

МАТЕМАТИЧЕСКИ ФИЛТРАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ТЕРМОМИНЕРАЛНО НАХОДИЩЕ „ХАСКОВСКИ МИНЕРАЛНИ БАНИ“

Николай Стоянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Съставен е математически числов тримерен модел на филтрационното поле в района на термоминерално находище „Хасковски минерални бани“. Моделната област обхваща подповърхностното пространство до дълбочина 1300 m на територия с площ около 35 km². В тези рамки попадат четири високо рангови хидрогеоложки единици: горноеоценски термоводоносен седиментен комплекс, палеоген-неогенски разломно-пукнатинен дренажен комплекс, палеогенски слабопроницаем ефузивен комплекс и неоген-кватернерен водоносен комплекс. С филтрационния модел са определени количествено приходните и разходните елементи на водния баланс на всеки моделен пласт и е направена количествена оценка на водните ресурси на находището. Определени са границите на санитарно-охранителната зона около действащите съоръжения за добив на термоминерални води. При разработването на модела са използвани компютърните програми Modflow и Modpath.

MATHEMATICAL FLOW MODEL OF THE GEOTHERMAL SITE "HASKOVO MINERAL BATHS"

Nikolay Stoyanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; nts@mgu.bg

ABSTRACT. A three-dimensional numerical mathematical model of the flow field in the region of the geothermal site "Haskovo mineral baths" is composed. The modeled area covers the sub-surface space to a depth of 1300 m along a territory of about 35 km². Within this framework fall four high rank hydrogeological units: the Upper-Eocene thermal water-bearing sedimentary complex, the Neogene-Paleogene fault-fissure drainage complex, the Paleogene low permeable effusive complex, and the Neogene-Quaternary aquifer complex. By the developed flow model are quantitatively estimated the water balance revenue and expenditure elements in each model layer and is performed a quantitative assessment of the deposit water resources. The boundaries of the sanitary protection zone around the existing facilities for extraction of thermal waters are determined. The model is developed using the computer programs Modflow and Modpath.

Въведение

Използването на класически методи или на аналитични математически модели не винаги е достатъчно ефективно и не дава добри резултати при решаване на редица, често срещани в хидрогеоложката практика, задачи. Например, такива са задачите, свързани с определяне на структурата на филтрационното поле, оценка на елементите на водния баланс, оценка на локалните и/или регионалните ресурси на подземните води, оразмеряване на санитарно-охранителните зони (СОЗ) около съоръжения за добив на пресни и минерални подземни води и много други. Достоверността на получените решения силно намалява в случаите на по-висока хетерогенност на водоносните структури или по-сложни външни и вътрешни гранични условия. Тези проблеми е възможно да бъдат решени с прилагане на числови тримерни (3D) модели, с които може да се симулират в детайли и с максимална прецизност конкретните хидрогеоложки условия.

Посредством математически числов 3D модел е пресъздадена сложната хидрогеоложка обстановка в района на термоминерално находище „Хасковски минерални бани“. С модела е детерминирана структурата на филтрационното поле, определени са елементите на водния баланс, направена е оценка на водните ресурси и

са оразмерени границите на СОЗ около действащите съоръжения за добив на термоминерални води. За целта са използвани компютърните програми Modflow и Modpath (McDonald, Harbaugh, 1988; Andersen, 1993; Pollack, 1994 и др.). Използвани са и голям брой различни публикации и фондови материали, съдържащи информация за хидрогеоложките условия и водоизточниците. По-важните от тях са няколко книги и студии, в които има подробно описание на термоминералното находище (Петров, 1964; Щерев, 1964; Петров и др., 1970 и много други), а също и по-нови, обобщаващи предишните изследвания, научно-приложни и производствени доклади (Петров и др., 1998; Добрева, 2002; Нейков, 2012 и др.).

Общи сведения за находището

Термоминерално находище „Хасковски минерални бани“ е най-голямото и високотемпературно находище в Източните Родопи. Познато е от древни времена. Най-ранните сведения за минералните извори се срещат в публикации и доклади от началото на ХХ век. Първите по-задълбочени проучвания и каптирането на изворите е извършено в периода 1936-37г., когато е направено и първо измерване на общия им дебит. Измерените преди и след каптирането дебита са 19,7 l/s и 26,6 l/s. Направените

през 1957г. нови измервания показват общ дебит от 25,6 l/s и температури между 50,6°C и 59,6°C. Много важен етап в проучването и разкриването на находището представляват сондажните дейности през 1957-59г., когато в зоната на изворите от ИПП „Водоканалпроект“ са изградени четири сондажа с дълбочини между 196 m (С-1) и 290 m (С-3). Три от сондажите (С-1, С-2 и С-4) са работили на самоизлив, при това със значителни начални дебита – 30 l/s (С-2) и 14 l/s (С-1). Изграждането на сондажи води до съществени промени в дренажната система. Повечето естествени извори постепенно намаляват дебита си и пресъхват, като общият дебит се преразпределя в полза на сондажите. През 1959г. сумарният дебит на фонтаниращите сондажи (С-1, С-2 и С-4) и останалите извори варира между 29 и 37 l/s. Проведените в следващите десетилетия единични измервания не показват съществени различия в общия дебит на водоизточниците (вариращ около 30 l/s), което говори за сравнително постоянен във времето подземен отток в дренажната зона. От многобройните в миналото извори и сондажи, сега работят 4 водоизточника: К-5 – капиран извор; С-3 – сондаж на помпен режим; С-2 и С-4 – сондажи на самоизлив. Направените до момента ресурсни оценки на находището се базират на многогодишните наблюдения върху техния дебит. Утвърденият през 2002г. от МОСВ общ ресурс на находището е 32,7 l/s при температура на добиваната вода 56-57°C., като определените дебита на водоизточниците са: К-5 – 0,7 l/s; С-2 и С-4 – 26 l/s и С-3 – 6 l/s (Нейков и др., 2012).



Фиг. 1. Геоложка карта в района на находището. Местоположение на сондажите (С-2, С-3 и С-4) и капирания извор (К-5). (по Геоложката карта на България М 1:100000 - Боянов, 1995)

Концептуален модел

При разработването на математическия 3D модел на филтрационното поле е приета следната, базирана на съвременните геолого-тектонски представи, обща концепция за хидрогеоложките условия в района на термоминералното находище:

- Работната хипотеза предполага в терциерния разрез (до дълбочина 1300 m) да се отделят 4 високорангови хидрогеоложки единици (ХГЕ): (1) горноеоценски термоводоносен седиментен комплекс; (2) палеоген-неогенски разломно-пукнатинен дренажен комплекс; (3) палеогенски слабопроницаем ефузивен комплекс; (4) неоген-кватернерен водоносен комплекс.
- *Горноеоценският термоводоносен седиментен комплекс* е основният резервоар на находището. Формиран е в докалдерния теригенно-карбонатен комплекс, включващ седиментите на Континентално-теригенния варовиков комплекс (1Pg₂³), Брекчо-конгломератната задруга (2Pg₂³), Въгленосно-песъчливата задруга (3Pg₂³) и Мергелно-варовиковата задруга (4Pg₂³). Представен е от напукани и блоково разломени алтернации от конгломерати, гравелити, пясъчници, алевролити, мергели и варовици, установени в интервала от 1000 до 1300 m под земната повърхност. Филтрационната среда е водопроницава, твърде хетерогенна и с подчертана анизотропия. Тези различия предполагат диференциране на блокове (зони) в термоводоносния комплекс с различни филтрационни свойства. Коефициентът на филтрация k най-често варира между 0,10 и 0,75 m/d, а коефициентът на анизотропия k_a е в диапазона 0,75-0,90. Основното подхранване на докалдерния комплекс е от студени инфилтрогенни води, постъпващи по разположените на юг от находището, отвъд границите на разглежданата територия, разломни структури. Температурата на подземните води се повишава до 80-85°C под действието на изразена геотемпературна аномалия в допалеогенската подложка. Генералната посока на термоминералните води в докалдерния комплекс е на СИ, като средният хидравличен градиент е около 0,005. Пиезометричните нива в комплекса са много високи, а в определени зони са на няколко десетки метра над терена. Високите хидравлични напори са причина за възникване на възходящ филтрационен поток в Банския разлом. Преди изграждането на вододобивните каптажи и кладенци, възходящият поток се е дренирал на повърхността под формата на разсеяни извори в силно проводящ участък (зона) с дължина около 500 m. Понастоящем основната част от потока се прихваща от съществуващите сондажи (С-2, С-3 и С-4) и каптаж К-5.
- *Палеоген-неогенският разломно-пукнатинен дренажен комплекс* е развит по Банския разлом (фиг. 1), който представлява сложна разломно-разседна субмеридионална структура с посока ССЗ (340-350°), западане на С-СИ под ъгъл 75-80°, амплитуда на разсядане около 200 m и дължина 5 km. Заложението му е в докалдерния седиментен комплекс (1-4Pg₂³), а в отгорележация ефузивен комплекс маркира границата между Задругите на първи и втори средно кисел вулканизъм (5Pg₂³ и 7Pg₃) със Задругата на втори кисел вулканизъм (8Pg₃). Колекторът е изграден от в различна степен разломени, тектонски преработени, напукани и променени вулканоседиментни скали (главно латити, андезити и риодацити). В тази силно нееднородна среда се отделят две зони с различна водопроницаемост: силно-проводяща (изворна) зона и слабопроводяща зона.
- *Силно проводящата (изворна) зона* е с дължина около 500 m и ширина 50-100 m. Тя е основният път за движение на идващия от дълбочина филтрационен

поток и много важен фактор, който детерминира количествените и качествените характеристики на естествените изходища (изворите) и до голяма степен лимитира ресурсите на термоминералното находище. По данни от направените филтрационни тестове, проводимостта на най-горната част на изворната зона (до дълбочина 200 m) е около 500 m²/d, а коефициентът на филтрация k е приблизително 2,5 m/d.

- **Слабо проводящата зона** обхваща всички останали части на Банския разлом, извън границите на изворната зона. Предполага се, че k в тази зона е нисък – най-често около 0,01-0,05 m/d. Посочените стойности са с няколко порядъка по-високи от стойностите на k за ефузивните формации, ограждащи разломно-пукнатинния дренажен комплекс. Тези условия от една страна пречат за възникването на възходящи термоминерални потоци в слабо проводящата зона, но от друга са причината същата да се разглежда като регионален колектор, който дренира практически неводоносния палеогенски ефузивен комплекс.
- **Палеогенският слабопроницаем ефузивен комплекс** е изграден от скалите на Задругата на първи среднокисел вулканизъм (5Pg₂), Задругата на втори среднокисел вулканизъм (7Pg₃) и Задругата на втори кисел вулканизъм (8Pg₃). В състава му участват и скалите на олигоценския дайков комплекс (Pg₃). Ефузивният комплекс включва много широк спектър литоложки разновидности – латити, андезити, андезитобазалти, шошонити, риолити, трахириолити, трахириодацити, риодацити, перлити и др. Изброените скали притежават различни структурно-текстурни особености, напуканост, степен на изветряне и вторична промяна, като тези различия предопределят известно разнообразие и по отношение на техните филтрационни характеристики. В случая, средният коефициент на филтрация k за скалите от различните геоложки формации (табл. 2) е приет по литературни данни и след направен качествен анализ за характера, размерите и запълването на пукнатините в скалния масив, както и за характеристиките на продуктите от изветрителните процесите на изветряне и вторична промяна. Независимо от отбелязаните различия, като цяло скалите от палеогенския ефузивен комплекс се характеризират с много ниска водопропускливост (k = 0,003-0,0002 m/d) и изпълняват ролята на един добре издържан регионален „водоупор“. В района общата дебелина на ефузивния комплекс е около 700-800 m.
- **Неоген-кватернерния водоносен комплекс** е формиран в наслагите на Ахматовската свита (ahN₁₋₂) и алувиалните образувания на р. Буковска (aQh). Изграден е предимно от глинесто-песъчливи материали с обща дебелина 50-100 m. В разреза преобладават глинестите пластове, което предопределя и слабата водообилност на водоносната структура. По данни от предишни проучвания проводимостта на комплекса е в границите 25-50 m²/d. При тези условия за средния коефициент на филтрация е приета стойността 0,5 m/d. Основното подхранване на подземните води е от инфилтрация на валежите и съседни водоносни комплекси. По експертна оценка, около 2-3 % от падналите през годината валежи (668 mm за станция Хасково – Колева и др., 1990) се инфилтрират в дълбочина. При тази предпоставка скоростта на инфилтрация е W=4x10⁻⁵ m/d. Дренирането

на неоген-кватернерния комплекс се реализира в речно-овражната мрежа, като структурата на подземния поток се контролира от р. Буковска.

- **Вододобивната система**, която в момента експлоатира термоминералното находище „Хасковски минерални бани“, включва 4 водоземни съоръжения – сондажи С-2, С-3 и С-4 и каптаж К-5.



Фиг. 2. Геометрия на моделните пластове и зони. Гранични условия.

Таблица 2. Коефициент на филтрация k и активна порестост n₀ на моделните пластове и зони

Моделен пласт	Моделна зона	k, m/d	n ₀ , -
МП-1	M3-1.1	5.0E-01	1.5E-02
	M3-1.2	2.0E-04	1.0E-03
	M3-1.3	2.0E-03	1.5E-03
	M3-1.4	5.0E-02	4.0E-03
	M3-1.5	2.5E00	2.0E-02
МП-2	M3-2.1	2.0E-04	1.0E-03
	M3-2.2	3.0E-03	2.0E-03
	M3-2.3	1.0E-02	2.5E-03
	M3-2.4	2.5E-01	5.0E-03
МП-3	M3-3.1	3.5E-01	1.0E-02
	M3-3.2	7.5E-01	2.0E-02
	M3-3.3	2.0E-01	5.0E-03

Забележка: Стойностите на k, n₀ и n_s са определени по литературни данни в съобразно вида на литоложките разновидности (Spitz, Moreno, 1996 и др.).

Таблица 3. Кратка информация за водоизточниците

Водоизточник №	С-2	С-3	С-4	К-5
Кота терен	264,66	266,14	263,46	262,18
Кота на дрениране	261,01	-	260,91	263,12
Дълбочина, m	203,0	290,0	150,0	-
Дебит на помпата Q _п , l/s	-	6,0	-	-

Таблица 1.

Хидрогеоложки единици, моделни пластове и моделни зони

Хидрогеоложка единица		Геоложка единица	Литоложка характеристика	Геоложки индекс	Моделен пласт	Моделна зона
I-ви ранг	II-ри ранг					
Неоген-кватернерен водоносен комплекс		Алувиални образувания	чакъли, пясъци, глини	aQh	МП-1	M3-1.1
		Ахматовска свита	глини, пясъци	ahN ₁₋₂		M3-1.2
Палеогенски слабопроницаем ефузивен комплекс	Водоупорна зона	Задруга на втори кисел вулканизъм	трахириодацити, риодацити	8μPg ₃	МП-1	M3-2.1
			риолити, трахириолити	8μPg ₃	МП-2	M3-2.1
	Много слабо проницаема зона	Задруга на втори среднокисел вулканизъм	дребнопорфирни латити	7λ ³ Pg ₃	МП-1	M3-1.3
			Задруга на първи среднокисел вулканизъм	андезити	5αPg ₂ ³	МП-2
Слабо проницаема зона	латити, шошонити, андезити	5λPg ₂ ³				
Палеоген-неогенски разломно-пукнатинен дренажен комплекс	Слабо проводяща зона	Разломна структура	латити, риодацити	Pg-N	МП-1	M3-1.4
	Силно проводяща (изворна) зона				МП-2	M3-2.3
Горноеоценски термоводоносен седиментен комплекс	Блок 1	Докалдерен седиментен комплекс*	конгломерати, пясъчници, варовици, мергели, алевролити	1-4Pg ₂ ³	МП-3	M3-3.1
	Блок 2					M3-3.2
	Блок 3					M3-3.3

*Забележка: Долнокардерният седиментен комплекс включва седиментите на Континентално-теригения варовиков комплекс (1Pg₂³), Брежно-конгломератната задруга (2Pg₂³), Въгленоно-песъчливата задруга (3Pg₂³) и Мергелно-варовиковата задруга (4Pg₂³).

Таблица 4.

Гранични условия

Граница	Тип	Моделен пласт	Участък	Дължина, m	Средна проводимост по границата C _{ср} , m ² /d
1. Югозападна – симулираща потока, идващ от ЮЗ част на палеогенския ефузивен комплекс	ГНВ	МП-1	ГНВ 1.1	6819	0,4
		МП-2	ГНВ 2.1	6819	2,5
2. Югозападна – симулираща потока, идващ от ЮЗ част на горноеоценския термоводоносен комплекс	ГНВ	МП-3	ГНВ 3.1	6819	50
3. Североизточна – симулираща потока, дренаиращ се от палеогенския ефузивен комплекс към неоген-кватернерния комплекс	ГНВ	МП-1	ГНВ 1.2	2665	0,4
4. Североизточна – симулираща потока от палеогенския ефузивен комплекс, дренаиращ се на С-СИ от моделната област	ГНВ	МП-2	ГНВ 2.2	2665	2,0
5. Североизточна – симулираща потока от горноеоценския термо-водоносен комплекс, дренаиращ се на С-СИ от моделната област	ГНВ	МП-3	ГНВ 3.2	2665	30
6. Северозападна – симулираща потока по СЗ граница на модела от/към неоген-кватернерния и палеогенския ефузивен комплекс	ГНВ	МП-1	ГНВ 1.3	4757	0,4
			ГНВ 1.4	1182	5,0
			ГНВ 1.5	1572	0,4
7. Югоизточна – симулираща потока по ЮИ граница на модела от/към неоген-кватернерния и палеогенския ефузивен комплекс	ГНВ	МП-1	ГНВ 1.4	5110	5,0
			ГНВ 1.5	3974	0,4
р. Буковска	River	МП-1	River 1.1	3922	1,0

Забележка: Освен посочените гранични условия е зададено още едно външно гранично условие: инфилтрационно подхранване (Recharge) по цялата площ на моделен пласт МП-1.

Таблица 5.

Количествена оценка на елементите на водния баланс

ПРИХОДНИ ЕЛЕМЕНТИ, Q _i ^{IN} , l/s		РАЗХОДНИ ЕЛЕМЕНТИ, Q _i ^{OUT} , l/s		
Воден баланс на моделен пласт МП-1				
Подхранване по латералните граници на моделната област (от външните за модела части на неоген-кватернерния водоносен комплекс и на палеогенския ефузивен комплекс)	25,09	Дебити на вододобивните съоръжения (кладенци С-2, С-3 и С-4 и каптаж К-5)	С-2	13,48
			С-4	12,65
			С-3	6,00
			К-5	0,74
Подхранване от горноеоценския термоводоносен комплекс през разломно-пукнатинния комплекс	38,56	Дренаиране през ЮИ граница на модела (към външните за модела части на неоген-кватернерния водоносен комплекс)	17,12	
Подхранване от инфилтрация на валежи	16,11	Дренаиране в р. Буковска	29,91	
	общо		общо	79,90
Балансова грешка 0.18 % (difference)				
Воден баланс на моделен пласт МП-2				
Подхранване от горноеоценския термоводоносен комплекс през разломно-пукнатинния комплекс	38,72	Дренаиране в МП-1 през разломно-пукнатинния комплекс	38,56	
Подхранване по ЮЗ граница на моделната област от външните за модела части на палеогенския ефузивен комплекс	0,83	Дренаиране през СИ граница на моделната област към външните за модела части на палеог. ефузивен комплекс	0,88	
	Общо		Общо	38,56
Балансова грешка 0.27 % (difference)				
Воден баланс на моделен пласт МП-3				
Подхранване по ЮЗ граница на моделната област от външните за модела части на горноеоценския термоводоносен комплекс	58,18	Дренаиране през СИ граница на моделната област към външните за модела части на горноеоценския седиментен комплекс	19,11	
		Дренаиране в отгорележащите МП-1 и МП-2 през разломно-пукнатинния дренажен комплекс	38,92	
	Общо		Общо	58,03
Балансова грешка 0.26 % (difference)				

Композиране на филтрационния 3D модел

Филтрационният 3D модел (FM3D) представлява тримерна симулация на филтрационното поле в района на обекта, отчитаща конкретните хидрогеоложки условия и всички външни въздействия, включително и специфичния експлоатационен режим на вододобивната система. Основните положения и входни параметри при неговото композиране са следните:

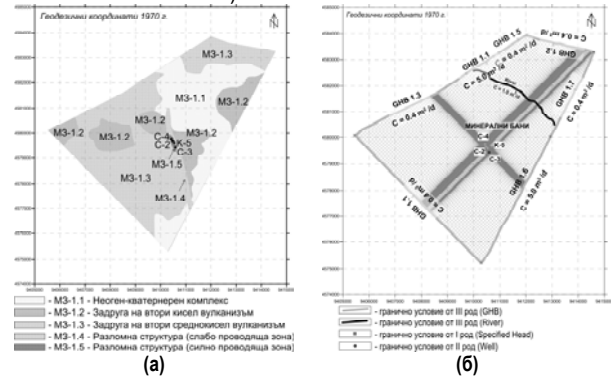
- FM3D е съставен съобразно постановките, изложени в концептуалния модел и програмния пакет Modflow.
- Пространствената дискретизация е направена с неравномерна ортогонална мрежа. Тя е съгъстена в близост до кладенците и каптажа, тъй като тук напорните градиенти са най-високи (фиг. 1).
- FM3D включва три моделни пласта МП-1, МП-2 и МП-3. Според различията на филтрационните параметри, във всеки моделен пласт са отделени по няколко моделни зони (табл. 1), с които относително точно са симуирани формата и пространственото разположение на хидрогеоложките единици от различен ранг (водоносни и „водоупорни“ комплекси, пластове и зони) (фиг. 2., 3а, 4а и 5а).
- Регионалният поток е моделиран с гранично условие от III род по схемата GHB по външните граници на модела. Зададената проводимост по границите С (фиг. 3б, 4б и 5б) е изчислена съобразно дебелината и коефициента на филтрация на моделния пласт или зона, в която попада съответната моделна клетка. Напорите по границите са зададени така, че: (1) подземните води в МП-1 се дренират от р. Буковска; (2) подземният поток в МП-3 е ориентиран на СИ при среден градиент 0,005, а напорите в него са с 20-25 m над терена.
- Река Буковска е симулирана като 3D обект с гранично условие от III род (River) (фиг. 3б).
- Инфилтрационното подхранване е зададено като постоянна величина във всички клетки от първия моделен пласт - $W=4 \times 10^{-5}$ m/d. Въвежда се с гранично условие подхранване (Recharge).
- Водоземните съоръжения са зададени като 3D обекти със съответните координати и конструктивни особености (диаметри, дълбочини, водоприемната част и пр.).
- Работещите на самоизлив съоръжения - С-2, С-4 и К-5 са моделирани с гранично условие от I род – постоянен напор (Specified Head). Сондаж С-3, в който работи помпа с постоянен дебит, е зададен с гранично условие от II род (Well). Приетите в модела котни на дрениране в С-2, С-4 и К-5 и дебита на С-3 са представени в таблица 3.
- При калибрирането на FM3D са използвани: (1) данни за експлоатационните дебита и нива в тръбните кладенци и каптирания извор; (2) водните стоежи в р. Буковска.

Резултати от моделните решения

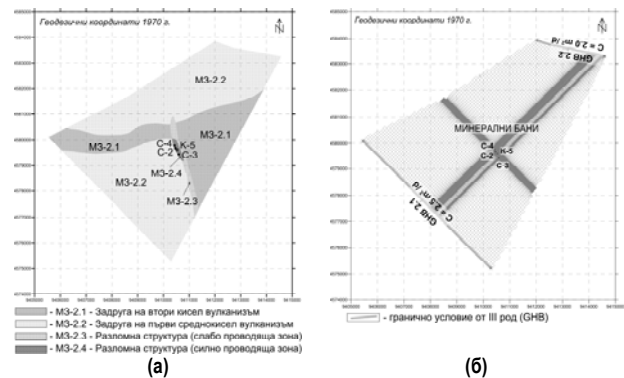
Структура на филтрационното поле

С FM3D е направена математическа симулация на структурата на филтрационно поле. Получените решения са представени с три пиезометрични карти (фиг. 6а,б,в). Те илюстрират хидродинамичната картина в района на находището в условията на непрекъсната експлоатация на

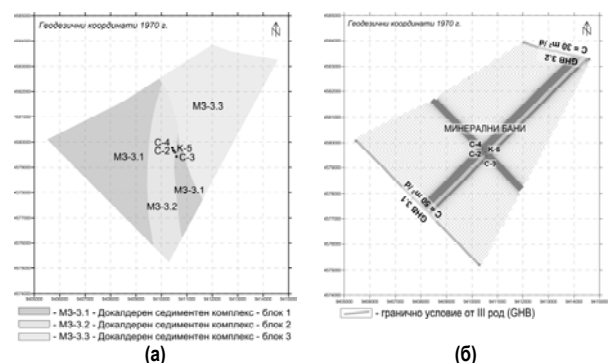
четирите водоземни съоръжения (тръбни кладенци С-2, С-3 и С-4 и каптаж К-5).



Фиг. 3. Моделни зони и гранични условия в моделен пласт МП-1.



Фиг. 4. Моделни зони и гранични условия в моделен пласт МП-2.



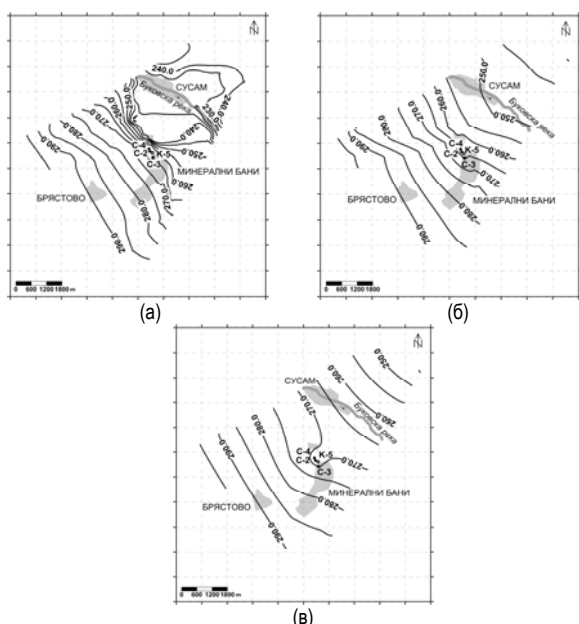
Фиг. 5. Моделни зони и гранични условия в моделен пласт МП-3.

Воден баланс. Ресурси на подземните води.

Направените с FM3D количествени оценки за елементите на водния баланс в трите моделни пласта са обобщени в таблица 5. Въз основа на получените резултати могат да се направят следните по-важни обобщения и изводи относно ресурсите на подземните води.

- Водните ресурси на горноеоценския термоводоносен седиментен комплекс, в границите на изследваната територия, са приблизително 58 l/s, т.е. модулет на подземния отток е $M_p = 1,7$ (l/s)/km².
- Над 65 % от водните ресурси на горноеоценския термоводоносен комплекс (около 38,7 l/s) формират възходящ поток, който преминава към повърхността през силно проводящата зона на разломно-пукнатинния дренажен комплекс.
- Действащите водоземни съоръжения в находище „Хасковски минерални бани“ (С-2, С-3 и С-4 и К-5)

прихващат 85 % от възходящия термоминерален поток ($Q_{\text{сум}} = 32.87 \text{ l/s}$). Останалата неусвоена част от потока излиза под формата на разсеяни извори или се оттича подземно в неоген-кватернерния водоносен комплекс.



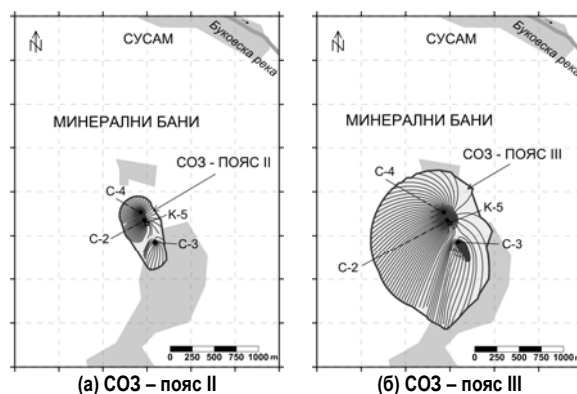
Фиг. 6. Структура на филтрационното поле в моделни пластове МП-1, МП-2 и МП-3.

- Ресурсите на неоген-кватернерния водоносен комплекс в района на моделната област са около 40 l/s, като модулът на подземния отток е относително висок - около 3.5 (l/s)/km². Основното подхранване на подземните води е от инфилтрация, от постъпващия по латералните граници поток, от палеогенския ефузивен комплекс и от разломно-пукнатинния дренажен комплекс. Основното дрениране (около 70 %) е в р. Буковска, а останалата част – в източните части на неоген-кватернерния хоризонт, извън границите на моделната област.

Модели за определяне на границите на СОЗ

Границите на пояс II и пояс III на СОЗ около сондажи С-2, С-3, С-4 и каптаж К-5 са определени с компютърна програма ModPath. С нея са съставени два миграционни модела MP3D-1 и MP3D-2, базирани на полученото с FM3D моделно решение за структурата на филтрационното поле, респ. за пространственото разпределение на напорите, градиентите и скоростите в моделната област, при отчитане на съвместната работа на водоизточниците. Приетите в моделните пластове и зони за двата модела стойности на активната порестост n_0 са определени по литературни данни (Spitz and Moreno, 1996; USEPA, 1996, и др.) съобразно литоложките характеристики и вторичните промени на скалните разновидности, изграждащи съответната хидрогеоложка единица (табл. 2).

Посредством MP3D-1 са определени границите на пояс II при изчислително време 400 денонощия, а с MP3D-2 - границите на пояс III при изчислително време 25 години. Тези времена са приети в съответствие с изискванията на действащите у нас нормативни документи. Така определените граници на пояс II и пояс III на СОЗ са представени на фигура 7, а, б.



Фиг. 7. Граници на СОЗ около водоизточниците С-2, С-3, С-4 и К-5.

Литература

- Боянов, Ив. (ред.) Геоложка карта на България М 1:100000 (обяснителна записка). Картен лист Искра. ГИ БАН, „Геология и геофизика“ АД. 1995. – 77 с.
- Добрева, Д. Проект за СОЗ на находище „Хасковски минерални бани“. Фонд на община „Минерални бани“. 2002. – 50 с.
- Колева, Ек., Р.Пенева. Климатичен справочник. Валежи в България. Изд. БАН. 1990. – 169 с.
- Нейков, Н. (ред.) Находище на минерални води „Хасковски минерални бани“ – преглед на състоянието на водоизточниците, тяхната експлоатация, проектиране на СОЗ около него и актуална качествена оценка на минералните води. Докл. на Водоканалпроект - Пловдив, Фонд на общ. „Минерални бани“. 2012. – 69 с.
- Петров, П. Ст. Основни закономерности в разпространението на минералните води в България. - Труд върху геол. на България, 3, 1964. - 83-158.
- Петров, П., Св. Мартинов, К. Лимонадов, Ю. Страка. Хидрогеоложки проучвания на минералните води в България. - София, Техника. 1970. – 196 с.
- Петров, П. Ст. (ред) Хидротермално находище Минерални бани Хасково. Преценка на ресурсите на геотермална енергия в България. – дог. N 69 от 06.04.1998 г на МОСВ с ГИ при БАН. 1998. – 36 с.
- Щерев, К. Минералните води в България. – С., Наука и изкуство, 1964. - 172 с.
- Andersen, P.F. A manual of instructional problems for the USGS MODFLOW MODEL. Dynamic contract 68-C8-0058 with the EPA, R.S. Kerr Environm. Res. Laboratory, Ada, OK 74820. 1993. – 265 p.
- McDonald, J.M., A.W. Harbaugh. A modular three-dimensional finite-difference flow model. *Techniques of Water Resources Investigations of the USGS*, Book 6. 1988. – 586 p.
- Pollack, D.W. User's Guide for MODPATH, V.3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the USGS finite-difference ground-water flow model, *USGS Open File Rep.* 1994. - 94-464.
- Spitz, K., J. Moreno. *A practical guide to groundwater and solute modeling.* JW&S, Inc., NY, 1996. – 460 p.
- USEPA. Soil screening Guidance: *User Guide.* Publ. 9355. 4-23. W., 1996. – 39 p.

Статията е рецензирана от проф. д-н Михаил Гълъбов и препоръчана за публикуване от кат. „Хидрогеология и инженерна геология“.