



## Methodology for assessing the groundwater quality index

### Методология за определяне индекс за качество на подземните води

*Tanya Vasileva*  
*Таня Василева*

Geological Institute, BAS, Acad. G. Bonchev str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: tanyav@geology.bas.bg

**Abstract.** Assessing the quality of ground waters for various uses is of utmost importance for any monitoring activities related to their overall quality. In order to calculate the quality, the index described below is a very convenient and user-friendly mathematical instrument, which expresses the results from a huge amount of data, and a large number of indicators describing the chemical composition of groundwater into a single digit. In essence, it is a unified number presenting the findings from monitoring in the form of a grading scale when evaluating the groundwater quality. This complex multi-level approach can form the basis for an overall assessment of the quality of any groundwater body.

**Keywords:** water quality index (WQI), groundwater quality index (GWQI), heavy metals pollution index (HMPI), drinking water.

**Въведение.** Подземните води на територията на България имат повсеместно разпространение и играят важна роля за формирането на природната среда. Те са най-чувствителния и същевременно най-голям воден запас от прясна вода. Подземните води са основен източник за питейно-битово водоснабдяване в много региони на страната и като изключително ценен природен ресурс следва да бъдат опазвани от замърсяване и влошаване на тяхното качество. Това е особено важно и за всички екосистеми, които зависят от качеството на подземните води. Най-уязвими откъм замърсяване са безнапорните подземни води, при които свободното водно ниво по площ съвпада с площта на тяхното разпространение, а също така и карстовите ненапорни води, формирани в карстифицираните карбонатни скали с открит карст (Antonov, Raikova, 1978). Източници на замърсяване могат да бъдат химически торове, използвани в селското стопанство, отпадъчни битови води от населени места без изградени канализации, фекални води от животновъдни ферми и комплекси, отпадъчни води от производства и промишлени дейности, хвостохранилища, кариери за добив на ломен камък, пясък и баластра, складирането на битови или промишлени отпадъци на открито и др. Тежките метали са сред най-често срещаните замърсители на околната среда и тяхното присъствие в подземните води показва наличието на естествени или антропогенни източници на контаминация. Замърсяването на водите с опасни и токсични метали може да бъде вредно както за околната среда, така и за човешкото здраве.

Оценката на качеството на подземните води е важна дейност и включва определянето на техните физикохимични показатели и количеството на метали и металоиди, съдържащи се в тях. Химическите съставки могат да окажат неблагоприятно влияние върху човешкото здраве, особено след продължителни периоди на излагане на тяхното въздействие. Именно затова е изключително важно, количествата на някои химически съставки на подземните води, които се използват за питейни цели, да не надвишават разрешената по стандарт концентрация. От друга страна, ако съдържанието на отделните вещества не превишава допустимата горна граница по стандарт, това все още не означава, че водата е годна за питейно-битово ползване. Качеството на водата може да се влоши и от сумарното въздействие на химически вещества с концентрации под допустимите. Ето защо е важно да се прилага не само диференциран, но и интегриран подход при оценка състоянието на подземните води. При оценката на качествено състояние на водите, използвани за определени цели (питейни нужди, напояване и др.), се прилагат различни показатели. В статията е представена методологията за определяне на Индекс за качество на подземните води (GWQI) и Индекс за метално замърсяване на подземните води (HMPI), използвани за питейни цели.

**Методология.** Качеството на подземните води може да бъде определено посредством два различни подхода: диференциран и интегриран (комплексен). Басейновите дирекции в България използват т.нар. диференциран подход за оценка

качеството на подземните води на база отделни физикохимични показатели, метали и металоиди, т.е. дали техните концентрации поотделно превишават или не установените в стандарта стойности. Недостатък на този подход е, че от получения резултат не може да се създаде цялостна представа за качествено състояние на подземните води. За да се получи една по-пълна картина и цялостна оценка за химичното състояние на подземните води от дадено подземно водно тяло или район е необходимо прилагането на т.нар. комплексен или интегриран подход. При него голямото количество данни с отношение към качеството на водата се интегрират в едно цяло, като финалният резултат (крайната оценка) се изразява под формата на число, отчитащо пригодността на подземните води за питейно-битово водоснабдяване. В настоящата статия е представен комплексен подход за определяне на Индекс на качеството на подземните води, широко използван и описан в литературата (Boah et al., 2015; Jareda et al., 2016; Kawo, Karuppanan, 2018 и др.). При този подход се задават теглови коефициенти на отделните показатели, влизащи в пресмятането. Прилагането на индекса за качество се определя като един от най-ефективните инструменти за оценка замърсяването на подземните води и може да се използва при изпълнението на програми за подобряване на качествено им състояние (Saeedi et al., 2009). Индексът представлява математически инструмент и дава оценка за състоянието на подземните води под формата на единна балова оценка, попадаща в интервала на определена скала. Предимството на представения индекс е, че той е отворен и конструирането на качествена оценка се извършва от самия ползвател. Предоставя се избор на физикохимични показатели, метали и металоиди, на броя на измерванията им (на месечна, сезонна или годишна база), избор на референтни стойности.

Разработването на методика за оценка качеството на водите чрез индексирание на тяхното качество или т.нар. Индекс за качеството на водите (WQI) първоначално е създаден за оценка качествено състояние на повърхностните води. Този индекс успешно се прилага за територията на България (Varbanov, Gartzianova, 2015). Историята по прилагането на такъв Индекс за качество на водите (WQI) е подробно описана от Saeedi et al. (2009) и Bharti & Katyal (2011). Разработването на методиката за оценка качеството на подземните води чрез индекс WQI или GWQI за пръв път е показана от Ribeiro et al. (2002).

В статията са представени два метода (варианта) за изчисляване на Индекса за качеството

на подземните води (GWQI) в четири етапа. Разликата между двата метода е, че при първия се задават тегла (в зависимост от влиянието на всеки показател) за отделните параметри по експертна оценка, които тегла след това се нормализират. При втория метод директно се преминава към нормализирани тегла и се прескача задаването на тегла за отделните показатели, влизащи в изчислението на индекса за качество. От тук се получават и разликите в крайната оценка за индекса.

**Първи вариант.** Индексът за качество се изчислява по уравнения от (1–1) до (1–4), описани подробно в литературата (Singh, Hussian, 2016; Kawo, Karuppanan, 2018). При този метод предварително се изисква задаване на тегло за всеки показател, участващ в уравнението за изчисляването на Индекса за качество, след което се определя относителното тегло на показателите по уравнение (1–1)  $W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$ , където:  $W_i$  е относително тегло на всеки параметър;  $i=1$  до  $n$  е броят параметри;  $w_i$  е зададено тегло на всеки един параметър. На втори етап се изчислява мярката за качество на всеки показател ( $q_i$ ):

(1–2)  $q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100$ , където:  $C_i$  е концентрацията на съответния показател в подземните води, а  $S_i$  е концентрацията му по стандарт. По уравнения (1–1) и (1–2) се определя т.нар. под-индекс (SI): (1–3)  $SI = W_i \times q_i$ . Финалният индекс за качество на подземните води се определя по уравнение

$$(1-4) \text{GWQI} = \sum_{i=1}^n SI_i.$$

**Втори вариант.** Индексът за качество на подземните води се изчислява по следните уравнения, описани в литературата (Boah et al., 2015; Jareda et al., 2016 и др.):

$$(2-1) \text{GWQI} = \frac{\sum W_i \times q_i}{\sum W_i},$$

където  $i=1$  до  $n$  е броя параметри;  $W_i$  е тегловен коефициент (нормализирано тегло) на всеки параметър, определен по уравнение (2–2);  $q_i$  е мярка за качество за всеки показател, участващ в модела; (2–2)  $W_i = \frac{K}{S_i}$ , където  $S_i$  е стойността на параметъра по стандарт;  $K$  е пропорционална константа и се изчислява по уравнение

$$(2-3) K = \frac{1}{\left[ \left( \frac{1}{S_1} \right) + \left( \frac{1}{S_2} \right) + \left( \frac{1}{S_3} \right) + \dots + \left( \frac{1}{S_n} \right) \right]},$$

където:  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$  са пределните концентрации на отделните параметри по стандарт. Мярката за качество ( $q_i$ ) се получава по уравнение

$$(2-4) q_i = 100 \times \frac{(V_a - V_i)}{(V_s - V_i)},$$

където:  $V_a$  е наблюдаваната стойност на параметъра;  $V_s$  е стандартната стойност на параметър

и  $V_i$  е идеалната стойност за всеки параметър. За питейни води всички идеални стойности се приемат  $V_i=0$ , с изключение на параметъра рН, за който се приема стойност 7.0, за естествено чисти води и разтворения кислород, за който се приема стойност 14.6 mg/l (Boah et al., 2015).

Изчислените стойности за GWQI по двата метода се категоризират в пет класа или пет типа води (табл. 1), като най-високият клас е отлична вода до вода, неподходяща за пиене.

Описаните методи се прилагат и за изчисляване на Индекс на замърсяване с тежки метали (НМПИ). Разликата при него е, че в уравненията влизат единствено концентрациите на тежките метали, измерени в подземните води. Този индекс показва общото качество на подземните води спрямо замърсяване с различни тежки метали. Изчисляването му изисква определяне на тегловен коефициент  $W_i$  по уравнение (1–2) и по уравнение (2–1), със стойност между 0 и 1 за всеки тежък метал, който коефициент е равен на реципрочната стойност на стойността по стандарт или  $W_i = 1/S_i$ , където  $S_i$  е стойността по стандарт. Критичната стойност на НМПИ за питейни води е 100 (Jareda et al., 2016), която стойност определя, че водата е в много лошо състояние (табл.1).

**Заклучение.** За създаването на методика за оценка качеството на подземните води от значение е количеството и качеството на входните данни, от прилагането на тегловност или подреждане на използваните показатели на вредни, по-малко вредни, първостепенни, второстепенни, както и от съществуващата и актуализирана нормативна база. От друга страна самият метод представлява един прост алгоритъм и несложен математически модел за изчисление, чрез който се добива по-пълна интегрирана представа за качествено състояние на подземните води. Определянето на индекса за качество на подземните води е начин за представяне на качествено-то им състояние като кумулативно произведен числов израз, като полученото финално число дава определен статус или групира водите в определени класове за качество. Чрез индекса се

Таблица 1. Класификация за качество на питейните води

WQI (GWQI)*	WQI (GWQI)**	Състояние
0–25	<50	отлично
26–50	50–100	добро
51–75	100–200	лошо
76–100	200–300	много лошо
>100	>300	неподходящо

\*по Brown et al. (1972), Chaterjee, Raziuddin (2002)

\*\*по Sahu, Sikdar (2008)

обобщават големи количества данни за качеството на водата, изразени в прост вид, например отлични, добри или лоши качества. Този индекс е полезен при оценка състоянието на подземните води не само от специалисти, но може да се използва и от Басейновите дирекции при интегрирана оценка за качеството на водите от подземните водни тела.

*Благодарности:* Научното съобщение е написано в рамките на Национална научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, РП I.3, „Качество на националните водни ресурси (повърхностни и подземни)“, РП I.3.2. Формиране и качество на подземните води в страната.

## Литература References

- Antonov, H., B. Raikova. 1978. An attempt to characterize the fresh groundwater in Bulgaria by degree of pollution vulnerability. – *Hydrology & Meteorology*, 27, 6, 12–19 (in Bulgarian).
- Bharti, N., D. Katyal. 2011. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. – *Intern. J. Environmental Sci.*, 2, 1, 154–173.
- Boah, D. K., S. B. Twum, K.B. Pelig-Ba. 2015. Mathematical computation of water quality index of Veve Dam in Upper East Region of Ghana. – *Environmental Sci.*, 3, 1, 11–16.
- Brown, R. M., N. J. McClelland, R. A. Deininger, M. F. O'Connor. 1972. A water quality index – Crossing the psychological barrier. – In: *Proc. Int. Conf. on Water Pollution Res.*, 6, 787–797.
- Chaterjee, C., M. Raziuddin. 2002. Determination of water quality index (WQI) of a degraded river in Asanold industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. – *Nature, Environment & Pollution Technology*, 1, 2, 181–189.
- Jareda, G., P. Y. Dhekne, S. P. Mahapatra. 2016. Water quality index and heavy metal pollution index of Bailadila iron ore mine area and its peripherals. – *Intern. J. Engineering & Applied Sci. (IJEAS)*, 3, 12, 80–86.
- Kawo, N. F., S. Karuppappan, S. 2018. Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, Central Ethiopia. – *J. African Earth Sci.*, 147, 300–311.
- Ribeiro, L., E. Paralta, J. Nascimento, S. Amaro, E. Oliveira, R. Salgueiro. 2002. A agricultura e a delimitação das zonas vulneráveis aos nitratos de origem agrícola segundo a Directiva 91/676/CE. – In: *Proc. III Congreso Iberoamericano sobre Gestión y Planificación del Agua*, 508–513.
- Saeedi, M., O. Abessi, F. Sharifi, H. Meraji. 2009. Development of groundwater quality index. – *Environmental Monitoring and Assessment*, 163, 1–4, 10 p.
- Sahu, P., P. K. Sikdar. 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata wetlands, West Bengal, India. – *Environ. Geol.*, 55, 823–835.
- Singh, S., A. Hussain. 2016. Water quality index development for groundwater quality assessment of Greater Noida sub-basin, Uttar Pradesh, India. – *Cogent Engineering*, 3, 17 p.
- Varbanov, M., K. Gartzianova. 2015. Comparative analysis of indices assessment of river water quality. – *J. Union of Scientists – Varna, Maritime Sciences Series*, 3–10 (in Bulgarian).