<https://doi.org/10.52215/rev.bgs.2020.81.2.1>

Определяне на индекса на замърсяване с тежки метали (HPI) и металния индекс (MI) в подземните води от басейна на р. Места, ЮЗ България

Таня Василева

Геологически институт, Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 24, София 1113

Evaluation of Heavy Metal Pollution Index (HPI) and Metal Index (MI) of the groundwater in the Mesta River Basin, SW Bulgaria

Tanya Vasileva

Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., Bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria;

Email: tanyav@geology.bas.bg

Abstract. Ground waters may undergo a process of contamination in various ways, but the presence and amount of heavy metals in them can be indicative of their purity and usage. Apart from that, the heavy metals are among the most widely spread pollutants in nature, and their presence in groundwater indicates the existence of natural or anthropogenic sources of contamination. Ground waters polluted with heavy metals can also be very toxic and harmful to human health, and very damaging to the environment as well. In this article, the concentrations of eight toxic heavy metals (Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn, Cr) were analyzed in the ground waters of the Mesta River Basin. A number of data for the concentrations of those heavy metals were used in order to calculate the following two indices describing groundwater purity: the Heavy Metal Pollution Index (HPI), and the Metal Index (MI). Both indices describe the overall quality of groundwater in direct relationship to the sum total of heavy metal concentrations. On one hand, minimal concentrations of heavy metals are necessary for the faultless functioning of organisms and indispensable to various biochemical processes, but on the other hand, in high concentrations, they might lead to dysfunctions in the cells of healthy organisms, and problems within their enzyme system. And these effects are entirely dependent upon the nature of the heavy metals involved. The research carried out so far shows that, according to HPI, about 65% of the shallow ground waters in the Mesta River Basin can be classified as being of excellent quality. The values obtained for the HPI are in the range of 3 to 64 (id est under the critical value of 100), or the groundwater is not contaminated with heavy metals. The MI varies within the range of 0.3 to 2.6, and therefore the groundwater from the zones with active water exchange can be characterized as being of slight to medium poor quality (41%), and the groundwater within Class II (or classified as pure with values of MI between 0.3 and 1.0) comprise approximately 59% of the overall catchment area.

Keywords: Heavy Metal Pollution Index (HPI), metal index, heavy metal, pollution, groundwater, Mesta River basin.

Резюме. 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. Високите концентрации на тежки метали във водите е вредно за околната среда и за човешкото здраве. Данни за концентрацията на осем тежки метала (Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn, Cr) в подземните води от водосбора на р. Места бяха използвани, за да се изчислят два индекса: индекс на замърсяване с тежки метали (Heavy Metal Pollution Index, HPI) и метален индекс (Metal Index, MI). И двата индекса отчитат общото качество на водите спрямо сумарната концентрация на тежки метали във водата. От една страна, в минимални количества металите са необходими за правилното функциониране на организмите, незаменими са за редица биохимични процеси в организма, но от друга, високите концентрации водят до смущения в клетките на здравия организъм и неправилно функциониране на ензимите. Това влияние зависи от естеството на тежките метали. Изследването показва, че съгласно HPI около 65% от плитките подземни води в басейна на р. Места се категоризират с отлично качество по отношение съдържанието на осемте елемента (Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn и Cr). Получените стойности за HPI са от 3 до 64, т.е. под критичната стойност от 100 или водите са без замърсяване с тежки метали. MI се изменя от 0,3 до 2,6 и съгласно тези стойности подземните води от зоната с активен водообмен се характеризират с леко до средно влошено качество (41%), а водите, попадащи в клас II (или чисти със стойности на MI от 0,3 до 1,0), са приблизително 59% от площта на басейна.

Ключови думи: индекс на замърсяване с тежки метали (HPI), метален индекс (MI), тежки метали, замърсяване, подземни води, р. Места.

Въведение

Съгласно националното законодателство за замърсени се смятат тези води, които по един или няколко показателя не отговарят на стандарта за

питейни води. От друга страна, ако съдържанието на отделните вещества във водата не надвишава допустимото по стандарт, това не означава, че водите могат да се използват за питейно-битово водоснабдяване. Качеството на водата може да се

влоши и от сумарното неблагоприятно въздействие на веществата, които поотделно са с концентрации под допустимите по стандарт. Голямо внимание се обръща на тежките метали, предвид тяхната силна токсичност. Те са сред най-често срещаните замърсители на околната среда и тяхното присъствие в подземните води показва наличието на естествени или антропогенни източници на контаминация. В минимални количества металите са необходими за правилното функциониране на организмите, незаменими са за редица биохимични процеси в организма, но при високи концентрации водят до смущения в клетките на здравия организъм, оказвайки влияние върху функционирането на ензимите. Това влияние зависи от естеството на тежките метали.

В настоящото изследване са описани и приложени два метода, чрез които сравнително лесно може да се даде оценка за състоянието на водата по отношение сумарното съдържание на тежки метали: метод за определяне на индекса на замърсяване с тежки метали (Heavy Metal Pollution Index, HPI) и метод за определяне на металния индекс (Metal Index, MI). И двата индекса са числови инструменти за качествена характеристика на водата. Обект на изследването са подземните води от зоната с активен водообмен (хипергенната зона) от басейна на р. Места. Хидрохимичната им характеристика е публикувана от Vasileva & Toteva (2019).

Съществуват и други индекси за качественна характеристика на подземните води, описани в литературата (Håkanson, 1980; Backman et al., 1998; Edet, Offiong, 2002; Jareda et al., 2016; Kawo, Karuppannan, 2018; Kapelewska et al., 2019). Кратък обзор на методите за оценка на замърсяването на подземните води е даден от Panayotova et al. (2019). Индекс за оценка на качеството на подземните води (WQI или GWQI) е описан от Vasileva (2019).

Изследвана площ

Обща характеристика

Изследваният водосборен басейн включва долините на р. Места и нейните притоци, част от масивите на оградните планини Пирин, Рила и Западни Родопи (фиг. 1) и заема площ от около 2785 km². В района се намират Разложката и Гоцеделчевската котловина. Релефът на водосбора е основно ниско- (30%) и среднопланински (44%) с денудационни заравнености, на места интензивно разчленен. Хълмисто-котловинният релеф обхваща 8% от басейна на р. Места. Двете котловини показват големи различия в надмор-

Фиг. 1. Местоположение на басейна на р. Места

Fig. 1. Location of the Mesta River basin

ската височина: около 700–850 m за Разложката и 500–600 m за Гоцеделчевската. Средната надморска височина на водосбора е приблизително 1635 m. Годишна сума на валежите варира от 650 до 800–900 mm (Koleva, Peneva, 1990). Средногодишната температура на въздуха за периода 1931–1970 г. за станция Банско е 9 °C, за станция Гоце Делчев – 11,4 °C, а за връх Вихрен – 3,5 °C (Kyuchukova, 1983). Почвената покривка включва предимно канелени и кафяви горски почви (Georgiev, 1991). Близко половината от площта на водосбора е заета от гори. Преобладават иглолистните¹, следвани от нискостебелните, а най-малко са широколистните гори.

Геоложки и хидрогеоложки условия

В геоложкия строеж на изследвания район участват докамбрийски метаморфити, палеогенски интрузивни, седиментни и вулканогенно-седиментни скали, плиоценски и кватернерни седименти. Докамбрийските метаморфити и палеогенските интрузивни скали имат най-широко разпространение.

¹ CORINE Land Cover 2000. Digital Data Base.

Във водосборния басейн на р. Места са формирани порови, пукнатинни и карстови води (Antonov, Danchev, 1980). Първите са акумулирани в плиоценските и кватернерните отложения, разпространени в най-младите грабенови структури (Разложката и Гоцеделчевската котловина).

Пукнатинните води формират водоносната система в зоната на регионалната напуканост в планинската и нископланинската зона на Пирин и Рила и западната част на Западните Родопи. Пукнатинната система е привързана към палеогенските вулканогенно-седиментни (пясъчници, аргилити, конгломерати, брекчоконгломерати, туфозни пясъчници, туфи, риодацити, дацити и трахидацити) и интрузивни скали (Централнопирински, Тешовски, Голешовски, Леховски, Долнодряновски и Безбожки плутон) и докамбийските метаморфити. В басейна на р. Места с широко разпространение са скалите, включени в Родопската надгрупа с нейните групи (Kozhoukharov, 1984) – Рупчоска, Ситовска и Асеновградска. С най-голямо значение от хидрогеоложка гледна точка е Добростанската мраморна свита (Kozhoukharov, 1984) от Асеновградската група на Родопската надгрупа, представена от мрамори с пачки от калкошисти и шисти (Marinova, Zagorchev, 1990), разкриваща се в западната част на басейна и масивните мрамори на свитата (Kozhoukharov, Marinova, 1991), разкриващи се в ЮЗ част на водосбора. Мраморите са силно окарстени, носители са на значително количество карстови води и образуват самостоятелните карстови басейни – Разложки и Гоцеделчевски. С по-малка водоносност са метаморфитите на Рупчоската и Ситовската група, носители на пукнатинни води в изветрителната зона и тектонски нарушения. Пукнатинната вода излиза на повърхността под формата на извори с малки дебита от 0,01 до 1 l/s (Antonov, Danchev, 1980). С широко разпространение в Местенския водосборен басейн са и скалите на Рило-Западнородопския батолит. Те се отличават с голяма водоносност във високите планински заравнености (денудационни заравнености), където в най-горната изветрителна зона те са силно грусирани (Antonov, Danchev, 1980) и, заедно с гъсто разположените изветрителни и тектонски пукнатини, се явяват добър колектор на ненапорни пукнатинни потоци с основно подхранване от валежите. В по-ниските пояси от денудационните заравнености границите намаляват своята водообилност, като водата се движи по отделни пукнатини.

Общо за района, най-широко разпространение имат пукнатинните води. Те се използват чрез каптиране на извори за питейни цели от много населени места, включително от големите

градове в поречието на р. Места – Гоце Делчев, Белица и Якоруда.

Материали и методи на изследването

Използвани данни

За изчисляване на индекса на замърсяване с тежки метали (HPI) и на металния индекс (MI) са използвани дигитализирани в ГИС среда данни от атлас с карти в М 1:1 000 000 на Kehajov (1982), които съдържат пространственото разпределение на концентрациите на основните макро-, мезо- и микрокомпоненти в плитките подземни води от територията на България. От дигитализираните карти е изрязан контурът на изследваната площ – водосборния басейн на р. Места. Използвани са данните за съдържанието в подземните води на осем елемента – Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn и Cr. За целта на изследването са взети максималните средни концентрации на посочените компоненти в подземните води. За районите, за които е посочено, че съответният параметър е по-голям от дадена стойност, тя е умножена по 2, а там, където за стойността на параметъра е посочено, че е по-малка от дадено число, то е разделено на 2. Концентрацията на всички елементи, разгледани поотделно, е под допустимата граница (табл. 1), съгласно стандарта за качество на питейните води в България – Наредба №9 (*Regulation...*, 2001). Пространственото изменение на концентрациите на тежките метали е представено на фигура 2.

Таблица 1
Използвани данни

Table 1
Data used

Параметър	Стойност*, mcg/l	Стойност по стандарт**, mcg/l
Fe	10–100	200
Mn	5–30	50
Cu	2,5–40	2000
Al	25–100	200
Ni	0,5–5	20
Pb	0,25–10	10
Zn	25–100	4000
Cr	0,05–0,005	50

* Максимални средни концентрации на тежки метали в подземните води от басейна на р. Места (данни по Kehajov, 1982)

Average maximum heavy metal concentration in the groundwater of the Mesta River basin (data provided by Kehajov, 1982)

** Наредба №9 (2001)

Regulation No.9 (2001)

Фиг. 2. Пространствено разпределение на максималните средни концентрации на метали в подземните води от басейна на р. Места (по данни на Кехајов, 1982)

a – Fe; *b* – Mn; *c* – Cu; *d* – Al; *e* – Ni; *f* – Pb; *g* – Zn; *h* – Cr

Fig. 2. Spatial variations in the concentration of heavy metals, applicable to the groundwater of the Mesta River basin (according to Kehajov, 1982)

a, Fe; *b*, Mn; *c*, Cu; *d*, Al; *e*, Ni; *f*, Pb; *g*, Zn; *h*, Cr

Индекс за замърсяване с тежки метали (НПИ)

Използваният в изследването метод за оценка на общото качество на подземните води чрез индекса НПИ (Mohan et al., 1996) всъщност пред-

ставява аритметично средно претеглен метод, чрез който се цели да се прецени общото качество на водата по отношение на избраните параметри. Методът се състои от две стъпки: 1) избор на параметрите на замърсяване, на които трябва

да се основава индексът, и 2) задаване на тегло (определящо претеглянето) на избраните параметри. Mohan et al. (1996) са изследвали замърсяването на питейните води по отношение на сумарното влияние на концентрациите на Cu, Cd, Pb и Zn, определяйки индекса HPI. Теглото на параметрите е стойност между нула и единица и се задава в зависимост от важността на всеки включен в изчисленията показател, оказващ влияние върху качеството на водата за питейни цели или теглата на отделните параметри могат да се зададат като стойности, които са обратно пропорционални на препоръчителната стойност по стандарт за съответния параметър (Mohan et al., 1996).

В настоящото изследване тегловността е определена като стойност обратно пропорционална на стойността по стандарт за избраните осем елемента (Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn, Cr). Индексът за замърсяване с тежки метали (Heavy Metal Pollution Index, HPI) се изчислява по уравнение (1)

$$(1) \text{ HPI} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i},$$

където W_i е тегло на i -тия параметър, Q_i – мярка за качество на всеки параметър, а n е броят на параметрите.

Мярката за качество (Q_i) се изчислява с използването на определената аналитично концентрация на металите (M_i) и определената в националното законодателство допустима стойност на металите (S_i) за качеството на питейните води по Наредба №9 (Regulation..., 2001). Мярката за качество (Q_i) за всеки параметър се изчислява с използването на уравнения (2) или (3):

$$(2) Q_i = 100 \times \frac{|M_i - I_i|}{S_i - I_i},$$

където M_i е наблюдаваната (аналитично определената) стойност на i -тия параметър, I_i е идеалната стойност на i -тия параметър, S_i е стойността по стандарт на i -тия параметър. В нашия случай за I_i се приема стойност нула, т.е. липсва в националното законодателство или уравнение (2) се записва във вида:

$$(3) Q_i = 100 \times \frac{M_i}{S_i}.$$

Теглото (W_i) на всеки параметър е обратно пропорционално на стойността на параметъра

по стандарт и се изчислява с използването на уравнение (4) (Mohan et al., 1996) или (5) (Jareda et al., 2016).

$$(4) W_i = \frac{1}{S_i}$$

$$(5) W_i = \frac{K}{S_i},$$

където K е пропорционална константа и се изчислява по уравнение (6):

$$(6) K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{S_i} \right)}.$$

Описаният индекс HPI е предназначен за оценка на качеството на питейни води. Допустимата или критичната стойност на индекса, индикираща замърсяване с тежки метали, съгласно Mohan et al. (1996), е 100 (при стойности <100 водата е безопасна за пиене, а при стойности >100 е неподходяща за пиене). Elumalai et al. (2017) дават по-подробна класификация за категоризирането на водата за питейни цели по индекса HPI (или сумарното количествено съдържание на тежки метали във водата – табл. 2).

Таблица 2
Класификация на водата по HPI (Elumalai et al., 2017)

Table 2
Water classification based on HPI (Elumalai et al., 2017)

HPI	Качество/състояние на водата
0–25	отлично
26–50	добро
51–75	лошо
76–100	много лошо
>100	неподходящо за питейни цели

Прилагането на метода за изчисляване на индекса HPI с използването на уравнения (4) и (5) за задаване на тегло е показано в таблици 3 и 4, които са попълнени с данни за подземните води от района на гр. Разлог.

Метален индекс (MI)

Индексът MI за води, предназначени за питейни цели, се изчислява по уравнение (7) (Tamasi, Cini, 2003):

Таблица 3

Изчисления за оценка на индекса HPI в подземните води за района на гр. Разлог, съгласно уравнение (5) (Jareda et al., 2016)

Table 3

Groundwater HPI calculations for the Razlog region according to equation (5) (Jareda et al., 2016)

Константа, K = 4,98132					
Параметър	наблюдавана стойност (M _i), mcg/l	стойност по стандарт (S _i)*, mcg/l	тегло (W _i = K/S _i)	мярка за качество (Q _i)	W _i × Q _i
Fe	50,000	200	0,025	25,000	0,6227
Mn	5,000	50	0,100	10,000	0,9963
Cu	10,000	2000	0,002	0,500	0,0012
Al	25,000	200	0,025	12,500	0,3113
Ni	5,000	20	0,249	25,000	6,2267
Pb	0,250	10	0,498	2,500	1,2453
Zn	25,000	4000	0,001	0,625	0,0008
Cr	0,005	50	0,100	0,010	0,0010
ΣW _i = 1,000					ΣW _i × Q _i = 9
					HPI = 9/1 = 9

* Наредба № 9 (2001)
Regulation No. 9 (2001)

Таблица 4

Изчисления за оценка на индекса HPI в подземните води за района на гр. Разлог, съгласно уравнение (4) (Mohan et al., 1996)

Table 4

Groundwater HPI calculations for the Razlog region according to equation (4) (Mohan et al., 1996)

Параметър	Наблюдавана стойност (M _i), mcg/l	Стойност по стандарт (S _i)*, mcg/l	Тегло (W _i = 1/S _i)	Мярка за качество (Q _i)	W _i × Q _i
Fe	50,000	200	0,005	25,000	0,125
Mn	5,000	50	0,02	10,000	0,2
Cu	10,000	2000	0,0005	0,500	0,00025
Al	25,000	200	0,005	12,500	0,0625
Ni	5,000	20	0,05	25,000	1,25
Pb	0,250	10	0,1	2,500	0,25
Zn	25,000	4000	0,00025	0,625	0,0001563
Cr	0,005	50	0,02	0,010	0,0002
ΣW _i = 0,2008					ΣW _i × Q _i = 1,8881
					HPI = 1,8881/0,2008 = 9

* Наредба №9 (2001)
Regulation No.9 (2001)

$$(7) MI = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(MAC)_i},$$

където C_i е концентрацията на всеки един елемент, а MAC_i е максималната допустима концентрация на всеки елемент по установения стандарт на Наредба №9 (Regulation..., 2001).

Съгласно индекса (MI) водите се класифицират в шест нива (табл. 5) от много чисти до силно замърсени.

За онагледяване на описания метод за изчисляване на металния индекс (MI) е съставе-

Таблица 5

Класификация на водата по индекса MI (Balakrishnan, Ramu, 2016)

Table 5

Water quality classification making use of MI (Balakrishnan, Ramu, 2016)

MI	Характеристика на водата	Клас
<0,3	много чиста	I
0,3–1,0	чиста	II
1,0–2,0	леко влошено качество	III
2,0–4,0	средно влошено качество	IV
4,0–6,0	силно влошено качество	V
>6,0	сериозно влошено качество	VI

на таблица 6, попълнена с данни за района на гр. Разлог.

Таблица 6
Изчисления за оценка на индекса MI в подземните води за района на гр. Разлог

Table 6
Groundwater MI calculations for the Razlog region

Параметър	Стойност (M _i), mcg/l	(MAC) _i *, mcg/l	Изчисления
Fe	50,000	200	0,25
Mn	5,000	50	0,1
Cu	10,000	2000	0,005
Al	25,000	200	0,125
Ni	5,000	20	0,25
Pb	0,250	10	0,025
Zn	25,000	4000	0,00625
Cr	0,005	50	0,0001
			MI = 0,8

* Максимална допустима стойност по Наредба №9 (2001)
Maximum allowed concentration for each element according to Regulation No.9 (2001)

Резултати и дискусия

Изчисляването на двата индекса по описаните методи е в ГИС среда, използвайки пространствено разпределените максимални средни стойности на концентрацията на отделните метали в подземните води от водосбора на р. Места. За определянето на индекса HPI са приложени уравнения (1) и (5) за изчисление на теглото на отделните параметри при константа K = 4,98132. Полученият краен резултат и за двата индекса (HPI, MI) като средна стойност (медиана) е представен в гريد-мрежа със стъпка 1000×1000 m (фиг. 3). Индексът на замърсяване с тежки метали (HPI) е в границите от 3 до 64 (средно около 26), което е под допустимата критична стойност от 100, дадена от Mohan et al. (1996). Стойността показва, че водата е безопасна за пиене и е без замърсяване с тежки метали (табл. 7). Използвайки класификацията от таблица 2 подземните води от зоната на активния водообмен в басейна на р. Места се класифицират като води с отлично до лошо качество

Фиг. 3. Пространствено разпределение на индексите HPI и MI за басейна на р. Места
Fig. 3. Spatial variations in the HPI and MI values for the indices, applicable to the Mesta River basin

Таблица 7
Категоризация на водата по стойностите на индексите HPI и MI в подземните води от басейна на р. Места

Table 7
Groundwater HPI and MI values for the indices, applicable to the Mesta River basin

Индекс	Резултат	Клас-интервал	Характеристика на водата
HPI	3–25	<100	безопасна вода *
	26–50	<100	безопасна вода *
	51–63	<100	безопасна вода *
HPI	3–25	0–25	вода с отлично качество **
	26–50	25–50	вода с добро качество **
	51–64	50–75	вода с лошо качество **
MI	0,3–1,0	0,3–1,0	чиста вода (клас II)
	1,0–2,0	1,0–2,0	леко влошено качество (клас III)
	2,0–2,6	2,0–4,0	средно влошено качество (клас IV)

* Класификация на водата по HPI (Mohan et al., 1996)
Water classification based on HPI (Mohan et al., 1996)

** Класификация на водата по HPI (Elumalai et al., 2017)
Water classification based on HPI (Elumalai et al., 2017)

(фиг. 3 и табл. 7) по сумарната концентрация на металите Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn и Cr. Това не означава, че водите не стават за питейни цели, тъй като индексът HPI е под критичната стойност от 100, над която водата е неподходяща за питейно ползване.

Металният индекс (MI) се движи в границите от 0,3 до 2,6 (фиг. 3) или средно за площта на водосбора стойността на MI е около 1,1. Подземните води от басейна на р. Места се класифицират като чисти (клас II) до леко (клас III) и средно влошено качество (клас IV) (табл. 7).

Съпоставяйки получените резултати по двата индекса, може би е разумно отделянето на петстепенна система за класифициране на водите по индекса HPI, а не само по тристепенната, дадена от Mohan et al. (1996). Високите стойности на HPI, но попадащи под 100, вероятно са указател за необходимо пречистване на подземните води, но това не означава, че са негодни за пиене. Разбира се, много е важно да се обръща внимание на количество-

то и качеството на изходната информация, на прилагането на тегловност, на избора на параметри, участващи в изчисленията за оценка на качеството на подземните води, на състоянието на съществуващата нормативна база. Трябва да има ясна формулировка на оценъчната скала, която да зависи от броя показатели и типа им; дали показателите са по-малко или повече вредни за човешкото здраве.

Заклучение

В изследването е дадена качествена характеристика на сумарната концентрация на тежки метали. Приложените методи за оценка на замърсяването са полезни инструменти, чрез които може да се определи общото качество на подземните води спрямо замърсяването с тежки метали. Те са полезни за оценка на цялостно състояние на водата. Могат да се използват за сравняване на качеството на подземните води от различни пунктове и райони.

Изследването показва, че съгласно HPI в голямата си част (приблизително 65%) подземните води от басейна на р. Места се категоризират с отлично качество по отношение на съдържанието на осемте елемента (Fe, Mn, Cu, Al, Ni, Pb, Zn и Cr). Индексът се изменя от 3 до 64 и е под критичната стойност от 100, т.е. водите не са замърсени с тежки метали. Това определя плитките подземни води от басейна на р. Места като безопасни за консумация и те могат да се използват за питейно-битови цели. Относно MI, изменящ се от 0,3 до 2,6, подземните води от зоната с активен водообмен се характеризират с леко до средно влошено качество (41%). Водите, попадащи в клас II (или чисти със стойности от 0,3 до 1,0), са приблизително 59% от площта на басейна.

Изборът на параметри, участващи в изчисленията за оценка качеството на подземните води, трябва да зависи от типа предназначение или конкретно използване на водата.

Благодарности: Статията съдържа непубликувани авторски резултати и е разработена при изпълнението на Националната научна програма „Опазване на околната среда и намаляване на риска от неблагоприятни явления и природни бедствия“, одобрена с Решение на Министерския съвет № 577/17.08.2018 г. и подкрепена от Министерството на образованието и науката на Република България (Споразумение № Д01-322/18.12.2019 г.).

Литература References

- Antonov, H., D. Danchev. 1980. *Groundwater in the Republic of Bulgaria*. Sofia, Tehnika, 360 p. (in Bulgarian).
- Backman, B., D. Bodiš, P. Lahermo, S. Rapant, T. Tarvainen. 1998. Application of a groundwater contamination index in Finland and Slovakia. – *Environmental Geology*, 36, 1–2, 55–64.
- Balakrishnan, A., A. Ramu. 2016. Evaluation of Heavy Metal Pollution Index (HPI) of ground water in and around the coastal area of Gulf of Mannar Biosphere and Palk Strait. – *J. Advanced Chemical Sciences*, 2, 3, 331–333.
- Edet, A. E., O. E. Offiong. 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring. A case study from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (Southeastern Nigeria). – *GeoJournal*, 57, 295–304.
- Elumalai, V., K. Brindha, E. Lakshmanan. 2017. Human exposure risk assessment due to heavy metals in groundwater by pollution index and multivariate statistical methods: A case study from South Africa. – *Water*, 9, 234; DOI:10.3390/w9040234.
- Georgiev, M. 1991. *Physical Geography of Bulgaria*. Sofia, St. Kliment Ohridski University Publishing House, 406 p. (in Bulgarian).
- Håkanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. – *Water Research*, 14, 975–1001.
- 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. of Engineering and Applied Sci. (IJEAS)*, 3, 12, 80–86.
- Kapelewska, J., U. Kotowska, J. Karpińska, A. Astel, P. Zieliński, J. Suchta, K. Algrzym. 2019. Water pollution indicators and chemometric expertise for the assessment of the impact of municipal solid waste landfills on groundwater located in their area. – *Chemical Engineering J.*, 359, 790–800.
- Kawo, N. F., S. Karuppannan. 2018. Groundwater quality assessment using water quality index and GIS technique in Modjo River Basin, Central Ethiopia. – *J. African Earth Sci.*, 147, 300–311.
- Kehajov, T. 1982. *Atlas: Hydrochemical Maps of Groundwater from the Hypergenic Zone in the Republic of Bulgaria on Scale 1:1 000 000*. Committee of Geology, Research Institute for Minerals (in Bulgarian).
- Koleva, E., R. Peneva. 1990. *Climate Guide. Precipitation in Bulgaria*. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences, 169 p. (in Bulgarian).
- Kozhoukharov, D. 1984. Lithostratigraphy of the Precambrian metamorphics from Rhodope Supergroup in the Central Rhodopes. – *Gelologica Balc.*, 14, 1, 43–88 (in Russian with English abstract).
- Kozhoukharov, D., R. Marinova. 1991. *Geological Map of Bulgaria on Scale 1:100 000, Gotse Delchev Map Sheet*. Committee on Geology, Enterprise for Geophysical Survey and Geological Mapping, Sofia.
- Kyuchukova, M. 1983. *Climate Guide of the Republic of Bulgaria. Volume 3. Temperature of the Air, Temperature of the Soil, Frost*. Sofia, Bulgarian Academy of Sciences, 440 p. (in Bulgarian).
- Marinova, R., I. Zagorchev. 1990. *Geological Map of the P R Bulgaria on Scale 1:100 000, Razlog Map Sheet*. Committee on Geology, Enterprise of Geophysical Survey and Geological Mapping, Sofia.
- Mohan, S. V., P. Nithila, S. J. Reddy. 1996. Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index. – *J. Environmental Sci. and Health*, A31, 2, 283–289.
- Panayotova, M., N. Stoyanov, S. Bratkova. 2019. Review of worldwide experience and the European legislation related to groundwater pollution assessment. Pollution indicators and criteria. – *Engineering Geology and Hydrogeology*, Geological Institute-BAS, 33, 51–66 (in Bulgarian with English abstract).
- Regulation No9 of 16 March 2001 Regarding the Quality of Drinking Water. 2001. Amended by State Gazette 102 of 12 December 2014 (in Bulgarian).
- Tamasi, G., R. Cini. 2003. Heavy metals in drinking waters from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena. – *Science of the Total Environment*, 327, 41–51.
- Vasileva, T. 2019. Methodology for assessing the Groundwater Quality Index. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 80, 3, 200–202 (in Bulgarian with English abstract).
- Vasileva, T., A. Toteva. 2019. Hydrochemical characterization of shallow groundwater from the Mesta River Basin. – *Engineering Geology and Hydrogeology*, 33, 15–26 (in Bulgarian with English abstract).

Постъпила на 10.04.2020 г., приета за печат на 20.07.2020 г.

Отговорен редактор Владимир Христов