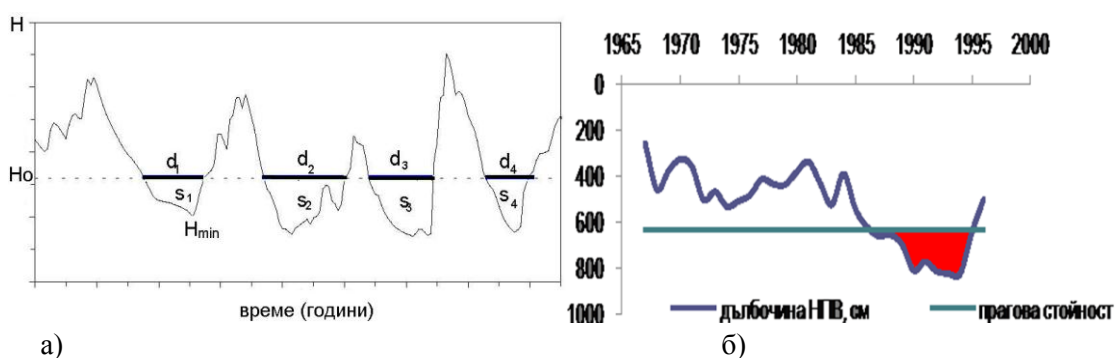
Оценката на засушаването на поровите подземни води най-често се извършва чрез анализ на изменението на техните нива, защото те могат да бъдат директно измерени, с достатъчна точност и честота. Освен това нивата дават представа за реалните запаси на подземните води, а тяхното пространствено и времево разпределение – за подхранването и подземния отток [2]. Подобен подход е използван за оценка на ефекта на най-голямата и продължителна суша в страната ни, откакто е създадена националната хидрогеоложка мониторингова мрежа, реализирана в периода 1982-1994 г. върху количественото състояние на поровите подземни води. Установено е, че в кладенци с режим, неповлиян от човешка дейност, дефицитът на валежи е довел до спад на водните нива от 0,20 - 0,70 m в зависимост от разглеждания район и период на метеороложко засушаване [3, 4]. Изследвани са и смесен тип подземни води –

карстово-порови в Североизточна България, за които също е установено засушаване вследствие метеороложка суша [5].

Методика на изследване

Засушаването на поровите подземни води възниква, когато техните нива спадат под определен критичен праг за определен период от време, което води до неблагоприятни последици. Критичният праг може да се определи като персентил (позиционна средна величина) от ходографа на подземните води, като процент от средната стойност на разглеждания параметър или въз основа на екологосъобразни или социално-икономически съображения [2].

Методът на праговата стойност (Threshold Level Method) е един от най-често използваните методи за оценка степента на хидрогеоложко засушаване. Праговата стойност може да бъде избрана като постоянна или изменяща се във времето в зависимост от наличните данни и целите на изследването. Когато разглеждания параметър, например нивото на подземните води, премине под определената прагова стойност, тогава е налице хидрогеоложка суша (фиг. 1а).



Фигура 1. Метод на праговата стойност и кумулативното отклонение

Детайлните изследвания на засушаването на подземните води показват, че когато Метода на праговата стойност се приложи в комбинация с изчисляване на кумулативното отклонение от тази стойност (Cumulative Departure), се получават най-добри резултати (фиг. 1б). Освен това, използването на този комбиниран подход позволява по-точна идентификация на значителните продължителни суши, както и извършването на сравнителен анализ за степента на засушаване в отделни локации от даден регион [2].

Кумулативното отклонение на нивото на подземните води при суша се изчислява по формула (1):

$$s_t = \begin{cases} s_{t-\Delta t} + (H_0 - H_t)\Delta t & \text{при } H_t \leq H_0 \\ 0, & \text{при } H_t > H_0 \end{cases} \quad (1)$$

Където: s - кумулативното отклонение при суша, H_0 - праговата стойност, H - ниво на подземните води, Δt - разглеждания интервал от време.

Максималното кумулативно отклонение винаги възниква в края на сушата и неговата величина се определя от избора на прагова стойност. То изразява степента на засушаване (drought severity) и е мярка за интензивността на хидрогеоложката суша.

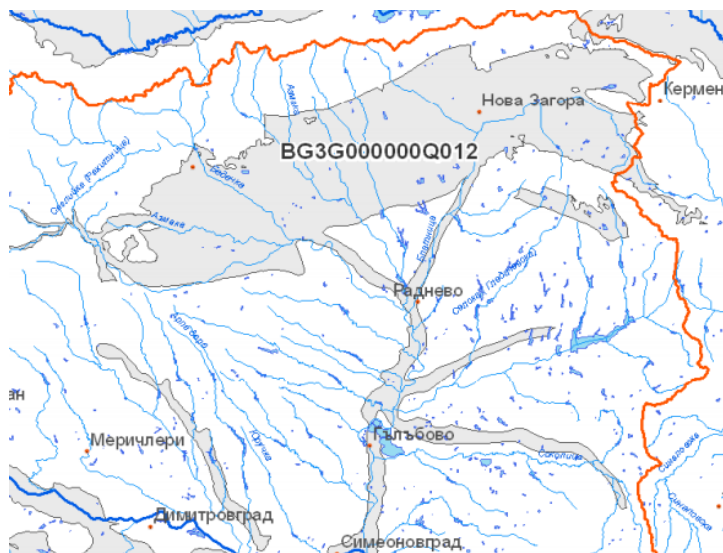
Ако степента на хидрогеоложко засушаване се изчисли за мрежа от мониторингови точки, покриваща определено подземно водно тяло или басейнов район, е възможно определянето на пространственото разпределение на хидрогеоложката суша. При установяване на максималното кумулативно отклонение за различни години от даден сушев период се получава представа за времевия мащаб на хидрогеоложката суша. Подобни карти директно могат да се приложат от Басейновите дирекции в предстоящите за разработване Планове за управление при недостиг на вода и засушаване.

За да се визуализира пространственото разпределение на засушаването на подземните води може да се използва интерполация в среда на ГИС. За тази цел програмата ArcGIS предлага няколко възможни модела. Установено е, че моделите за геостатистическа интерполация са важни при изучаването на пространственото и времевото изменение на подземните води. Yong и др. (2016) сравнява точността на 7 модела за интерполация [6]. Измежду тях като оптимален е избран обикновеният кригинг, който е приложим за интерполация на нивото на подземните води. Чрез неговото прилагане може да се оптимизира експлоатацията на подземните води, тя да се направи по-ефективна и да се забави спадането на нивото на подземните води под критичната му стойност. В полза на модела кригинг се изказват редица учени. Орлова (2008) смята, че сложни методи на интерполация като кригинг дават много по-голяма точност, отколкото кой и да е от по-простите методи [7]. Fahid и др. (2011) обработват в ГИС данни за подземните води (съдържание на хлориди и водно ниво) чрез три различни техники на интерполация (Inverse Distance Weighting-IDW, Kriging и Spline) [8]. Резултатите показват, че най-точният модел за тези характеристики е кригинг. Ibrakhimov и др. (2007) анализират времевата динамика в нивото и солеността на подземните води [9]. Проучването също показва, че най-точни карти се създават чрез метода кригинг. Sun и др. (2009) създават карти на нивото на подпочвените води [10]. Според резултатите от тяхната работа се установява, че методът кригинг постига най-висока точност в сравнение с други методи. В Европа подобно сравнение на две техники за интерполация е правено от Kamińska и Grzywna (2014) [11]. Те анализират резултатите от прилагането на два модела за интерполация: Radial Basis Functions (RBF) и Inverse Distance Weighting (IDW). Установява се, че RBF създава по-представително изображение на действителността за измерването на нивата на подземните води.

Характеристика на изследвания район

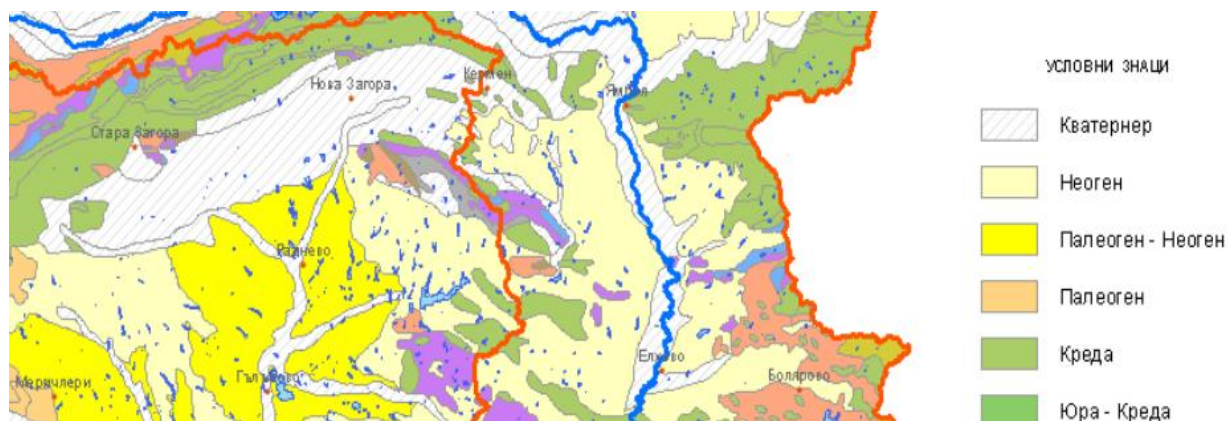
В настоящето изследване описаната методика е приложена за Подземно водно тяло Порови води в Кватернер – Марица Изток (ПВТ код BG3G00000NQ012), отнасящо се към басейна на река Марица, Източнобеломорски район, поради следните съображения. Подземното водно тяло се намира в равнината част на Южна България, където според разработените климатични сценарии рискът от засушаване е висок [12]. Освен това е разположено в I-ви дълбочинен хоризонт, което предопределя по-висока уязвимост от метеороложко засушаване. В разглежданото тяло водното ниво заляга близко до земната повърхност (2-2,5 m от повърхността), при което евапотранспирацията от водното огледало играе съществена роля в баланса на подземните води. Поровите води в Кватернер – Марица Изток са с голямо стопанско и екологично значение – интензивно се експлоатират и поддържат екосистеми в защитени територии. Важно съображение за избора на това ПВТ е, че в него са разположени сравнително голям брой кладенци от мониторинговата мрежа на НИМХ за проследяване изменението на водното му ниво.

Подземното водно тяло Порови води в Кватернер – Марица Изток е разположено в Горнотракийската депресия, която представлява най-големия в страната акумулатор на подземни води в пористи материали, представени от кватернерни и неогенски отложения. По-голямата част от него попада в източната част на Маришкия басейн (фиг. 1).



Фигура 1. Подземно водно тяло с код BG3G00000NQ12 и наименование Порови води в Кватернер – Марица Изток [13]

В геоложко отношение ПВТ е формирано в кватернерни алувиални, алувиално-пролувиални и пролувиални образувания (фиг. 2). Първите обхващат отложенията в терасите на по-големите реки – Марица (в най-южната част на ПВТ), Сазлийка, Овчарица, Соколица и Блатница. Дебелината им е около 10 m. В литоложко отношение тези седименти са представени от чакъли, пясъци, глини и преходните им разновидности. В района значително развитие имат алувиално-пролувиални отложения на Старозагорско - Новозагорското поле. В литоложко отношение са представени от чакъли, гравий и глинесто-песъчливи наноси. Дебелината им обикновено е между 20 и 30 m [14, 15]. Подхранването на подземните води в разглежданото тяло става от валежите и от речни води. Дренират се от речната мрежа и голям брой водоземни съоръжения.



Фигура 2. Геоложки строеж на ПВТ Порови води в Кватернер – Марица Изток, [13]

Резултати

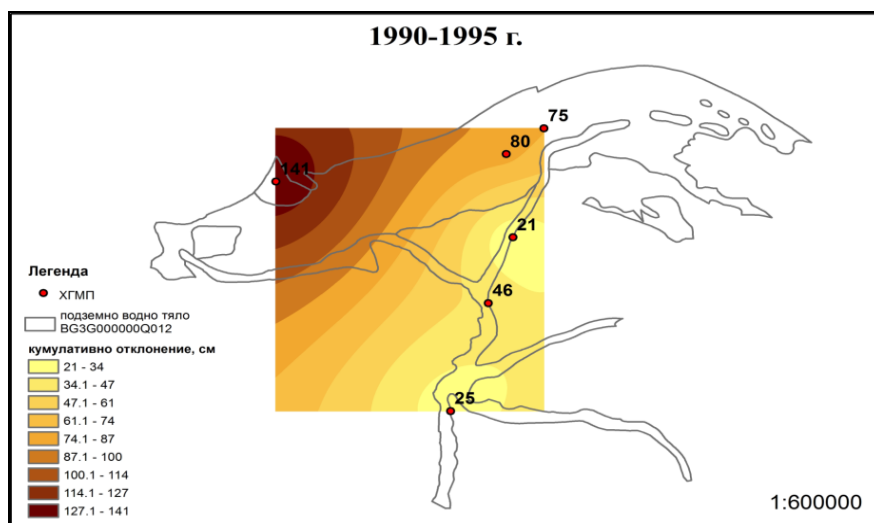
За определяне на степента на засушаване на поровите води в Кватернер – Марица Изток (ПВТ BG3G00000NQ12), вследствие метеороложката суша от 1982-1994 г., е разгледано изменението на техните нива в 6 броя наблюдателни кладенци от мониторинговата мрежа на НИМХ, показани на фигура 3.



Фигура 3. Наблюдателни кладенци от мониторинговата мрежа на НИМХ за ПВТ BG3G00000NQ012, Порови води в Кватернер – Марица Изток

Избрани са мониторингови пунктове, за които може да се приеме, че са без нарушен режим на изменение на водното ниво, за да се оцени влиянието на природното засушаване върху подземните води. Използвани са средногодишни данни за изменение на нивата с цел анализиране на ефекта от многогодишни значителни суши [16, 17]. За по-добро интерполиране на резултатите ползваните данни са с еднаква, по-малка от 30 години дължина на редиците – от 1979 г. до 2002 г. За оценка на значителните суши, повлияли подземните води освен използването на годишни данни обикновено се избира прагова стойност на проявление на хидрогеоложка суша 70, 80 или 90 персентила. Установено е, за условията на България, че при прагова стойност 70 персентила могат да се оценят не само многогодишните хидрогеоложки суши, но и тези, които са възникнали вследствие сезонни метеороложки суши [17]. В настоящото изследване за прагова стойност на хидрогеоложка суша е избрано ниво 70 персентила – това е нивото, което е равно или превишено 30% в редицата от данни.

Кумулативното отклонение на нивата в разглежданите кладенци е изчислено за периода 1990-1995 г. За да се получи цялостна картина за неговото площно разпределение в разглежданата област, е направена интерполация в среда на ГИС. Приложен е моделът за интерполация кригинг (фиг.4).



Фигура 4. Степен на хидрогеолошко засушаване (максимално кумулативно отклонение) за ПВТ BG3G00000NQ012, Порови води в Кватернер – Марица Изток за периода 1990-1995 г.

Получените резултати не покриват изцяло разглеждания район, тъй като липсват данни за нивата на подземните води, респ. кумулативното отклонение, извън неговите граници. Въпреки това, те дават достатъчно добра представа за настъпилите изменения в количественото състояние на подземните води, следствие метеороложката суша от 1982-1994 г. Значителна степен на засушаване на поровите води в Кватернер – Марица Изток за периода 1990-1995 г. се наблюдава при гр. Стара Загора. В тази зона кумулативното отклонение достига до 141 см за пролувиалните отложения. Със средна степен на засушаване, следствие природната суша, се характеризират пролувиалните отложения в района на гр. Нова Загора. За разглежданото ПВТ най-неповлияни от метеороложката суша са подземните води в алувиалните отложения от терасите на реките.

Изводи

Получените резултати могат да се обобщят в следните изводи. Засушаването на порови подземни води следствие метеороложка суша може да се оцени въз основа на годишни данни за изменение нивото на подземните води и прагова стойност 70 персентила. Пространственото и времево изменение на степента на хидрогеоложка суша се представя чрез определяне на максималното кумулативно отклонение на нивото на подземните води. Получените карти за степента на хидрогеоложка суша позволяват да се определят най-уязвимите на засушаване участъци на дадено подземно водно тяло. За ПВТ BG3G00000NQ012, Порови води в Кватернер – Марица Изток най-повлияни от метеороложкото засушаване през 1982-1994 г. са пролувиалните отложения в района на гр. Стара Загора.

Предложената методика дава възможност за оценка на степента на сушата на подземните води на локално и регионално ниво като получените резултати могат да послужат на Басейновите дирекции по управление на водите за предстоящото разработване на Планове за управление при недостиг на вода и засушаване.

Представеното изследване е извършено във връзка с проекта Оценка и картиране на уязвимостта на водните ресурси и водоснабдяването при управление на речни басейни, климатични промени и засушаване, НИМХ-БАН.

References:

1. Drumeva-Antonova, G. 2017. Otsenka na zasushavaneto v hidrogeolozhki aspekt, Nauchna konferentsiya s mezhdunarodno uchastie "Geografiya, regionalno razvitie i obrazovanie" – Shumenski universitet, gr. Shumen, noemvri 2017, SocioBrains - online magazine, pod pechat
2. Hisdal H., L. M. Tallaksen (Editors). 2000. Drought Event Definition, Technical Report to the ARIDE project № 6, 41
3. Benderev, A. D., T. Orehova, E. Bojilova. 2008. Some aspects of groundwater regime in Bulgaria with respect to climate variability. In: Dragoni, W. and Sukhija, B. S. (Eds.), Climate Change and Groundwater. Geological Society, London, Special Publications 288, 13-24
4. Orehova, T., E. Bojilova. 2001. Impact of the Recent Drought Period on Groundwater in Bulgaria, 29th IAHR Congress Proceedings, China, 2001, 1-6
5. Orehova, T., T. Vasileva. 2014. Evaluation of the atmospheric chloride deposition in the Danube hydrological zone of Bulgaria, Environmental Earth Sciences, 72(4), 1143-1154
6. Yong Xiao, Xiaomin Gu, Shiyang Yin, Jingli Shao, Yali Cui, Qiulan Zhang and Yong Niu, 2016. Geostatistical interpolation model selection based on ArcGIS and spatio-temporal variability analysis of groundwater level in piedmont plains, northwest China. SpringerPlus, 5, 425
7. Orlova, E. V. 2008. Opredelenie geograficheskikh i gidrologicheskikh karakteristik vodnayh obaektov s ispolyzovaniem GIS – tehnologiy (avtoreferat na disertatsiya) 2008, Sankt Peterburg

8. Fahid K.J. Rabah, Said M. Ghabayen and Ali A. Salha. 2011. Effect of GIS Interpolation Techniques on the Accuracy of the Spatial Representation of Groundwater Monitoring Data in Gaza Strip, *Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 579-589
9. Ibrakhimov, M., A. Khamzina, I. Forkutsa, G. Paluasheva and J.P.A. Lamers . 2007. Groundwater table and salinity: Spatial and temporal distribution and influence on soil salinization in Khorezm region (Uzbekistan, Aral Sea Basin). *Irrig. Drainage Syst.*, 21, 219-236
10. Sun, Y., S. Kang, F. Li and L. Zhang. 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of Northwest China. *Environ. Model. Software*, 24, 1163-1170
11. Kamińska, A., A. Grzywna. 2014. Comparison of deterministic interpolation methods for the estimation of groundwater level. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 15, No. 4, 55–60
12. Mitigation Vulnerability of Water Resources under Climate Change. 2014. CC-WARE, WP3-Vulnerability of Water Resources in SEE, 82
13. PURB 2010-2015, 2016-2021 Iztochnobelomorski rayon
14. Generalni shemi za izpolzovane na vodite v rayonite za baseynovo upravlenie, Sofiya, yuli, 2000
15. Penchev P., M. Machkova-Tsaneva i dr. 2009. Opredeleyane pragovete na zamarsyavane na podzemnite vodi i razrabotvane na klasifikatsionna sistema za himichnoto sastoyanie na podzemnite vodni tela, Konsortsium za integralno upravlenie na vodi, gr. Blagoevgrad, Noemvri, 2009 g.
16. Tallaksen, L.M., H. Madsen, B. Clausen. 1997. On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume, *Hydrological Sciences Journal*, 42,15-33
17. Drumeva-Antonova, G. 2015. Otsenka na zasushavaneto na podzemnite vodi spored izmenenieto na tehnite niva, *International scientific on-line journal "SCIENCE & TECHNOLOGIES"*, Vol. V, № 4, Technical studies, 42-46