

София, 2016. Sofia

Условия на замърсяване и уязвимост на подземните води от сарматския водоносен хоризонт, Североизточна България

Веселина Павлова¹, Алексей Бендерев², Аглайда Тотева²

¹ - Национален институт по метеорология и хидрология, e-mail: Veselina.Pavlova@meteo.bg

² - Геологически институт „Страшимир Димитров“, e-mail: aleksey@geology.bas.bg, aglaya.j@abv.bg

Pavlova, V., A. Benderev, A. Toteva. Conditions and vulnerability of Sarmatian aquifer to pollution, Northeastern Bulgaria, *Engineering Geology and Hydrogeology*, 30, 115-131.

Abstract. Northeastern Bulgaria is characterized by little or absent surface runoff due to widespread carbonate sediments of Sarmatian age. They are mostly covered by the Quaternary sediments, and outcrop only in erosion valleys. Sarmatian aquifer is an important source of water supply, and it is necessary to know to what extent it is protected from contamination from the surface. The aim of the study is to assess the vulnerability to pollution of the Sarmatian aquifer. For this purpose, the well-known DRASTIC method (Aller et al., 1987) is used, which considers the impact of seven environmental parameters (Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, and hydraulic Conductivity) on the vulnerability of groundwater to pollution. The DRASTIC vulnerability index is defined as a linear combination of factors with inherent ratings. In accordance with the method, seven thematic maps are prepared in GIS environment. They are base for the resulting map with the values of the DRASTIC indices. The results show lack of the most vulnerable classes within the studied area – with DRASTIC indices more than 200 and more than 180. Areas with low vulnerability to pollution (DRASTIC index below 100) prevail – about 77% of the total area. The vulnerability map shows the relatively higher risk imposed on territory with index from 160 to 179 (about 1% of the territory), which is related to outcrops of the karstified limestone and shallow water table. In addition, a map of various sources of contamination is presented: industrial sites, wastewater treatment plants, poultry and livestock farms, landfills, quarries, and settlements. It is found that in the areas with high degree of vulnerability (from 150 to 179) there are almost no sources of pollution, except for small (not more than 3.5%) areas of the settlements Shabla and Ezerets. Settlements without sanitation pose a serious risk for contamination of the aquifer. The industrial sites related to exploration and production of oil and gas at Shabla are related to drilling of boreholes, and the risks there are not only from pollution from the surface, but also from possible oil spills in depth from the damaged boreholes. This specific case is out of consideration of the present paper.

Key words: groundwater, vulnerability, DRASTIC, Northeastern Bulgaria.

Резюме. Североизточна България е специфичен район от страната с твърде малък, а на места и отсъстващ повърхностен отток в площите на разпространение на карбонатните седименти със сарматска възраст. Тези седименти в по-голямата си част са покрити от кватернерни материали, като разкрития има само в речните долини. Сарматският водоносен хоризонт е един от основните източници за водоснабдяване и е необходимо да се знае до каква степен той е защитен от замърсяване от повърхността. Основната цел на изследването е да се проучи уязвимостта в сарматския водоносен хоризонт. За тази цел се използва добре познатият метод DRASTIC (Aller et al., 1987), който взема предвид въздействието на седем

параметъра на околната среда (дълбочина на залегане на подземните води, подхранването им, хидрогеоложките особености на водоносния хоризонт, почвен слой, топография, въздействие на зоната на аерация и проводимостта на хоризонта), имащи влияние върху уязвимостта на подземните води спрямо замърсяване. Използваният Индекс за уязвимост на DRASTIC се определя като комбинация от фактори с присвоени рейтинги. В съответствие с метода се изготвят седем тематични карти в ГИС среда. Те са основа за изготвяне на резултатна карта със стойностите на индексите на DRASTIC. Резултатите показват отсъствие в изследваната област на най-уязвимите класове – с индексите на DRASTIC над 200 и над 180. Преобладаващи са райони с ниска уязвимост (индекс DRASTIC под 100) – около 77% от общата площ. От картата за уязвимост се вижда, че зоните с относително висок риск, с индекс от 160 до 179 (около 1% от територията), са свързани с разкрития на окаersten варовик и плитко залегащи води. Освен това е представена карта с различните източници на замърсяване: промишлени обекти, пречиствателни станции за отпадъчни води, птицевъдни и животновъдни ферми, сметища, кариери и населени места. Установено е, че в районите с висока степен на уязвимост (от 150 до 179) почти няма никакви източници на замърсяване, с изключение на малки части (не повече от 3,5%) от населените места Шабла и Езерец. Селищата без канализация представляват сериозна опасност за замърсяване на водоносния хоризонт. В индустриалните площадки, свързани с проучването и добива на нефт и газ в Шабла чрез прокарването на сондажи, опасностите от замърсяване се дължат не само на замърсяване от повърхността, но и на възможно нефтени пробиви от увредените сондажи в дълбочина. Този конкретен случай не се разглежда от настоящата статия.

Ключови думи: подземни води, уязвимост, DRASTIC, Североизточна България.

Въведение

Добруджа е един от районите в България с много малък, дори отсъстващ повърхностен отток. Това създава сериозни проблеми с осигуряването на вода, както за питейно-битови нужди, така и за развитие на селското стопанство и промишлеността в района. Единствен възможен източник за целта остават подземните води, формирани в двата основни водоносни хоризонти, имащи широко разпространение в Североизточна България – Сарматския и Горноюрско-долнокредния. Предвид на това запазването на количествата и качествата на подземните води в тях има много важно значение за населението и икономиката в тази част на страната.

Обект на настоящото изследване е по-плитко разположеният водоносен хоризонт – Сарматският, който с оглед управлението на водите се разглежда като подземно водно тяло BG2G00000N044 - Порови води в неоген - сармат в Североизточна и Средна Добруджа. Съгласно Втори план за управление на речните басейни за Черноморски район (http://www.bsbd.org/bg/index_bg_5493788.html), разполагаемите ресурси от подземни води възлизат на 2612 l/s. Независимо от това, че на този етап от тях се експлоатират едва около 6% – около 185 l/s, запазването на качеството им е изключително важно за бъдещето. Затова основна цел на изследването е да се изяснят в регионален план условията за замърсяване на подземните води, да се локализируют относително по-уязвими зони и да се установи дали в тези зони съществуват потенциални източници на замърсяване.

Хидрогеоложка характеристика

Съгласно приетото хидрогеоложко райониране на страната, сарматският водоносен хоризонт в Североизточна България е разположен в обсега на Варненския артезиански басейн на Долнодунавската артезианска област (фиг. 1).

Пространственият обхват на сарматския водоносен хоризонт се определя на основата на геоложки фактори. В разрез, основните свити, в които има условие за формиране на подземните води, са Карвунската (представена от мактрови варовици), Одърска (различни типове варовици – органогенни, оолитни и детритусни), както и Франгенска (главно пясъци) (Попов, Коюмджиева, 1987).

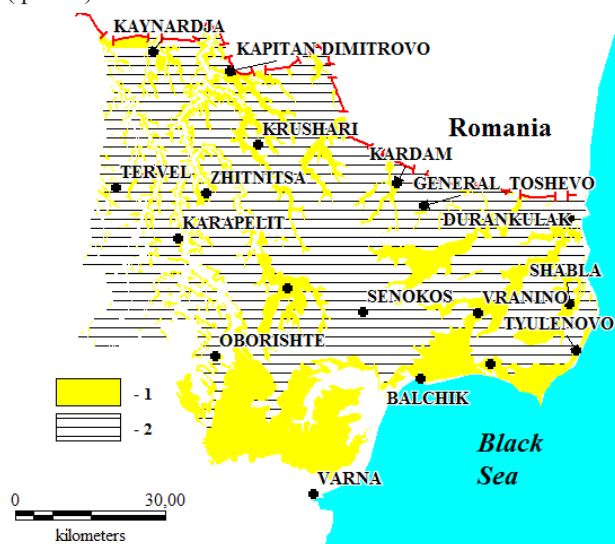


Фиг. 1. Местоположение на изследвания район спрямо хидрогеоложкото райониране на страната

Fig. 1. Location of the studied area in respect to hydrogeological division of the country

На отделни места, главно в обсега на Вранинския хорст, Балчишкото понижение и Шабленско-Българевската зона, водоносните сарматски седименти се разделят в два хоризонта от Тополовската свита, изградена от водонепропускливи тънкоивичести карбонатни глини (Чешитев и др., 1994, 1995). Долен водоупор са свити и задруги със сарматска възраст, в които теригенната компонента е по-съществена. Водоносният хоризонт се покрива в повечето случаи от кватернерни наслаги, предимно лъос.

Площното разпространение на сарматския водоносен хоризонт е свързано с разпространението на водоносните свити (Миланова, Чешитев, 1989; Филипов, 1991а, б, в; Чешитев и др., 1991 а, б, 1992) и е над 5000 km² (Антонов, Данчев, 1980), като около 67% от общата му площ са покрити от кватернерни наслаги (фиг. 2).



Фиг. 2. Разпространение на сарматския водоносен хоризонт: 1. Зони на разкритие на водоносния хоризонт; 2. Зони от хоризонта, покрити от кватернерни наслаги.

Fig. 2. Location of the Sarmatian aquifer: 1. Outcropping areas of the aquifer; 2. Zones of the aquifer covered by the Quaternary deposits.

Сарматският хоризонт е бил и обект на редица предишни изследвания. Едни от първите от тях са свързани с възможностите за използване за водоснабдяване (Василев, 1943). По-сериозни обобщения са извършени при последващите хидрогеоложки картировки на Североизточна Добруджа, водени от Д. Данчев^{1,2,3} и Р. Несторова⁴, както и при изпълнението на съвместен българо-испански проект за екологичните проблеми, свързани със замърсяване и свръхексплоатация на подземни води в изследвания район⁵. Част от получените в тях резултати за различните количествени и качествени регионални проблеми са обобщени от Антонов, 1973; Данчев, 1965, 1978, 1981; Данчев и др., 1978, 1981; Danchev et al., 1982; Данчев, Дамянов, 1983, 1984; Райкова и др., 1980; Мачкова, 1984; Великов и др., 1994, Pulido Bosch et al., 1996 a,b, 1997, 1999; Machkova et al. 1997, 2014; Machkova, 2008, Pavlova, 2013; Pavlova, Benderev, 2014; Orehova, Pavlova, 2014; Спасов, Павлова, 2015; Vasileva, Orehova, 2015 и др.

Съгласно публикуваните материали, обектът на изследване – сарматският водоносен хоризонт – представлява най-горната част от един общ хетерогенен водоносен комплекс с различни водопроводящи и водовместващи свойства, съобразно изграждащите го скали. В западната част на разпространение водоносният хоризонт има прекъснат характер, вследствие дълбокото врязване на речно-овражната мрежа във водовместващите скали. В източната част водоносният хоризонт е с повсеместно разпространение и посоката на движение на подземните води е с генерална посока на изток и североизток. Във филтрационно отношение скалите се характеризират с променящи се параметри – коефициент на филтрация от 1-3 m/d до 140-160 m/d. Подхранването на подземните води се осъществява основно от инфилтрация на валежни и повърхностни води, а дренването – от речно-овражната система и от извори с различен дебит – от 0,050 l/s до над 100 l/s. Значителна част от подземните води се дренират в крайморски езера, както и в акваторията на Черно море. Част от подземния отток се насочва и към територията на Република Румъния.

Методика

Изясняването на възможностите на замърсяване на разглеждания водоносен хоризонт преминава през два етапа. Първият от тях има за цел да се установи в регионален план промяната в условията на замърсяване – т.е. да се състави карта по уязвимост на подземните води. Вторият е свързан с ГИС анализ на получената карта с местоположението на площни и точкови източници на замърсяване.

Терминът „уязвимост“ (vulnerability) на подземни води е въведен за пръв път от Margat (1968), съгласно който това е „нивото на защита, което природната среда предоставя срещу разпространение на замърсители в подземните води“. Впоследствие се появяват много нови дефиниции, които се различават съществено по смисъл. Постепенно оценките на уязвимостта се развиват и прилагат, както в световен мащаб (Foster, 1987; Aller et al., 1987; Vrba, Zaporozec, 1994; Gogu, Dassargues, 2000; Zwahlen (ed), 2003, Liggett, Talwar, 2009, Witkowski, 2016, и

1 Данчев Д. и колектив. 1968. Определяне ресурсите и условията на експлоатация на пресните подземни води в по-водообилните райони в България и съставяне на хидрогеоложка карта в М 1:25000. Архив ИАОС, МОСВ.

2 Данчев Д., Ат.Дамянов, Ив. Пенев. 1977. Хидрогеоложки проучвания на подземните води в Лудогорието и съставяне на хидрогеоложки карти за райониране по водообилност в М 1:25000. Архив ИАОС, МОСВ.

3 Данчев Д. 1977. Режим и баланс на подземната вода в сармата на Южна Добруджа. Архив НИС-МГУ „Св. Ив. Рилски“.

4 Несторова Р. 1997. Създаване на мониторинг на подземните води в България. Многоетажна система с пресни и термални води в Северобългарското сводово издигане и неговите склонове (Варненски басейн). С., Национален Геофонд МИ, №V-487.

5 Pulido-Bosch, A., D.Dimitrov, M.Machkova, P.Pentchev, B.Velikov. 1996, Ecological Problems of Karst Waters Caused by Overexploitation and Contamination (1994 -1996), Fixed Contribution Contract No. CIPA-CT93-0139 between the European Economic Community and the University of Granada, Spain.

др.), така и в България (Антонов, Райкова, 1978; Райкова и др., 1983, Бендерев и др. 1992, 2014; Петков, Петров, 2005; Петров, 2006; Михайлова и др., 2009; Orehova et al. 2009; Стоянова, 2013, 2014; Benderev et al. 2016, Stoyanova, Kotsev, 2016).

Разработени са редица различни методологии за оценка на уязвимостта, съобразно хидрогеоложките условия и типове замърсител. С много широко приложение са така наречените „индекс“ методи, които се основават на комбиниране на показатели, характеризиращи различни фактори от околната среда, имащи влияние върху процесите на замърсяване на подземните води. За всеки от избраните показатели се присвоява число, чиято стойност се определя съобразно неговата специфика и значение за влиянието върху процесите на замърсяване. Съобразно промените в характеристиките на съответния показател, се отделят класове, като в най-ниския клас попадат групи от природни фактори, които най-слабо влияят върху процесите, а в най-високия – с най-силно въздействие. Отделно за всеки показател се въвежда тежестен коефициент, характеризиращ неговото значение в сравнение с останалите приети показатели. Използвайки възможностите на ГИС анализите, във всяка точка от разглежданата територия се определя съответният „Индекс на уязвимост – Vulnerability Index“ (F), който се определя по формулата:

$$F = \sum X_i Y_j, \text{ където:}$$

- X_i – тежестен коефициент за съответния показател;
- Y_j – стойностен коефициент (бал) на класа от съответния показател.

Следваща стъпка е генериране на карта по този Индекс, представляваща площното му разпределение, получена по съответния метод.

От индекс методите с най-широко приложение в световен мащаб е DRASTIC. Той е предложен и разработен от Aller et al. (1987). Името му произхожда от първите букви на природните фактори, които се взимат предвид за оценка уязвимостта на подземните води (табл. 1).

Таблица 1. Фактори, на които се основават методът DRASTIC и тежестни коефициенти за тях (Aller et al., 1987)

Table 1. Factors underlying the method DRASTIC and weight coefficients for them (Aller et al., 1987)

	Фактори уязвимост		Тежестен коефициент
D	Depth	Дълбочина на залягане подземните води	5
R	Recharge	Подхранване на подземни води	4
A	Aquifer structure	Строеж на водоносния хоризонт	3
S	Soil	Почва	2
T	Topology	Топографска повърхност	1
I	Impact of the vadose zone	Въздействие на зоната на аерация	5
C	Conductivity	Пропускливост (филтрационни свойства)	3

Стойностите, характеризиращи класовете за отделните фактори, се изменят от 1 до 10 бала и обосновката за тяхното определяне е дадена от Aller et al. (1987). Използвайки стойностните коефициенти, в ГИС се генерират карти за тяхното разпределение за всеки от разглежданите фактори, влияещи върху уязвимостта на подземните води. Следваща стъпка е комбиниране на тези карти с отчитане на тежестните коефициенти за всеки тип карти. Получената карта е със зони с различни класове на уязвимост на подземните води, в зависимост от получения бал. Колкото стойността е по-голяма, толкова уязвимостта е по-висока. Aller et

al.(1987) предлагат и цветова гама за визуализиране на степента на уязвимост (табл. 2).

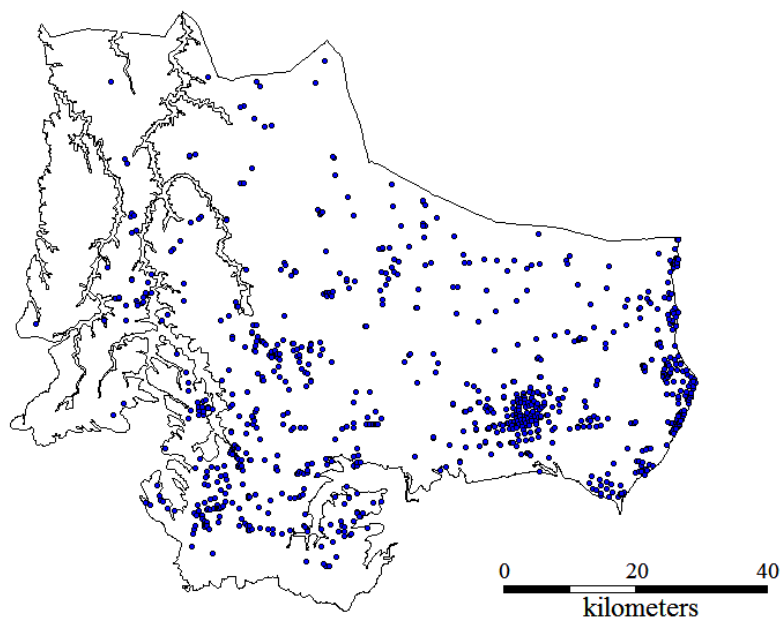
Таблица 2. Класове на уязвимост от замърсяване на подземните води при прилагане на DRASTIC и цветови кодове (по Aller et al., 1987)

Table 2. Vulnerability classes to groundwater pollution according to the DRASTIC model and color codes (Aller et al., 1987)

	Бал	Цвят
1	<79	Виолетов
2	80-99	Тъмносин
3	100-119	Син
4	120-139	Тъмнозелен
5	140-159	Светлозелен
6	160-179	Жълт
7	180-199	Оранжев
8	>200	Червен

Резултати

Преди изготвянето на ГИС слоевете за всеки от разглежданите природни фактори е събрана и систематизирана необходимата за целта информация от докладите в Националния Геофонд и Басейновите дирекции за управление на водите в Дунавски и Черноморски район за повече от 1000 сондажа и кладенци, прокарани за различни цели и с различен статус (фиг. 3). На нейна основа, заедно с анализ на различни карти и други количествени и качествени данни, се преминава към изготвянето на картите по фактори, включени в метода DRASTIC.

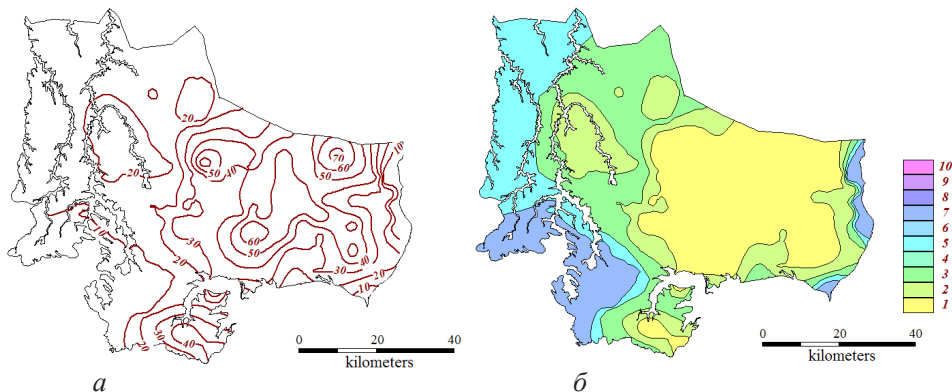


Фиг. 3. Сондажи с геоложка и/или хидрогеоложка информация

Fig. 3. Location of boreholes with geological and/or hydrogeological information

Слой D – Дълбочина на залягане на подземните води

Дълбочината на залягане на нивото на подземните води е от съществено значение за вероятността от миграцията на замърсители от повърхността на земята до водното ниво на безнапорния сарматски водоносен хоризонт. С увеличаване на дебелината на ненаситената зона концентрацията на проникнали замърсители намалява, вследствие процесите на взаимодействие „вода – скала“. За разглеждания водоносен хоризонт, вследствие на врязване на речно-овражната мрежа, нивото на подземните води е на дълбочина от 5 до повече от 60 m (фиг. 4а), като съобразно класификацията и оценките по дълбочина на залягане, предложена от Aller et al. (1987), в разглеждания район могат да се отделят зони с оценки от 1, 2, 3, 5 и 7 за този показател (фиг. 4б).



Фиг. 4. Карта по дълбочина на залягане на нивото на подземните води под земната повърхност (а) и зони с различна оценка по този фактор според Aller et al. (1987) (б)

Fig. 4. Map of groundwater level depth (a) and rating map of water table depth according to Aller et al. (1987) (b)

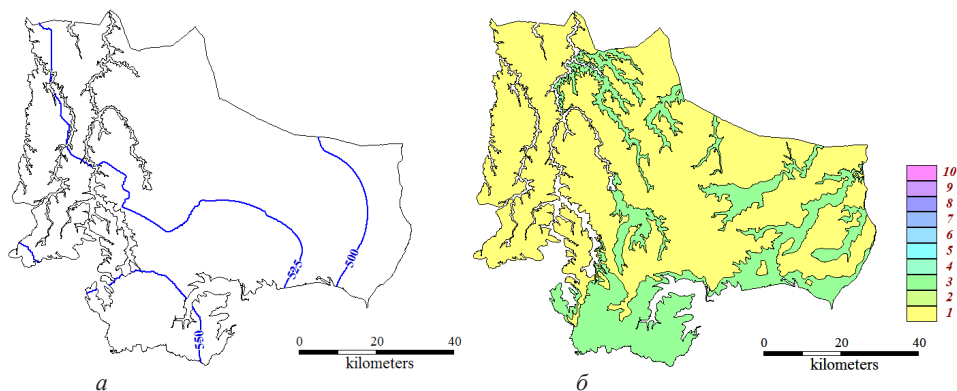
Слой R – Подхранване на подземните води

Основният източник на подхранване на подземните води в разглеждания водоносен хоризонт са валежите. При просмукването им в дълбочина потенциалният замърсител се транспортира вертикално до водоносния хоризонт. Колкото е по-голяма стойността на подхранването, толкова по-голям е и потенциалът за замърсяване на подземните води. Величината му зависи от количеството валежи и каква част от тях преминава през ненаситената зона (коефициент на инфилтрационно подхранване). Районът на разпространение на сарматския водоносен хоризонт се характеризира със сравнително ниски стойности на валежите за страната. По данни на НИМХ, както и на Колева, Пенева (1990), в обсега на разглеждания водоносен хоризонт годишните валежи са от порядъка между над 450 до под 600 mm (Фиг. 5а). Най-ниски са количествата паднали валежи в крайбрежната зона и се увеличават навътре в страната.

За оценка на естествените ресурси на сарматския водоносен хоризонт Басейнова дирекция за управление на водите в Черноморски район използва стойност от 12% от падналите валежи. Спасов, Павлова (2015) провеждат нови по-детайлни изследвания за величината на инфилтрационно подхранване на разглеждания водоносен хоризонт. Те установяват, че количеството му се изменя в различни периоди и пунктове, но в регионален аспект за многогодишен период получават осреднена стойност за инфилтрационно подхранване 11,87% – величина, почти съпадаща с тази, използвана от Басейнова дирекция. Независимо от това, има съществени различия в условията на подхранване на разкритите предимно равнинни части на водоносния хоризонт, разположени в близост до Черноморското крайбрежие и покритите с лъс и лъсова глина

части на запад. Съгласно Спасов, Павлова (2015), в разкритите крайбрежни части коефициентът на инфилтрационно подхранване се изменя от 11,8 до 17,4% (средно 15,7%), а на останалата част – от 5,6 до 10,4% (средно 8,7%).

Използвайки изготвената карта на разпределение на валежите и осреднения коефициент на валежно подхранване, се установи, че инфилтрационното подхранване на сарматския водоносен хоризонт се изменя от около 40 до над 60 mm за година. Съгласно предложената класификация на този показател от Aller et al. (1987), в разглеждания район се отделят зони с оценка 1 и 3 бала (фиг. 5б).



Фиг. 5. Карта на разпределение на средната сума на валежите (а) и класове по подхранване на подземните води според Aller et al. (1987) (б)

Fig. 5. Map of the mean annual rainfall (a) and groundwater recharge rating map according to Aller et al. (1987) (b)

Слой А – Строеж на водоносния хоризонт

Съгласно геоложката информация – карти и сондажни данни, водоносният хоризонт изцяло е изграден от силно водопропускливи скали – силно кавернозни и окарстени варовици. С висока водопроводимост са и пясъците на Франгенска свита. Затова, съгласно класификациите на Aller et al. (1987), на цялата площ се присвоява оценка от 10 бала.

Слой S – Почви

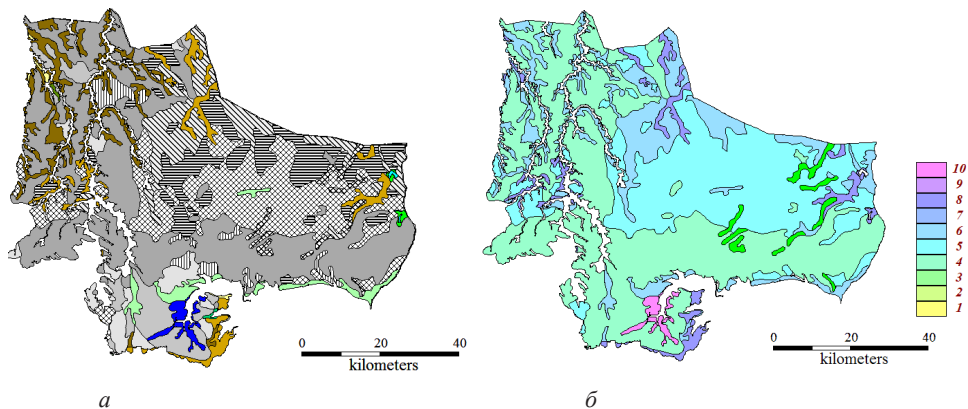
Почвеният слой е първата преграда за проникване на валежни и повърхностни води в дълбочина. Съгласно изготвената по проект ЛСА⁶ почвена карта в GIS, в изследвания район са разпространени предимно черноземни почви, различно излужени и ерозирани (Фиг. 6а). В по-малка степен са разпространени рендзини, сиви горски, алувиални почви. При отделянето на класовете по Aller et al. (1987), освен разпространението на различните видове почви, е взето под внимание и наличието и съотношението на различните фракции на зърнометричния състав, пряко влияещ на тяхната водопропускливост. За целта са използвани данни за тях, дадени от Герасимов, Антипов-Каратаев (1960), Мондешка (1988). Преобладаващи са почви с балове 4-6 (фиг. 6б).

Слой Т – Топографска повърхност

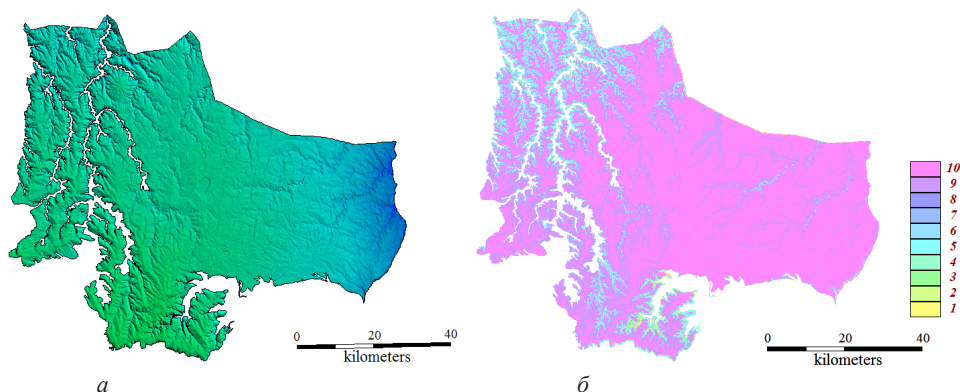
Определянето на баловите по този показател, съгласно Aller et al. (1987), се осъществява на база на ГИС слой на наклона на склона. Построяването му се осъществява на основата на пространствен модел на релефа (DEM) (фиг. 7а). Анализът на получените резултати показва, че поради платовидния характер на релефа преобладаващи са заравнените територии с високи стойности на

⁶ The study on Integrated water management in the Republic of Bulgaria. 2008. ЛСА, МОЕВ - Bulgaria

баловете по този показател – 9-10 (фиг. 76). Ниски стойности – от 1 до 5, са само в склоновете на долините, които са дълбоко врязани.



Фиг. 6. Карта на почвени разновидности (а) и класове по почви според Aller et al. (1987) (б)
Fig. 6. Map of soil types (a) and soil media rating map according to Aller et al. (1987) (b)



Фиг. 7. DEM (а) и класове по наклон на почви според Aller et al. (1987) (б)
Fig. 7. Map of DEM (a) and the topography rating map according to Aller et al. (1987) (b)

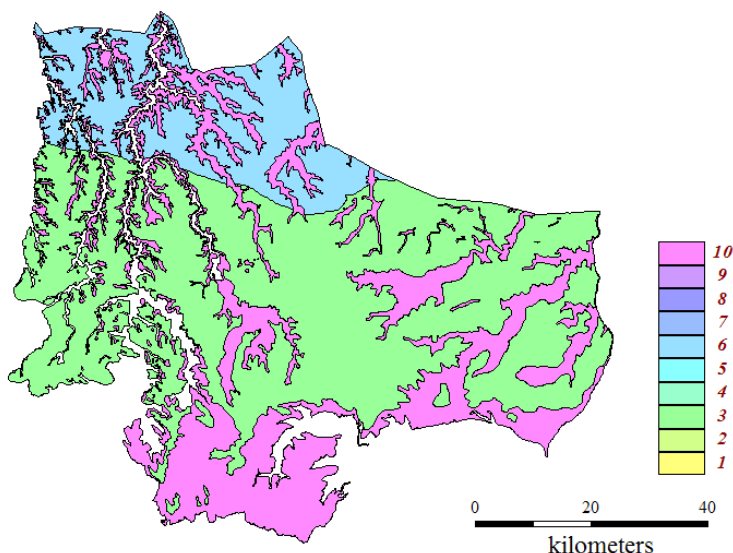
Слой I – Въздействие на зоната на аерация

Геоложките условия в изследвания район предопределят наличието на три типа зони на аерация по преобладаващите в тях скални разновидности (фиг. 8). Първият тип зона на аерация е представена главно от същите скали, от които е изграден и водоносният хоризонт – окарстени варовици, с неголяма или отсъстваща почвена покривка и на места покрити от алувиални и морски седименти. На този тип зона на аерация, съгласно Aller et al. (1987), са присвоени максималните 10 бала. В районите, където в зоните на аерация преобладават лъсови глини, баловата оценка е 3, а където е разпространен типичен лъс – 6.

Слой С – Пропускливост (филтрационни свойства)

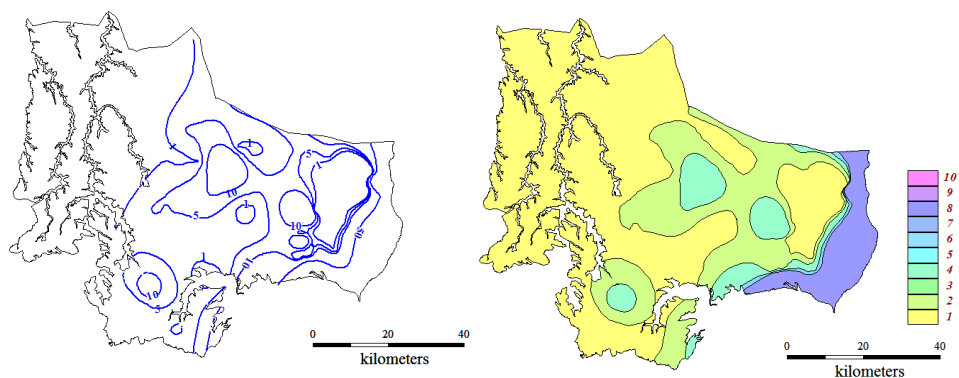
Оценките за показателя Пропускливост се определят на основата на промените на коефициента на филтрация (Кф). Водоместващите скали се характеризират с разнообразни филтрационни свойства С най-високи стойности на Кф са скалите в крайбрежните територии, които са с най-висока степен на окарстеност (фиг. 9а) – коефициенти на филтрация над 50 m/d, а в отделни пунктове и повече от 100

m/d. В тази зона са и най-високите балове – 8 (фиг. 9б). В останалата територия, особено в покритите части, коефициентите на филтрация са по-ниски – под 5 m/d, и често под 1 m/d. Затова в териториално отношение преобладаващата оценка за показателя пропускливост е 1-2.



Фиг. 8. Класове по характер на зоната на аерация според Aller et al. (1987)

Fig. 8. Impact of the vadose media rating map according to Aller et al. (1987)

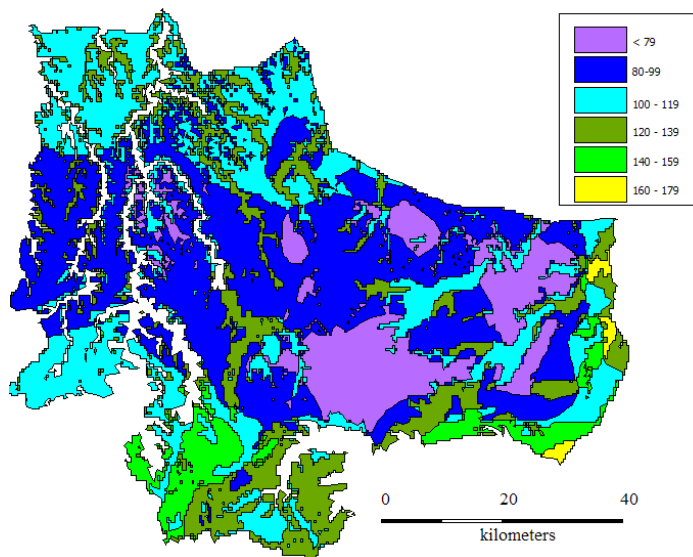


Фиг. 9. Изменение на коефициента на филтрация (а) и класове по пропускливост според Aller et al. (1987) (б)

Fig. 9. Map of the hydraulic conductivity (a) and classes of permeability according to Aller et al. (1987) (b)

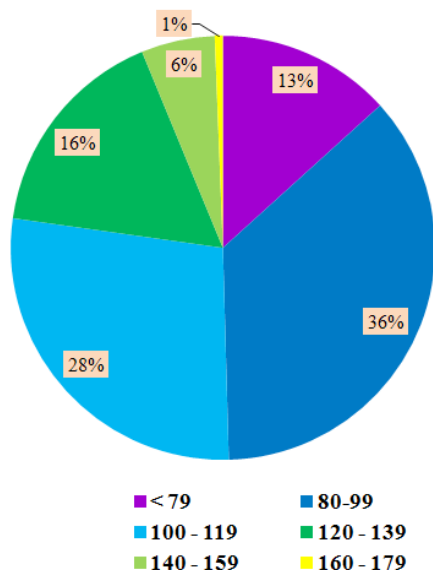
След наслагването и обработването в ГИС на изготвените слоеве по показатели е изготвена резултатна карта по уязвимост на подземните води в сарматския водоносен хоризонт (Фиг. 10), на която са локализирани зони с различен бал. Установява се, че съгласно предложеното от Aller et al. (1987) групиране, за разглеждания водоносен хоризонт от общо 8 възможни групи присъстват 6. Не

се установяват двете групи с най-висока степен на уязвимост – над 180 бала. Преобладаващи са основно зони с ниска уязвимост – под 100 бала – около 77% от общата площ на разпространение на сарматския водоносен хоризонт. Само около 1% от територията е с балове от 160 до 179. Това са зони с разкрития на повърхността на окарстените варовици, главно на Карвунската свита и с плитко разположение на нивото на подземните води до повърхността – главно в крайбрежните участъци и в близост до зоните на дрениране на водоносния хоризонт в големите крайморски езера.



Фиг. 10. Карта по уязвимост на подземните води в сарматския водоносен хоризонт

Fig. 10. DRASTIC groundwater vulnerability map for the Sarmatian aquifer

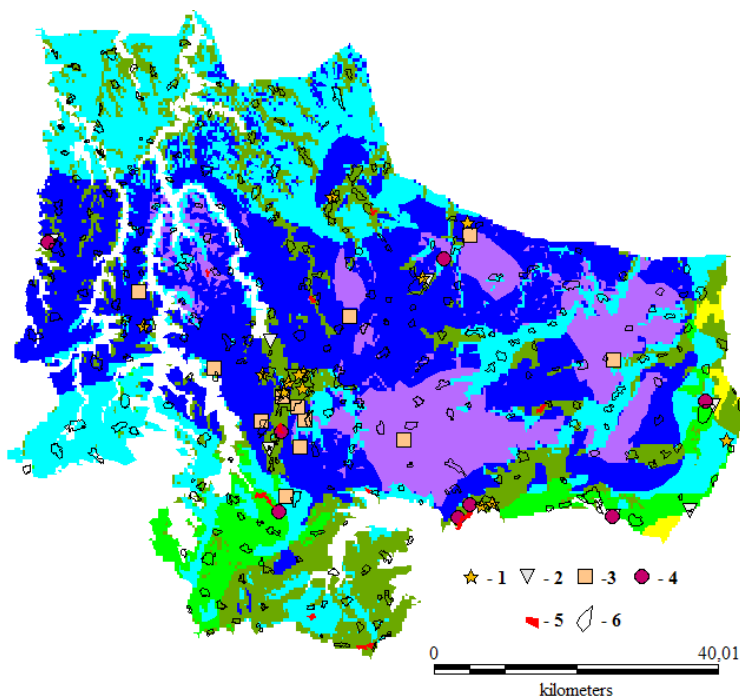


Фиг. 11. Разпределение на зоните с различна уязвимост на сарматския водоносен хоризонт

Fig. 11. Percentage distribution of areas occupied by DRASTIC classes for the Sarmatian aquifer

Дискусия

Наред с районирането на разглеждания водоносен хоризонт по уязвимост е важно и присъствието на потенциални източници на замърсяване и тяхното положение (фиг. 12). Анализът на наличната информация относно площни замърсители показва, че в разглеждания район основно разпространение имат територии, които не представляват потенциални източници на замърсяване – главно ненарушени горски масиви, пасища и ненапооявана орна земя, която умерено се третира със средства за растителна защита и препарати за наторяване. По-съществено значение имат самите населени места, които се явяват потенциални сериозни източници на замърсяване и често попадат върху зоните на разпространение с различни класове на уязвимост. В локален план кариерите за добив на скални материали също оказват влияние върху уязвимостта на подземните води. Отнемането на почвения слой и част от земната основа намаляват защитните свойства по отношение преминаването на замърсители през зоната на аерация на водоносния хоризонт. Съществена роля имат и точковите източници на замърсяване: депа и други площадки за съхранение и трансфер на различни типове отпадъци, животновъдни и птицевъдни ферми, пречиствателни станции, промишлени предприятия. Те са неравномерно разположени на територията на разпространение на водоносния хоризонт и попадат върху площи с различни балове по уязвимост (табл. 3, фиг. 12).



Фиг. 12. Разпространение на различни източници на замърсяване: 1 – промишлени площадки; 2 – пречиствателни станции за отпадъчни води; 3 – места за отглеждане на птици и животни; 4 – депа за отпадъци; 5 – кариери; 6 – населени места (цветовете на зоните с различна уязвимост са както на фиг. 10)

Fig. 12. Location of various sources of pollution: 1 – industrial sites; 2 – waste water treatment plants; 3 – farms for poultry and livestock; 4 – landfills; 5 – quarries; 6 – settlements (the colors of areas with different vulnerability are as in Fig. 10)

Таблица 3. Източници на замърсяване в зони с различни класове по уязвимост (данните за населението са на Националния Статистически институт – <http://www.nsi.bg/nrnm/index.php?ezik=bul&f=9>)

Table 3. Sources of pollution in areas with different vulnerability classes (data for population are taken from the website of the National Statistical Institute – <http://www.nsi.bg/nrnm/index.php?ezik=bul&f=9>)

		Зони с различни класове по уязвимост					
		<79	80-99	100-119	120-139	140-159	160-179
Населени места	брой	53	101	134	104	32	2
	площ	23,34	61,71	56,55	81,2	23,24	0,15
	жители	10400	43900	30300	107400	12400	120
Карieri		1		2	7	2	
Промислени площадки			5	2	6		
Животновъдни ферми		2	7	2	1		
Пречиствателни станции отпадъчни води			1		3	3	
Депа за отпадъци			1	2	3	2	

При прегледа на получените резултати се установява, че в площите с най-висока степен на уязвимост (от 150 до 179 бала) почти отсъстват източници на замърсяване, с изключение на малки (не повече от 3,5%) територии на населените места Шабла и Езерец. С най-висок антропогенен натиск са зоните със сравнителна средна и по-ниска от средна степен на уязвимост (от 100 до 139), където са разположени повечето от населените места, включително и някои от най-големите в района (Добрич, Балчик, северозападните квартали на гр. Варна, включително вилните зони и много други села). В тези зони покривката на водоносния хоризонт и голямата зона на аерация до голяма степен предпазват водоносния хоризонт от замърсяване. Положителното е, че повечето от източниците на замърсяване са съобразени с изискванията за опазване на околната среда и състоянието им редовно се контролира от компетентните органи. Рискови остават населените места без канализация. По-различен е случаят с един от промишлените източници на замърсяване „Проучване и добив на нефт и газ“ АД – Шабла, чиито площадки са разположени на широка площ върху зони с различни класове на уязвимост – главно с балове от 100 до 119. Имайки предвид, че спецификата на дейността на предприятието е свързана с прокарване на сондажи, включително експлоатационни, съвсем естествено е, че рисковете тук, освен от източници на замърсяване, разположени на повърхността, са свързани и с аварии в сондажи в дълбочина.

Заклучение

Прилагането на метода DRASTIC за оценка на уязвимостта по отношение на замърсяването на сарматския водоносен хоризонт в Североизточна България, дава възможност да се направи райониране на територията на разпространението му. От отделените в методиката осем класа по уязвимост в изследваната площ отсъстват двата най-високи класа, а третият е с незначително разпространение. Това дава основание да се направи извода, че основната част от разглеждания водоносен хоризонт се характеризира със средна и ниска степен на уязвимост (около 77% от общата площ са с уязвимост под 100 бала), което е благоприятен фактор и има важно значение при прогнозиране вероятностите за замърсяване

на подземните води. Незначителна част от разглеждания район (1%) е с висока уязвимост (балове от 160 до 179). Това са зони, разположени в близост до крайбрежието, свързани с разкрития на окарстените варовици. За екологичното състояние на разглежданата територия значение има и местоположението и типа на потенциалните източници на замърсяване на повърхността. С най-съществено значение са предимно населените места и точковите източници – промишлени площадки, депа за отпадъци, пречиствателни станции, животновъдни ферми. С най-висок антропогенен натиск са зоните с класове на уязвимост между 80 и 139. Единствената зона, където приложената оценка за уязвимост е неподходяща, е зоната, засегната от добива на нефт и газ при Шабла, където са възможни замърсявания на подземни води в обсега на самия водоносен хоризонт. Затова само за тази зона оценката на уязвимостта е необходимо да се извърши по други методи.

Литература

- Антонов Х. 1973. Миоценският водоносен хоризонт в Добруджа и използването му за водоснабдяване. – В: *Сбор. докл. Седма науч. сесия по хидрогеол. и инж. геология*. 3-13.
- Антонов, Х., Д. Данчев. 1980. *Подземни води в НРБ*, София, ДИ „Техника“, 360 с.
- Антонов, Х., Б. Райкова. 1978. Опит за класифициране на подземните води в България според тяхната уязвимост от замърсяване, *Хидрология и метеорология*, 6, 12-20.
- Бендерев, А., С. Веселинов, С. Бресковски, П. Стефанов, М. Паскалев. 1992. Качествена характеристика и условия на защитеност на пресните и подземните води в района на селата Беглеж, Петърница, Горталово. *Минно дело и геология*, 6, 20-27.
- Бендерев, А., М. Кръстанов, Б. Беров. 2014. Оценка на основните фактори, влияещи върху уязвимостта на подземните води в Крайдунавските низини, *Проблеми на географията*, 1-2, 87-99.
- Василев Д. 1943. *Югоизточна Добруджа и нейното водоснабдяване*. С., Печ. Андреев и др., 249 с.
- Великов, Б., П. Пенчев, А. Пулидо-Бош. 1996. Относно някои хидрохимични характеристики на подземните води в Североизточна България. – В: *Национален Симпозиум „Качество и пречистване на питейните води в България“*, Слънчев бряг, 118-123.
- Герасимов, И., И. Антипов-Каратаев. 1960. *Почвите в България*. Земиздат, София, 526 с.
- Данчев Д. 1965. Сарматският водоносен хоризонт в Югоизточна Добруджа. – В: *Сбор. науч. тр. геол. и минно дело*, 17-38.
- Данчев Д. 1978. Определяне естествения динамичен запас на подземната вода в Южна Добруджа и Лудогорието. – *Год. ВМГИ*, т. 24, св. 4, 215-222.
- Данчев Д. 1981. Райониране на Южна Добруджа и Лудогорието по големина на подхранване на подземните води. – *Год. ВМГИ*, т. 26, св. II, 199-207.
- Данчев, Д., П. Бецински, М. Мачкова, Л. Василева. 1978. Режим и баланс на подземните води в сарматския водоносен хоризонт на Южна Добруджа. – *Хидрол. и метеорол.*, 2, 29-39.
- Данчев, Д., А. Дамянов. 1983. Карстът и безводиеето на Юж. Добруджа и Лудогорието. – В: *Европ. регионал. конф. по спелеология. Сбор. от материали*, т. II, 349-354.
- Данчев Д., А. Дамянов. 1984. Химическият состав подземных вод Южной Добруджи и Лудогория. – В: *Anuarul Inst. geol. și geofiz.*, v. 63, 313-319 (XII Congr. CBGA).

- Данчев Д., А. Дамянов, Е. Николов, А. Бендерев, И. Гушков. 1981. Закономерности в разпространението на подземните води в Южна Добруджа и Лудогорието. – В: 20 г. НИС при ВМГИ, ч. 2, 325-334.
- Мачкова М. 1984. Влияние на някои климатични фактори върху режима на нивото на подземните води в сарматския водоносен хоризонт в Югоизточна Добруджа и прогнозирането му. – *Хидрол. и метеорол.*, 3, 18-27.
- Миланова, В., Г. Чешитев. 1989. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Нови Пазар*. ВТС – Троян.
- Михайлова, Б., А. Бендерев, К. Костов. 2009. Прилагане на ГИС анализ за локализиране на аграрни площи, попадащи в уязвими зони на карстови терени (на примера на Западна Стара планина), *Geosciences*, 125–126.
- Мондешка М. 1988. Мелиоративни особености на рендзина с карбонатна плоча. *Сп. „Почвознание и агрохимия“*, I, 39-44.
- Петков, И., В. Петров. 2005. Оценка на уязвимостта на подземните води в района около комбината за цветни метали, Пловдив с помощта на ГИС, *Международна конференция ECOLOGY*, Слънчев бряг, т. III, 76-86.
- Петров, В. 2006. *Хидрогеоложка характеристика на плиоценския водоносен комплекс на територията на Софийската котловина*. Автореферат на дисертация, 37 с.
- Попов, Н., Е. Коюмджиева. 1987. Миоценът в Североизточна България (литостратиграфска подялба и геолошко развитие). *Сп. Бълг. геол. д-во*, 48, 3, 16-33.
- Райкова, Б., К. Спасов, М. Мачкова. 1980. Върху химичната карстова денудация от сарматския водоносен хоризонт на Югоизточна Добруджа. – *Хидрол. и метеорол.*, 4, 12-20.
- Райкова, Б., Е. Стоева, К. Спасов, 1983. Някои методични основи при съставянето на картата за уязвимостта към замърсяване на пресните подземни води в НРБ, *Хидрология и метеорология*, 32 (1), 3-11.
- Спасов В., В. Павлова. 2015. Режим, баланс и естествени ресурси на подземните води в сарматските седименти на североизточна България. *Сп. Бълг. геол. д-во*, 76, 1, 59-78.
- Стоянова В. 2013. Приложимост на индекс методите от типа DRASTIC за оценка на уязвимостта на подземните води от замърсяване с арсен. – Проблеми на географията, *Geography*, 3-4, 83-99.
- Стоянова В. 2015. *Уязвимост на грунтовете води от замърсяване с арсен в заливната тераса на река Огоста между село Мартиново и язовир „Огоста“*. Дисертация за научно-образователната степен „доктор“, НИГГГ, 234 с.
- Филипов Л. 1991а. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Дулово*. ВТС – Троян.
- Филипов Л. 1991б. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картни листове Шокаричю и Крушари*. ВТС – Троян.
- Филипов Л. 1991в. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Генерал Тошево и Мангалия*. ВТС – Троян.
- Чешитев, Г., Ц. Чонтова, В. Миланова, Н. Попов, В. Коюмджиева. 1991а. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Добрич*. ВТС – Троян.
- Чешитев, Г., Ц. Чонтова, Н. Попов, В. Коюмджиева. 1991б. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Балчик и Шабла*. ВТС – Троян.
- Чешитев, Г., В. Миланова, Н. Попов, В. Коюмджиева. 1992. *Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Варна и Златни пясъци*. ВТС – Троян.

- Чешитев, Г., Ц. Чонтова, В. Миланова, Н. Попов, В. Коюмджиева. 1994. *Обяснителна записка към Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Добрич*. КГМР и Геология и Геофизика АД, 48 с.
- Чешитев, Г., Ц. Чонтова, Н. Попов, Е. Коюмджиева. 1995. *Обяснителна записка към Геоложка карта на България. М 1:100000. Картен лист Балчик и Шабла*. КГМР и Геология и Геофизика АД, 51 с.
- Aller, L., T. Bennett, J. H. Lehr, R. Petty, G. Hackett. 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. *EPA 600/2-87-035*, 622 pp.
- Benderev, Al., Z. Stevanović, B. Mihaylova, Vl. Živanović, K. Kostov, S. Milanović, St. Shanov, I. Jemcov. 2016. Development and protection of transboundary karst and karst aquifers in West Stara Planina Mountains (Bulgaria–Serbia). Chapter 6. – In: *Stevanović et al., eds, Karst without Boundaries*. CRC Press BALKEMA 2016, 71–86.
- Danchev, D., B. Velikov, A. Damyanov. 1982. Effect of forming on underground water pollution in North-East Bulgaria. – In: *Intern. Sympos. IAN (Intern. Ass. of Hydrogeologists)*, Prague. Memoires, v. XVI, Pth. 2, 71–83.
- Foster S. S. D., 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. – In: *Van Duijvenboden W., Van Waegeningh H. G. (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*, TNO Committee on Hydrogeological Research, Proc Info 38, 69–86.
- Gogu, R., A. Dassargues. 2000. Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, 39, 6, 549–559.
- Liggett, J., E., S. Talwar. 2009. Groundwater vulnerability assessments and integrated water resource management. *Streamline watershed management*, V. 13, 1, Bulletin Fall article 4, 18–29.
- Machkova M. 2008. Hydrogeological Settings in Dobrudzha Area and Groundwater Monitoring Networks in Transboundary Aquifers. – In: *Overexploitation and Contamination of Shared Groundwater Resources*, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer, Netherlands, 83–102.
- Machkova, M., D. Dimitrov, A. Pulido Bosch, J. M. Caloforra, M. L. Calvache, M. Lopez Chicano, P. Penchev, B. Velikov. 1997. Main hydrogeological problems in the karstic aquifers in NE Bulgaria, *Karst Waters & Environmental Impacts*, Balkema, Rotterdam, 53–58.
- Machkova, M., V. Pavlova, A. Benderev, A. Pulido Bosch, A. Lichev. 2014. Stable isotopes in the main karst aquifers in Dobrudzha Region (NE Bulgaria), *Procc. XX Congress of CBGA*, 24 to 26 September 2014, Tirana, Albania, v. 1, 388–391.
- Margat J. 1968. Vulnérabilité des nappes d'eau souterraine à la pollution (vulnerability of groundwater to pollution). *BRGM-Publication 68 SGL 198 HYD*, Orléans
- Orehova, T., P. Gerginov, O. Karimova. 2009. Groundwater vulnerability map for the Ogosta River Basin, northwestern Bulgaria, *Geologica Balcanica*, 38, 1–3, 56–67.
- Orehova, T., V. Pavlova. 2014. Groundwater drought in Northeast Bulgaria and the SPI index. *Proceedings XXVI Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, Degendorf, Germany, 335–338.
- Pavlova, V., A. Benderev. 2014. Data analysis from the monitoring observations of groundwater levels in the Sarmatian aquifer in Northeastern Bulgaria. *Proceedings GeoConference SGEM 2014*, v. II, 251–258.
- Pavlova V. 2013. Analysis of the mode of groundwater levels in the Sarmatian aquifer of Northeastern Bulgaria. *BJMH*, 18, 1–2, 57–65.

- Pulido Bosch, A., M. Lopez-Chicano, M. L. Calvache, J. M. Calaforra, M. Machkova, D. Dimitrov, B. Velikov, P. Pentchev. 1996a. Principales Caracteristicas de los Acuíferos Carbonatados de la Region de Dobrich (Bulgaria). *Soc. Geol. Espana*, 9 (3-4).
- Pulido Bosch, A., M. Lopez-Chicano, M. L. Calvache, J. M. Calaforra, M. Machkova, D. Dimitrov, B. Velikov, P. Pentchev. 1996b. Consideraciones sobre el flujo en el acuífero kárstico profundo de la región de Dobrich (NE de Bulgaria), Univeritat de Jaume I, *Contribuciones a la investigación y gestión del agua subterranea*, 67-85.
- Pulido Bosch, A., M. Machkova, M. Lopez-Chicano, M. L. Calvache, D. Dimitrov, J. M. Calafora, B. Velikov, P. Pentchev. 1997. Hydrogeology of the upper aquifer, the of Dobrich Region, northeastern Bulgaria. *Hydrogeology Journal*, US Geology Survey, 2, 5, 75-85.
- Pulido Bosch, A., M. Lopez-Chicano, J. M. Calaforra, M. Machkova, D. Dimitrov, B. Velikov. 1999. Groundwaters problems in the karstic aquifers in the Dobrich region (NE Bulgaria). *Hydrological Sciences Journal*, 44, 6, 913-927.
- Stoyanova, V., Ts. Kotsev. 2016. GIS-based assessment of groundwater vulnerability to arsenic contamination in the floodplain of the Ogosta River, NW Bulgaria. *Proceedings 6th International Conference on Cartography and GIS*, Albena, Bulgaria, 668-677.
- Vasileva, T., T. Orehova. 2015. Evaluation of the groundwater recharge for the Danubian Plain (Northern Bulgaria) based on climatic data. *Годишник на минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски"*, Том 58, Св. I, Геология и геофизика, 214-219.
- Vrba, J., A. Zaporozec. 1994. Guidebook on mapping Groundwater Vulnerability, International Association of Hydrogeologists, *International Contributions to Hydrogeology*, 16, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Hannover, 131 p.
- Witkowski A. 2016. Groundwater vulnerability: from scientific concept to practical application. *Environ. Earth Sci.*, 75:1134, DOI 10.1007/s12665-016-5896-7
- Zwahlen F. (ed). 2003. *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. Final Report COST Action 620, European Commission Directorate General XII Science Research and Development, Brussels, 297 pp., available at: http://capella.unine.ch/chyn/php/publica_intro.php

Постъпила: 06.10.2016

Received: 06 October 2016

Приета: 15.11.2016

Accepted: 15 November 2016