



Groundwater investigation of the Sarmatian aquifer to create a Monitoring network for groundwater age and recharge study

Marin Ivanov*, Evelina Damyanova

*National Institute of Meteorology and Hydrology,
Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract: In the present study, the groundwater in the Sarmatian aquifer in Dobrudja has been studied. The aim of the study was to design a groundwater monitoring network, with main goal to study groundwater age, transit time and recharge using isotopes techniques. The study area is presented by three groundwater bodies - BG2G000000N044 - “Porous waters in the Neogene-Sarmatian Northeast and Central Dobrudja”, BG1G000000N049 - Karst-pore waters in the Neogene-Sarmatian Dobrudja and BG2G000000N018 - BG2G000000N018 - “Porous waters in the Sarmatian-Varna “Batovo.” The information used in this study has been collected from the National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH), National geological fund, Dobrich water supply company, Danube and Black Sea Basin Directorates, geological maps, results from local projects and etc. The collected information was digitized and organized in a GIS database, using ESRI’s ArcMap software product. Based on this, several analyzes have been made: hydrodynamic map for past and present period, comparing changes in groundwater dynamics, all groundwater intake and monitoring wells were situated on maps, based on their density and water abstraction rate, zones of pressure caused by anthropogenic activity have been delineated; areas of groundwater recharge, transit and drainage are obtained. An assessment of water quality has been made and summarized by average values of various chemical components (NH_4 , Fe, Cl, NO_2 , NO_3 , SO_4 , PO_4) and field parameters pH, specific electrical conductivity (SpC) and water temperature. Field studies were also performed using deep profiling to clarify the homogeneity of groundwater at depths. As a result of the study a groundwater sampling network has been proposed to study groundwater age, transit time and recharge using isotopes techniques. It is recommended that further future research to be carried out in order to fill in the gaps in the data for deep profiling of the aquifer. The information in plan and depth collected within this study, can be used for more efficient groundwater management in the area.

Keywords: groundwater, Sarmatian aquifer, Dobrudja, GWB, monitoring network

* marin.ivanov@meteo.bg

Изследване на подземните води в сарматски водоносен хоризонт с цел създаване на мониторингова мрежа изследваща възрастта и подхранването им

Марин Иванов, Евелина Дамянова

*Национален институт по метеорология и хидрология
Бул. Цариградско шосе, 66, 1784 София*

Резюме: В настоящето проучване са изследвани подземните води в сарматския водоносен хоризонт в Добруджа. Целта на проучването е да се проектира мониторингова мрежа за подземни води, чрез която да се изучи възрастта и подхранването им, чрез прилагане на методи с естествени изотопи. Обхванати са три подземни водни тела BG2G000000N044 – “Порови води в неоген-сармат Североизточна и Средна Добруджа”, BG1G000000N049 – Карстово-порови води в неоген-сармат Добруджа” и BG2G000000N018 – “Порови води -в неоген-миоцен-сармат Изгрев-Варна-Ботево-Батово”. Събраната информация е цифровизирана и организирана в ГИС база данни, за целта е използван софтуерен продукт ArcMap на ESRI. Въз основа на това са направени няколко анализа: хидродинамична карта в изследвания район за период от една година (2021), визуализираща измененията в динамиката на подземните води; ситуирани са всички водоземни съоръжения, чрез които са очертани зони на натиск причинени от антропогенната дейност; зони на подхранване, транзит и дрениране на подземните води; направена е и обобщена оценка на качеството на водите, чрез очертаване на средни стойности на различни химични компоненти (NH_4 , Fe, Cl, NO_2 , NO_3 , SO_4 , PO_4) и полеви параметри pH, специфична електропроводност (SpC), температура на водата. Използвана е информация за химичните компоненти от Вик Добрич. В резултат на анализите са предложени пунктове за пробонабиране и пунктове за извършване на дълбочинни профили, с цел изясняване на евентуални различия в дълбочината на подземните води във водоносния хоризонт.

Ключови думи: сарматски водоносен хоризонт, Добруджа, ПВТ - BG2G000000N044; BG1G000000N049; BG2G000000N018, мониторингова мрежа.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Актуално изследване на сарматски водоносен хоризонт в североизточна Добруджа бе продиктувано поради следните причини: територия с най-ниски средногодишни валежи за цялата страна; липса на достатъчно повърхностни води; подземните води са основен воден ресурс за всички нужди на населението; трансграничен водоносен хоризонт; наличие на замърсяване с нитрати и нитрити; очаквано намаляване на валежите, за района при различни сценарии за изменение на климата; очакване на по-чести засушавания, които ще доведат до по-интензивно използване на подземните води за напояване; разрастване на туристическия сектор

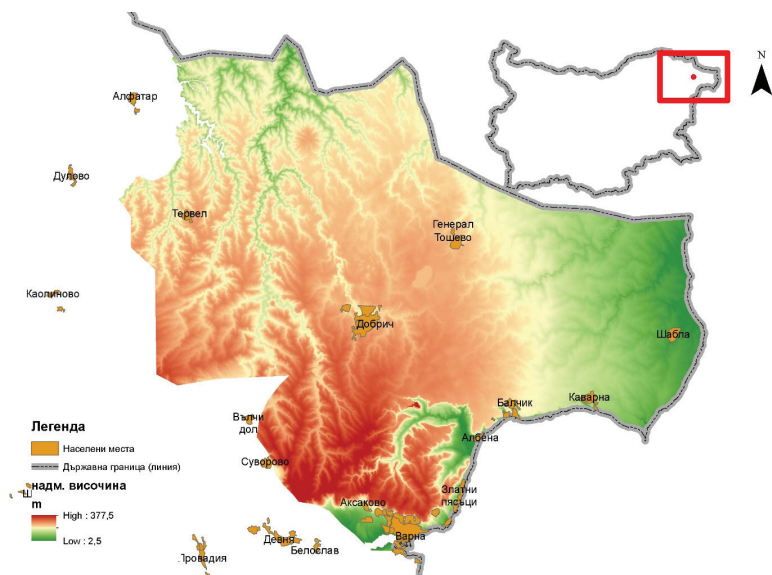
в следващите години и използване на повече воден ресурс; наличие на защитени влажни територии (езера), зависещи изцяло от подземните води.

2. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Основните изисквания, които са следвани за определяне на мониторинговите пунктове са: да представят зоните на подхранване, транзит и дрениране; да обхващат пълно и изцяло изследваната област, като в същото време да са ограничен брой – не повече от 30 бр.; да са основно сондажни кладенци, които по възможност да обхващат цялата мощност на водоносния хоризонт; устията на сондажите да са достъпни и проходими за спускане на уреди за изследване, помпи, пробовземачи и др.; да представят зони със средни стойности за съответните химични компоненти в подземните води, както и такива с отклонения от средните концентрации.

3. ОБЛАСТ НА ИЗЛЕДВАНЕ

Изследваният район се намира в североизточна България в района на Добруджа. Обхваща почти цялата област Добрич и части от област Варна и Силистра. Релефът на областта е предимно равнинно-хълмист и обхваща Добруджанско, Лудогорско и Франгенското плато с надморска височина от 350 m, в югозападната част (фиг. 1), която постепенно намалява в източна посока до нула по крайбрежието на Черно море. В тектонско отношение, разглежданата територия се отнася към източния склон на Севернобългарското издигане – една от крупните позитивни структури на Мизийската платформа. От климатична гледна точка, лятото е топло, а зимата студена, валежите имат пролетно-летен и зимен максимум. Годишната сума на валежите е 400-500 mm/y и е една от най-ниските за България (Orhova, Pavlova 2014). Характерно за проучвания район е слабо развитата речна мрежа, поради геоложките особености на релефа. По-големи реки тук са Батова и Суха река, която постепенно губи водите си в карстовите форми на релефа и така участва в директното подхранване на подземните води.



Фиг. 1. Местоположение на изследвания район
Fig. 1. Location of the area

3.1. Геология и хидрогеология

Сарматските отложения са представени в три района с различна динамика и релеф (фиг. 2). Това са районите на:

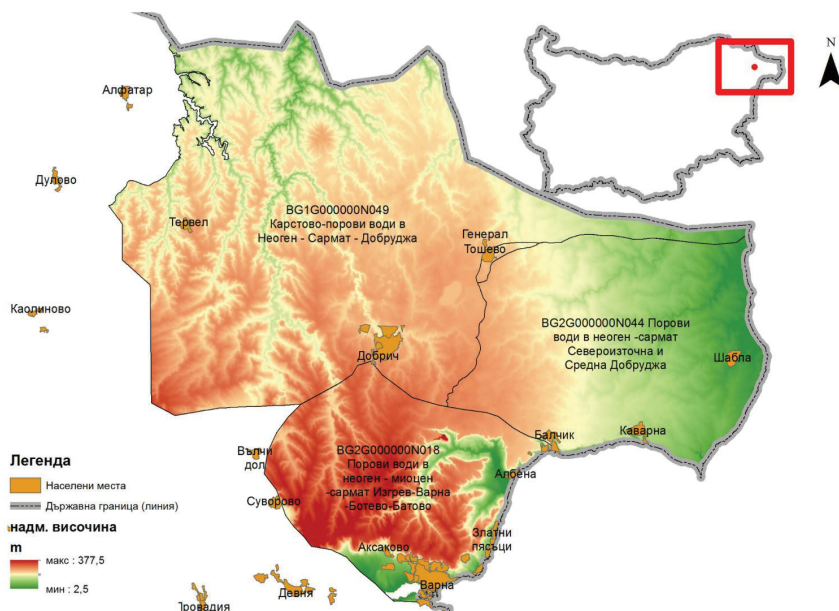
Варненското плато е представено с подземно водното тяло (ПВТ) BG2G000000N018 – “Порови води в неоген-миоцен-сармат Изгрев-Варна-Ботево-Батово”, района на Добруджанското плато с BG2G000000N044 – “Порови води в неоген-сармат Североизточна и Средна Добруджа” и Тервелски район с BG1G000000N049 – Карстово-порови води в неоген-сармат Добруджа”.

Варненското плато е представено с трите си етажа като долният е изграден от пясъци и чакъли, а средният и горният от варовици органогенни, черупчести и окарстени. Горният се намира в зоната на аерация, средната порестост е 0,15 до 0,20, със среден коефициент на филтрация 20–25 m/d и водопроводимост 400–500 m²/d при средна дебелина на наситената част 20 m. Подземните води се подхранват от валежите през лъса над варовиците и от директните си разкрития. Водите се дренират от множество извори и от речно-овражната мрежа. Водоносният хоризонт се отнася към водообилните, а водата е прясна с минерализация под 1 g/l (Antonov&Danchev, 1980; Danchev et al., 1981).

В източно-Добруджански район седиментите потъват стъпаловидно в източна посока, като най-голяма мощност имат в Шабленско и Каварна (до 100 m). Сарматът тук отново е представен с трите си етажа, като най-голямо разпространение има

средния, а най-малко горният. Долният и средният етаж са представени с пясъци, варовици и мергели, а горният е представен от варовици, органогенни шуплести и окарстени. Средната стойност на водоотдаване е 0,15-0,18 за варовиците и 0,10-0,12 за пясъците. Коефициентът на филтрация за варовиците стига до 300 m/d, а за пясъците е до 15-20 m/d. Дебелината на варовиците стига до 200 m в района на Каварна-Шабленска грабен-синклинала. Средната дебелина на водонаситената част е 60 m. Голяма част от варовиците заедно с лъсовата покривка, която има регулираща функция са в зоната на аерация. Подземната вода се подхранва от валежите и временни повърхностни води. В директните разкрития на карбонатните скали подхранването е интензивно и по-затруднено в лъсовата покривка. Средното подхранване е 18-19 % от сумата на годишните валежи. Концентрирани изходища на подземни води има в Шабленско и Дуранкулашко езеро, като цялото им подхранване е изключително от подземните води на сармата. Тези езера са образувани в удавени долини, като отложените глинести материали в тях имат дебелина 30 m, като по такъв начин се образува преграда между пресните и солените води. Подземния поток се дренира към долината на р. Батова и към Черно море, а известна част западно от Кардам и Генерал Колево подхранва седиментите на долна креда. Завишените стойности на нитратите според много изследвания показват (Antonov, Danchev 1980), че водите не са защитени добре от повърхностни замърсявания.

В Тервелски район сарматските отложения са изградени отново от варовици и пясъци, като характерно е, че отложенията са над нивото на хидрографската мрежа. За подложка служат варовици и мергели на барем-апта. Представен е със средният си етаж. Дебелината на пясъците е средно 15 m и залягат под варовиците, които са шуплести и интензивно окарстени и представляват много добра среда за акумулиране на вода. По такъв начин тук е акумулирана порно-карстова вода. Във водоразделните плата варовиците са покрити с лъсова покривка до 30 – 35 m. Водоносният хоризонт е безнапорен с наситена част от няколко до 20 m. Водите се подхранват само от валежите поради това, че се намират над ерозионния базис. Лъсът тук играе важна роля в регулирането на подхранването, през който инфилтрацията става доста забавено и по този начин не се наблюдават големи изменения в режима на подземните води. Дренират се чрез извори покрай речно-овражната мрежа и директно в нея (Антонов, Данчев, 1980).



Фиг. 2. Хидрогеоложки райони и подземни водни тела
Fig. 2. Hydrogeological regions and groundwater bodies

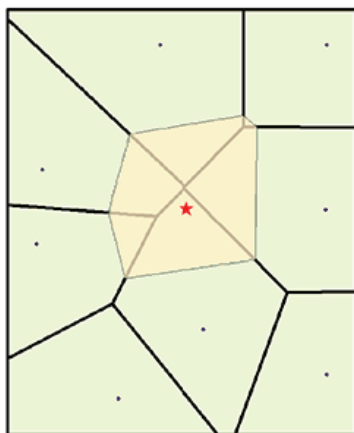
4. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ И МЕТОДОЛОГИЯ (ПОДХОД)

Използвана е архивна информация за района, относно наличието на съществуващи съоръжения. Източници са архивите на НИМХ, „Национален Геофонд“ и Басейнови дирекции „Дунавски район“ и Черноморски район“. Използвани са наличните геоложки карти в М 1:100 000, ГИС информация по проект „ЛСА“, както и данни за химическия състав на подземните води (NH_4 , Fe, Cl, NO_2 , NO_3 , SO_4 , PO_4) на водоизточници от ВиК „Добрич“ за 2020 и 2021 г. Където бе възможно се измериха параметрите рН и специфична електропроводност.

Информацията се структурира и подреди в ГИС база от данни, която послужи за бързото им анализиране и визуализация.

Използван бе метода на интерполация в ГИС среда Natural Neighbor, чрез който се създаде мрежа (грид) на разпределение чрез интерполация на наличните данни за всеки водоизточник за съответната година (2020 и 2021 г.). Вида на интерполацията е двумерна, пространствена разработена от Robin Sibson, като се основава на диаграмата на Вороной (Тисенови полигони). Принципът му на работа е показан на фиг. 3 (Sibson, R. 1981, Burrough at al. 2015, Longley at al. 2005, Sen 2016). Около всяка точка с известни данни се съставя мрежа от Тисенови полигони (диаграма на Вороной), показани със зелен цвят. За намиране на стойността в търсената точка

(червената звездичка) се изгражда нов полигон (бежов цвят). Съотношенията между площите на новия бежов полигон с първоначално съставените зелени полигони представляват средната тежест на всяка една съседна точка участваща, при намиране стойността в търсената точка (червената звездичка).



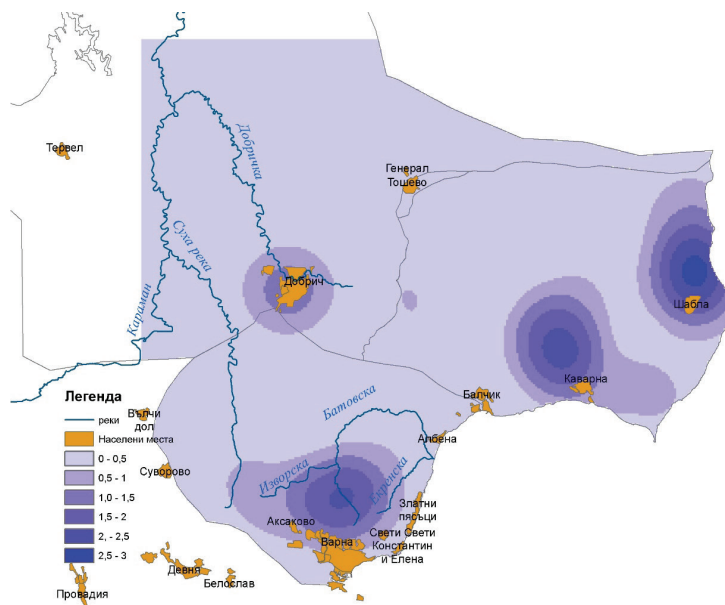
Фиг. 3. Визуализация на метода Natural Neighbor
Fig. 3. Voronoi diagram

Създадените гридове на разпределение за всеки един от използваните химични компоненти за 2020 и 2021 г., послужиха при избора на водоземни съоръжения.

Следващата стъпка бе провеждане на полеви изследвания за допълване на базата с данни. Първоначалната идея на полевите изследвания се базираше на дълбочинно профилиране и измерване на параметрите: специфична електропроводност, рН и температура, по цялата мощност на съответните сондажни стволоче. В процеса на работа бяха обследвани по описания начин няколко сондажни кладенци в района на гр. Добрич (284Т1), с. Крапец (308Т2, 305Т2) и с. Тюленово (346Т2).

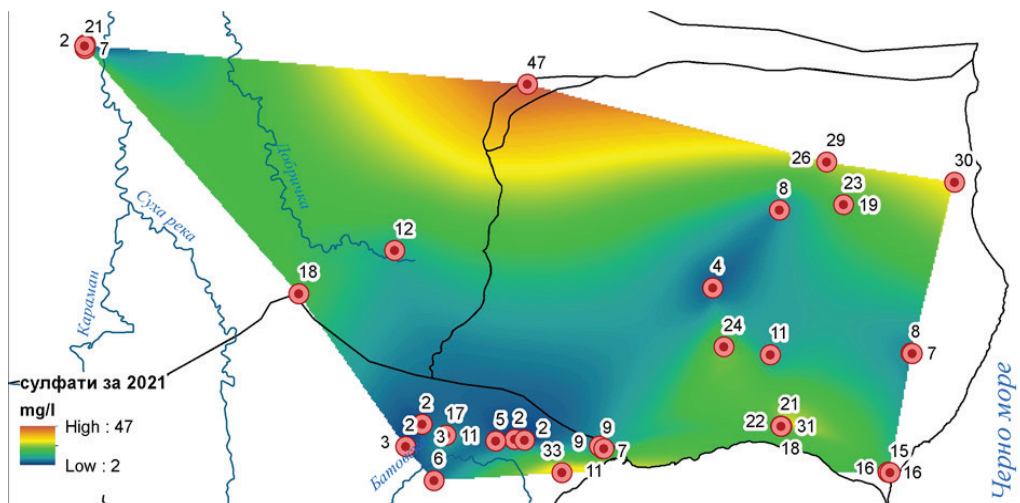
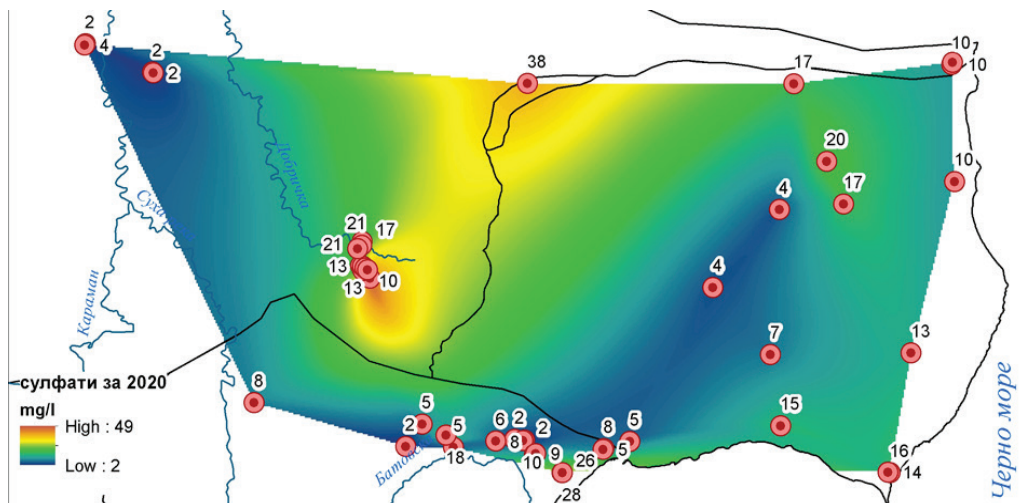
5. РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

Анализирани бяха над 1000 водоземни съоръжения, като в това число не влизат кладенци използвани за лични нужди на физически лица. На фиг. 4 са систематизирани и очертани зони с концентрация на водоземни съоръжения (Pulido-Bosch, A. at al. 1997, Spasov, Pavlova 2015). Най-голяма концентрация (на повече от 3 водоземни съоръжения на km²) има северно от гр. Шабла, Каварна и Варна, както и около гр. Добрич. Това разбира се кореспондира с нуждите от вода на местното население, както и използването ѝ за поливни нужди.

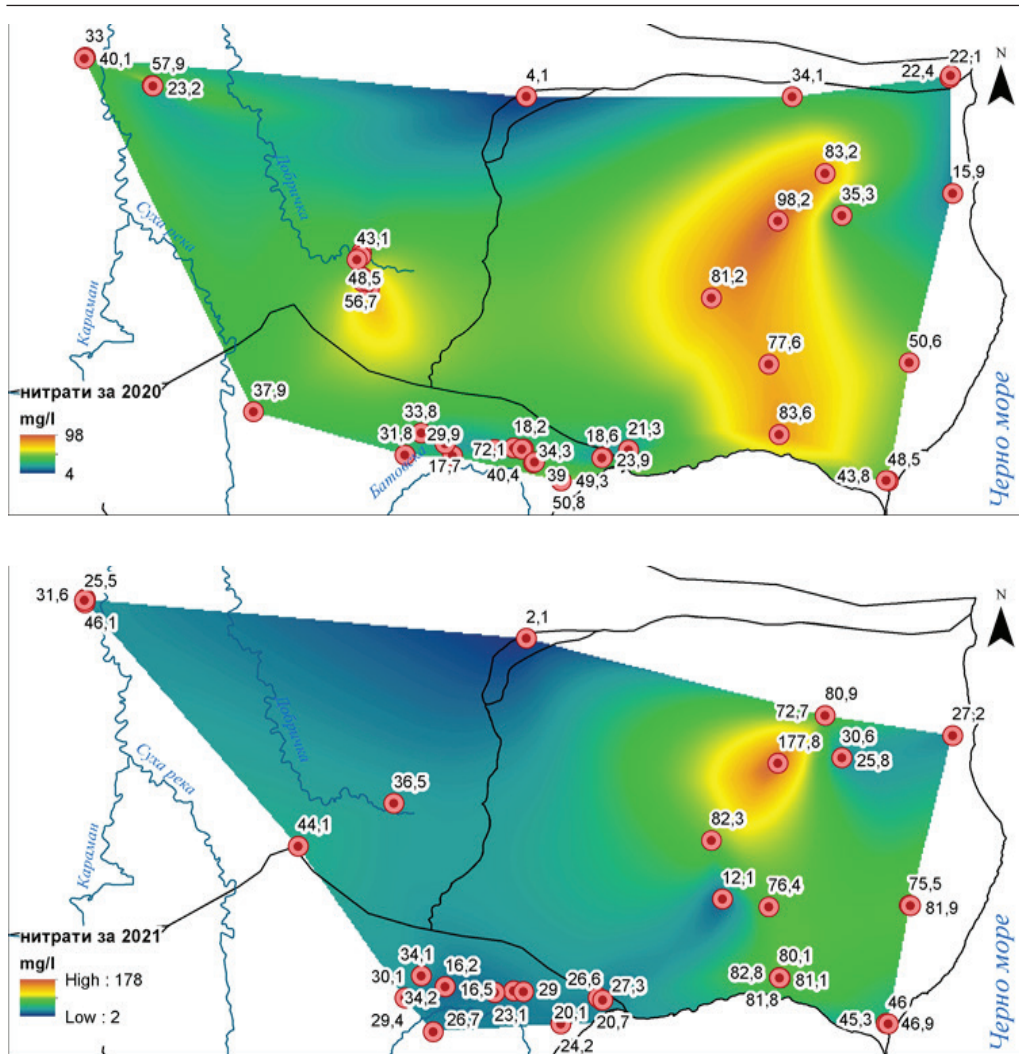


Фиг. 4. Гъстота на водоземните съоръжения на кв. км
Fig. 4. Density of wells m^2

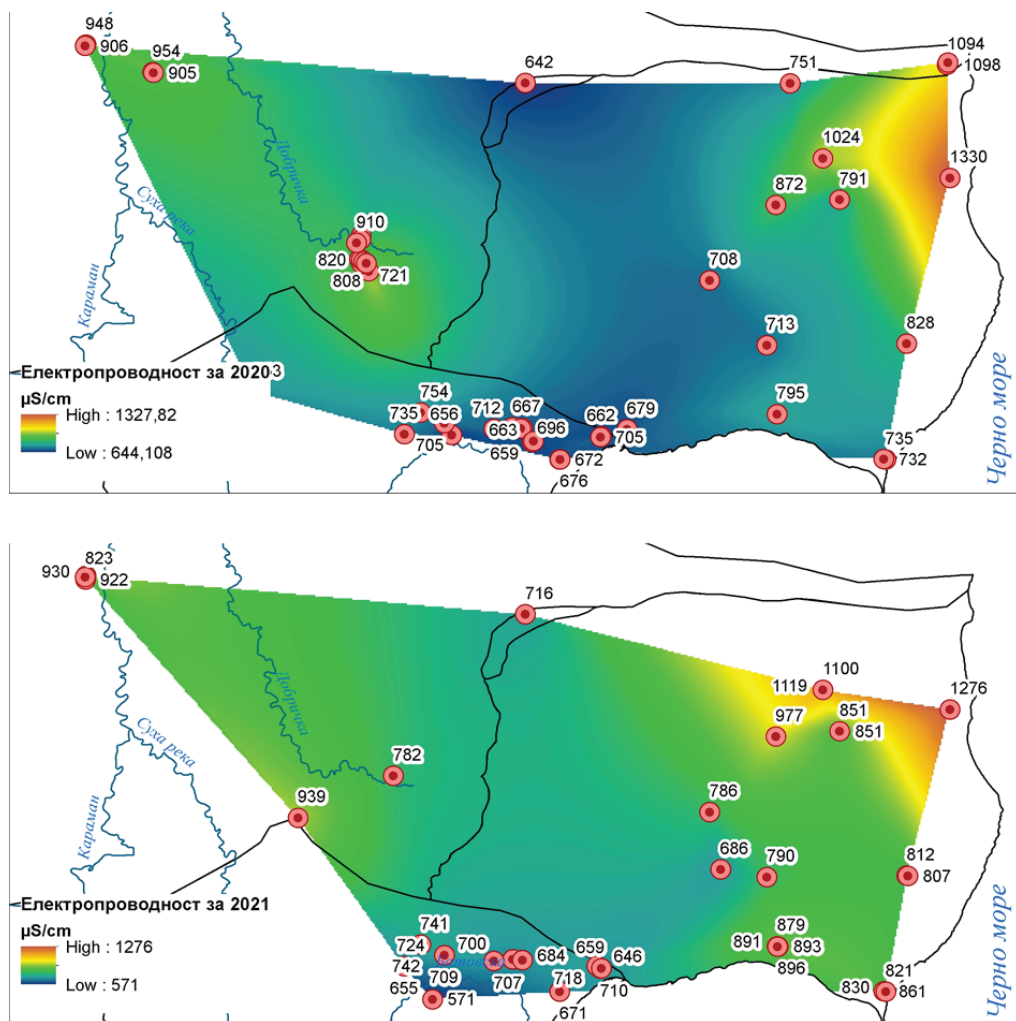
От данните за химичния състав на подземните води (амоний, желязо, нитрати, нитрити, сулфати, фосфати и хлориди) от пунктове на ВиК „Добрич“ за периода 2020 и 2021 г., както и параметрите рН, специфична електропроводност, бяха изработени множество гридове, чрез интерполация по метода „Natural Neighbor“ на разпределение за всеки един от съществуващите химични компоненти. По този начин се определи средната фоновата стойност за съответния химичен компонент за водоносния хоризонт (Таблица 1).



Фиг. 6. Разпределение на сулфати за 2020 и 2021 г.
Fig. 6. Distribution of SO_4 for 2020 and 2021



Фиг. 7. Разпределение на нитрати за 2020 и 2021 г.
Fig. 7. Distribution of NO_2 for 2020 and 2021



Фиг. 8. Разпределение на специфична електропроводност за 2020 и 2021 г.
Fig. 8. Distribution of specific conductivity (SpC) for 2020 and 2021

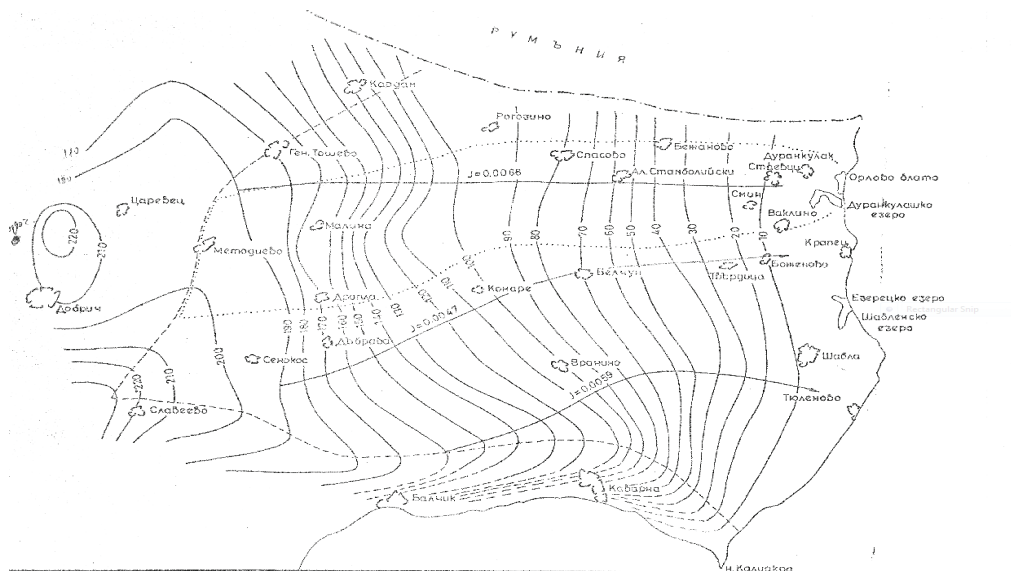
Всички изследвания на концентрациите на наличните химични компоненти са обобщени в Таблица 1.

Таблица 1. Средни стойности на съдържанието на някои химични съединения и елементи в подземните води в сарматския водоносен хоризонт. В червено са стойностите над нормите.

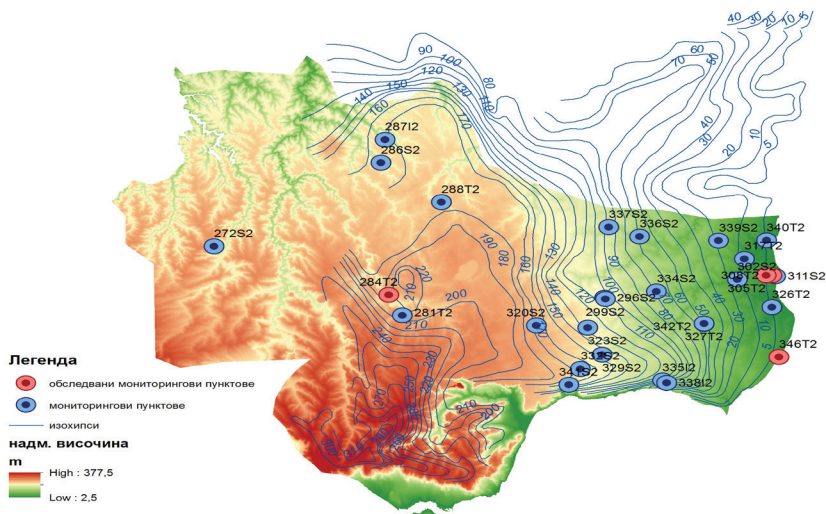
Table 1. Average values of the content of some chemical compounds and elements in the groundwater in the Sarmatian aquifer. Values above the norms are in red.

	Фонова стойност 2020	Стандартно отклонение 2020	Минимум 2020	Максимум 2020	Фонова стойност 2021	Стандартно отклонение 2021	Минимум 2021	Максимум 2021
pH	7,16	0,07	6,82	7,5	7,25	0,18	6,95	7,84
Амониеви йони mg/l	0,08	0,03	<0,05	0,29	0,08	0,04	<0,05	0,42
Специфична електропроводност $\mu\text{S}/\text{cm}$	804,3	102,7	642,6	1327,8	808,6	87,9	575,2	1274,9
Желязо $\mu\text{g}/\text{l}$	66,92	44,16	<10	224,04	101,55	91,97	<10	508
Нитрати mg/l	43,27	16,86	4,27	97,82	44,82	24,66	2,19	177,41
Нитрити mg/l	<0,01	0	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,14
Сульфати mg/l	15,48	7,95	2,01	48,00	17,36	8,24	2,02	46,89
Фосфати mg/l	0,25	0,09	0,06	0,80	0,17	0,06	<0,05	0,51
Хлориди mg/l	42,66	26,14	46,27	189,39	39,48	19,38	16,06	179,64

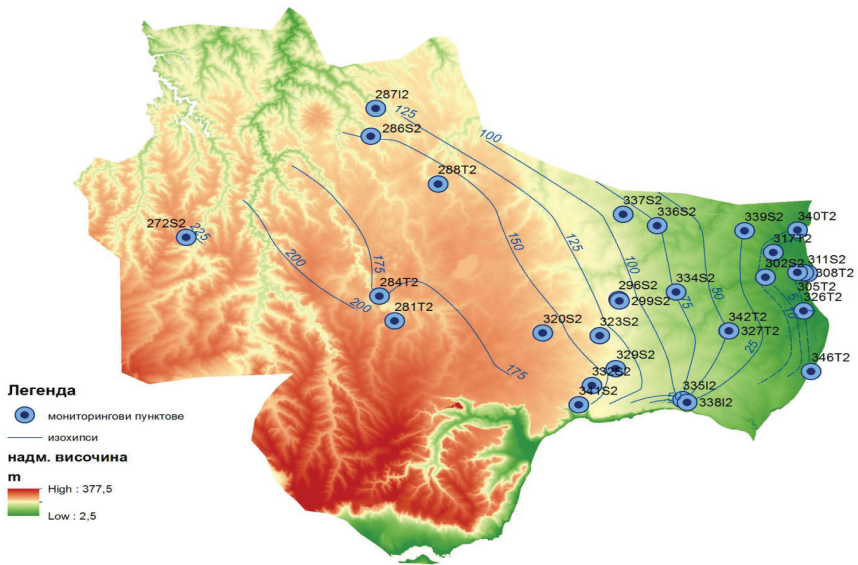
За целите на настоящето изследване се направи и сравнение на нивата на подземните води за минали и настоящи периоди, като са използвани 4 бр. хидродинамични карти на изследваната област. На фигура 9 е представена карта направена през 80-те г. на 20 век, а на фигура 10 са дадени данни за нивата през 2008 г. съставени по проект „Transboundary groundwater resources of Dobrudja and Dobrogea“. На фигура 11 е показана актуална хидродинамична карта за 2021 г. по средни данни от мониторингови пунктове на НИМХ. Всички налични карти и данни имат сходен градиент и посока на подземните води, въз основа на което за настоящето проучване сме създали обобщена схема на зоните на подхранване, транзит и дрениране на подземните води показани на фигура 12.



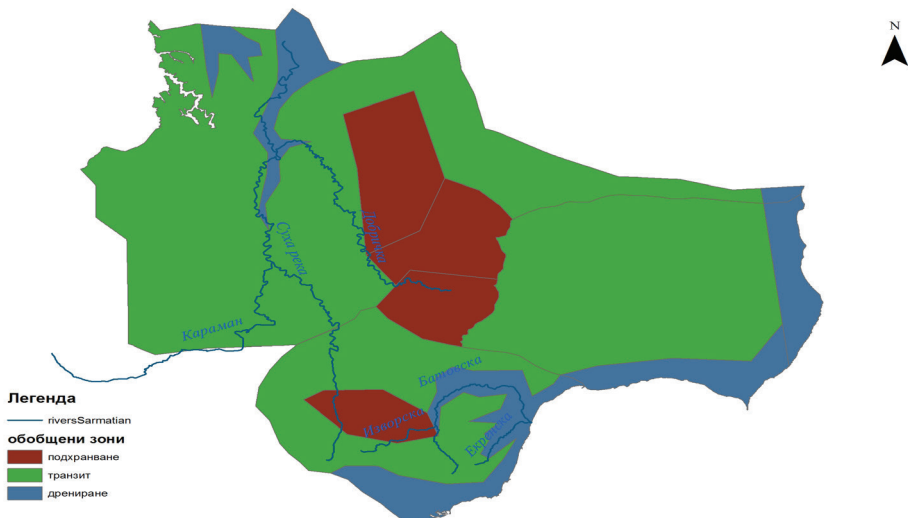
Фиг. 9. Хидроизохипси създадени от „Геоводинженеринг“ по данни от 80-те години
 Fig. 9. Hydrodynamic map created by “Geovodengineering” - 80s



Фиг. 10. Хидроизохипси съставени по проект „Transboundary Groundwater between Bulgaria and Romania in Dobrudja/Dobrogea Area“
 Fig. 10. Hydrodynamic map, created by project „Transboundary Groundwater between Bulgaria and Romania in Dobrudja/Dobrogea Area“



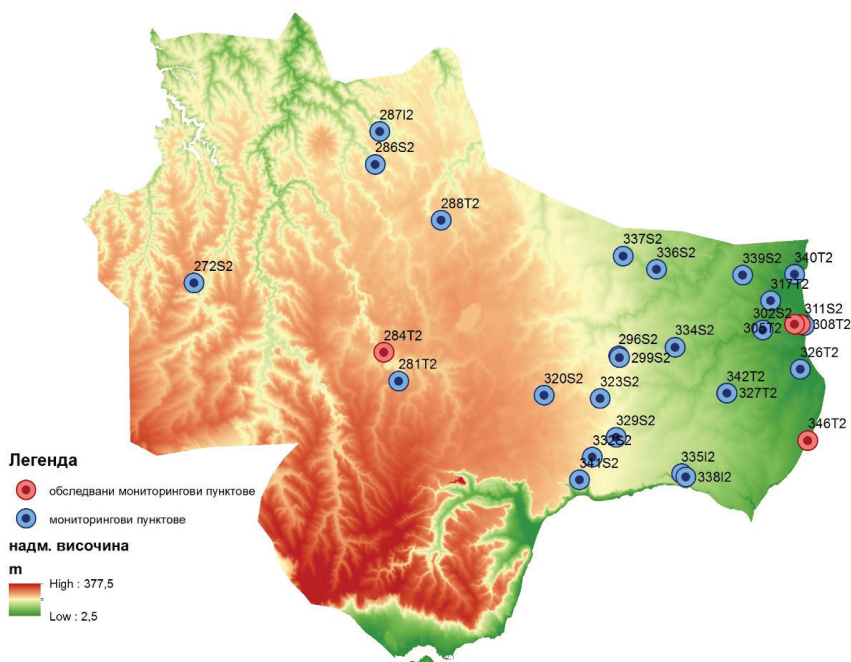
Фиг.11. Хидродинамична карта за 2021 г.
Fig. 11. Hydrodynamic map for 2021



Фиг. 11. Обобщени зони на подхранване, транзит и дрениране на подземните води в сарматски водоносен хоризонт
Fig. 11. Summarized areas of groundwater - recharge, transit and drainage in Sarmatian aquifer

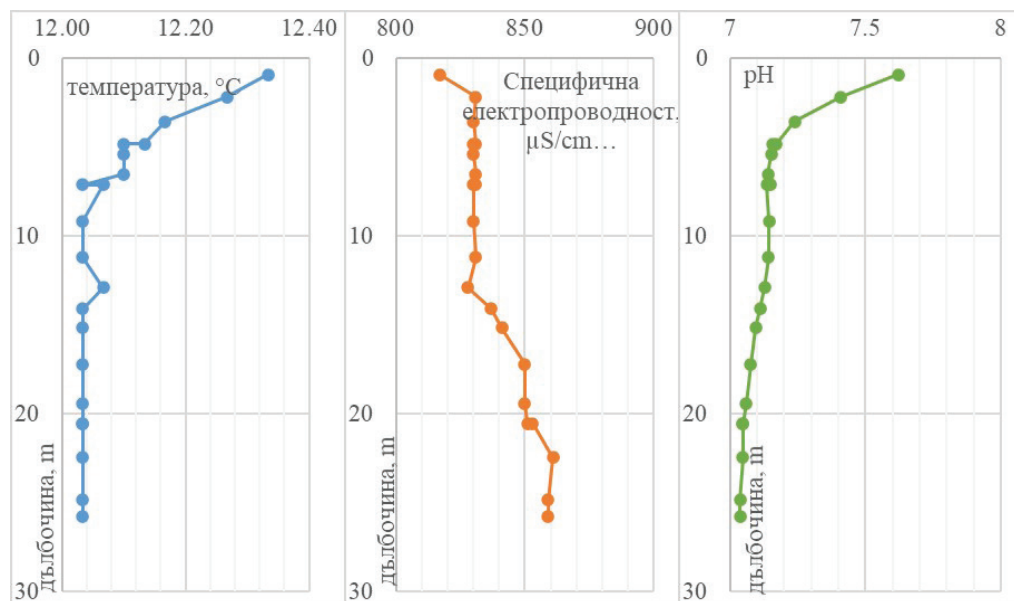
4.1 Резултати от полеви изследвания

На фигура 12 са показани местоположенията на сондажи, в които се проведе дълбочинно профилиране по целия ствол на сондажа. Целта на това изследване бе да се характеризира доколкото е възможно еднородността в качеството на подземните води в дълбочина на сарматския водоносен хоризонт. Резултатите показаха сравнително еднородни качества на подземните води по цялата мощност на водоносния хоризонт. Изключение прави кладенец разположен до с. Крапец (фигура 15), в който дълбочинното профилиране показва предпоставки за наличие на термална вода в дълбочина. Причините могат да се дължат на дълбочинен разлом, през който преминават подземни води, от отдолу лежащи водоносни хоризонти или на компрометиран сондаж разкриващ водите от по-дълбоки водоносни хоризонти, като например подземните води от малм-валанжския водоносен хоризонт.



Фиг. 12. Мониторингови пунктове от мрежата на НИМХ. В червено – кладенци с проведено дълбочинно профилиране
Fig. 12. Location of monitoring stations of the NIMH

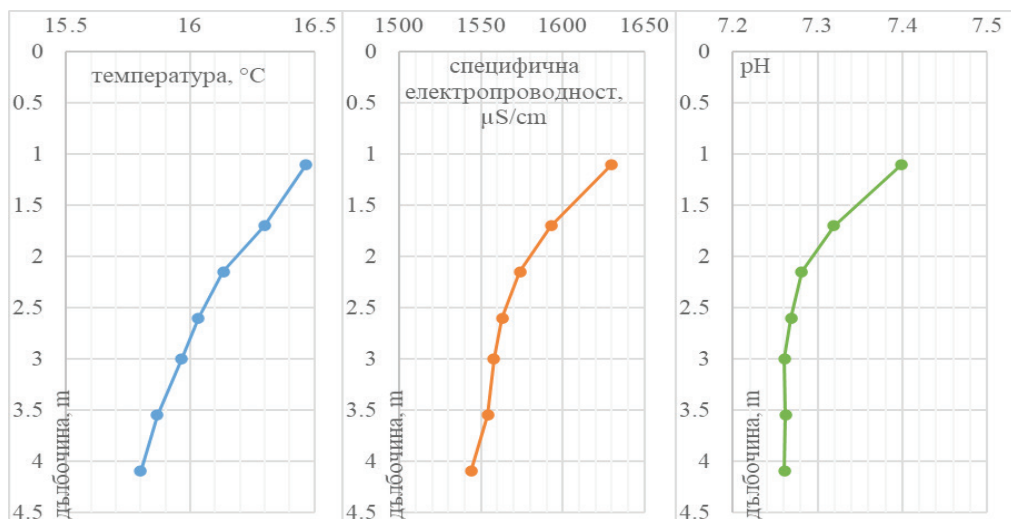
Дълбочинно профилиране бе направено в няколко от сондажните кладенци. На фиг. 13 са показани резултатите от проведените измервания в сондажен кладенец 284Т1 с дълбочина 54 m и воден стълб 26 m.



Фиг. 13. Вертикален профил на водонаситената част на тръбен кладенец 284Т2
Fig. 13. Deep profiling of well 284T2

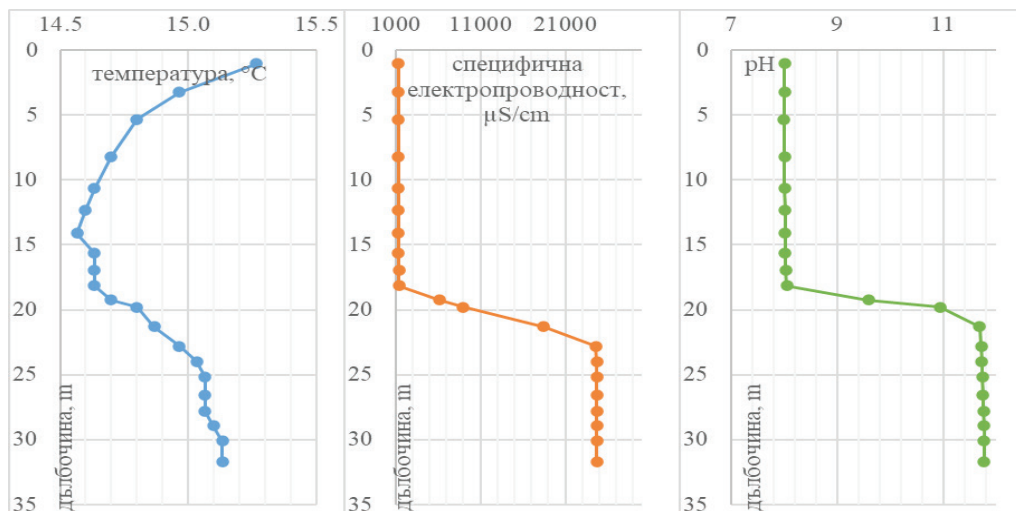
Средната температура е 12°C, а специфичната електропроводност 840 $\mu\text{S}/\text{cm}$, както се вижда от графиката има леко и плавно понижение на рН на водата в дълбочина. Водоносният хоризонт е относително еднороден с леки (в рамките на грешката на уреда) изменения, след 12 - тия метър в дълбочина.

При сондажен кладенец 308Т2 в района на с. Крапец (фигура 14), с дълбочина 19 m и воден стълб само 4 m, се установи малък воден стълб и резултатите не са меродавни за изследването.



Фиг. 14. Вертикален профил на водонаситената част на тръбен кладенец 308T2
Fig. 14. Deep profiling of well 308T2

Сондажен кладенец 305T2 се намира в близост до с. Крапец има дълбочина 63 m и воден стълб 32 m. Всички параметри показаха рязко изменение при дълбочина около 18 m, под нивото на подземните води (фиг. 15).

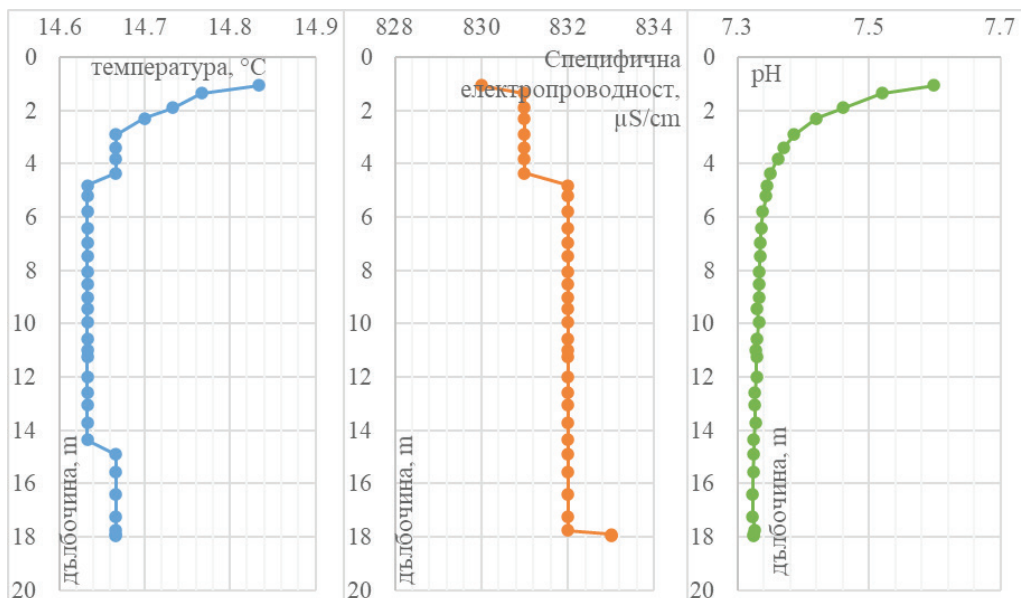


Фиг. 15. Вертикален профил на водонаситената част на тръбен кладенец 305T2
Fig. 15. Deep profiling of well 305T2

За доизясняване на параметрите, бе взета и водна проба от горната част преди рязката граница, където електропроводността бе стабилна със стойности около

1380-1400 $\mu\text{S/cm}$ и рН 8, а в долната част с електропроводност 24 700 $\mu\text{S/cm}$. При стойностите на температурата се наблюдава плавно повишение в дълбочина след 18 m.

Кладенец с номер 346T2 (фигура 16) се намира в близост до с. Тюленово, непосредствено до морския бряг с дълбочина 40 m и воден стълб 18 m.



Фиг. 16. Вертикален профил на водонаситената част на тръбен кладенец 346T2
Fig. 16. Deep profiling of well 346T2

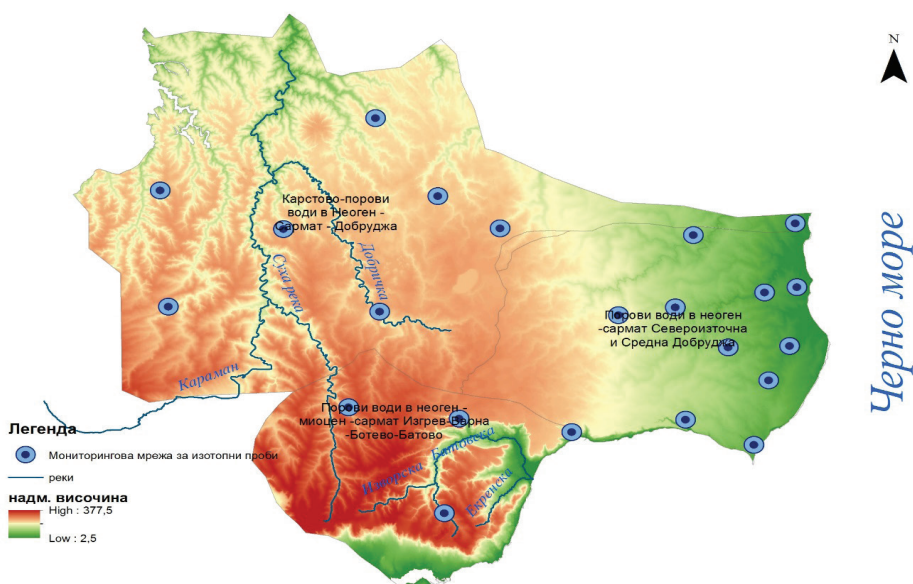
Таблица 2. Средни стойности на измерените параметри при дълбочинното профилиране
Table 2. Average values of measured parameters

Номер на кладенец	Средна температура, °C	Средна специфична електропроводност, $\mu\text{S/cm}$	Средна стойност, рН
284T2	12,05	840	7,1
308T2	15,9	1550	7,3
305T2 до 18 m	14,7	1380	8,0
305T2 под 22 m	15,0	24700	11,7
346T2	14,6	832	7,3

Измененията на температурата на подземната вода в дълбочина са незначителни, което е нормално предвид обстоятелството, че горната част на водния стълб е в контакт с атмосферата. Специфичната електропроводност се

изменя в незначителни граници, което също е нормално и показва еднородност на водоносния хоризонт. Впечатление прави лекото и плавно понижение на рН на водата в дълбочина. Резултатите са обобщени в таблица 2.

От направената комбинация от изследвания и анализирана информация може да се направи извода, че няма значителни разлики в качеството на водата на сарматския водоносен хоризонт в дълбочина. Не същото може да се каже за качеството на водата в план. На фиг. 17 е показан резултатът от анализа с местоположение на съществуващи водоземни съоръжения, който може да се ползва за целите на задачата, а именно мониторингова мрежа за естествени изотопи. Подбрани са общо 22 бр. мониторингови пункта, като в част от тях пробонабирането ще се извърши на различни дълбочини.



Фиг. 17. Мрежа за изследване на естествени изотопи в подземните води
Fig. 17. Monitoring network for research of groundwater with natural isotopes

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването на динамиката на подземните води, както и разпределението на химичните компоненти в сарматски водоносен хоризонт, показаха че:

- Могат да се обособят различни зони в план: зони на подхранване, зони на транзит и дрениране на подземните води, зони с концентрация на водоземни съоръжения. зони на разпределение на химичните компоненти със завишени и занижени стойности спрямо фоните.

- Предложената мрежа се очаква да се използва за пробонабиране на естествени изотопи, чрез които да се изследва възрастта на подземните води, както и определянето на средното време на престой на водата във водоносния хоризонт. Пример: ако се знае времето за придвижване на водата, може да се определи скоростта на разпространение на различни замърсители, както и времето за което водоносния хоризонт, ще се самоочисти от съществуващи замърсявания.
- Очаква се резултатите от изследването с прилагане на изотопни методи да се използват при определяне подхранването на подземните води.
- Препоръчително е допълване на пропуските в данните, чрез дълбочинно профилиране на водоносния хоризонт.
- Информацията (в план и дълбочина) събрана в рамките на изследването, може да послужи за по ефективно управление на подземните води в района, който е изцяло зависим от тях, както и за планиране или разширяване на мрежите за качествен мониторинг.
- Резултатите от това изследване може да послужат за бъдещо планиране на мрежите за качествен мониторинг.

БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката предмет на статията е реализирана с помощта на национална програма на Министерство на образованието и науката „Млади учени и постдокторанти“ – модул „Млади учени“, 2021 г

ЛИТЕРАТУРА

- Antonov H., D. Danchev. (1980), Ground waters in Bulgaria. Sofia, Tehnika, 360p. (in Bulgarian)
- Burrough Peter A., McDonnell Rachael, McDonnell Rachael A., Lloyd Christopher D. (2015), “8.11 Nearest neighbours: Thiessen (Dirichlet/Voronoi) polygons”. Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press. pp. 160–. ISBN 978-0-19-874284-5.
- Danchev D., Damyanov A., Nikolov E., Benderev A., Gushkov I., (1981), Regularities in the distribution of groundwater in the south Dobrudja and Ludogorie region. Proceedings of the Jubilee Scientific Conference „20 years of the Research sector at the Institute of Mining and Geology“ in Varna, 26-28.10.1981, pp 325-333 (In Bulgarian)
- Longley Paul A., Goodchild Michael F., Maguire David J., Rhind David W. (2005), “14.4.4.1 Thiessen polygons”. Geographic Information Systems and Science. Wiley. pp. 333–. ISBN 978-0-470-87001-3.
- Orehova T., Pavlova V., (2014), Groundwater drought in Northeast Bulgaria and the SPI index. Proceedings of XXVI Danube Conference, 22-24 September 2014, Deggendorf, Germany, pp 335-338.

- Pulido-Bosch, A., M. Lopez-Chicano, M. Machkova, et al. (1997). Ecological problems of karst waters caused by overexploitation and contamination, on the example of North-East Bulgaria. Project ERB-CIPA-0139, financed by the European Community.
- Sen Zekai (2016), “2.8.1 Delaney, Varoni, and Thiessen Polygons”. Spatial Modeling Principles in Earth Sciences. Springer. pp. 57–. ISBN 978-3-319-41758-5.
- Sibson, R. (1981), A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. chapter 2 in Interpolating Multivariate Data. New York: John Wiley & Sons, pp 21–36.
- Spasov V., Pavlova V., 2015. Water table fluctuations, groundwater balance and resources of the Sarmatian aquifer in Northeastern Bulgaria. Review of the Bulgarian Geological Society, vol. 76, part 1, pp 69-78 (in Bulgarian).
- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-natural-neighbor-works.htm>
- <https://www.nature.com/articles/nature21403>
- <http://www.bd-dunav.org/>
- <https://www.bsbd.org/>