

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

თეიმურაზ კოროშინაძე

ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ჰიდროგეოლოგიური

მოდელირება მარაგების გაზრდის მიზნით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2018 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის
გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: გმმდ, სტუ-ს ემერიტუსი, ბ. ზაუტაშვილი

რეცენზენტები: პროფესორი მ. მარდაშოვა

გმმდ. გ. მელიქაძე

დაცვა შედგება 2018 წლის "17" ივლისს, 12:00 საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო
საბჭოს კოლეგიის № 65 სხდომაზე,
კორპუსი III აუდიტორია 308
მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შესაძლებელია სტუ-ს ბიბლიოთეკაში,
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი,
ასოცირებული პროფესორი

დ. თევზაძე

შესავალი

თემის აქტუალურობა. ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს შესწავლის ისტორია XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან იწყება. განვლილი პერიოდის განმავლობაში საბადოს შესწავლასა და მისი საექსპლუატაციო მარაგების შეფასებაში მონაწილეობდნენ ცნობილი ქართველი და უცხოელი სპეციალისტები. მათი მონაწილეობით ჩატარდა დიდი მოცულობის ძეგნა-ძიებითი, აგეგმვითი, ბურღვითი, ჰიდროქიმიური, კომპლექსური ჰიდროგეოლოგიური და სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები და 4-ჯერ 1963, 1968, 1983, 2006 წლებში შეფასდა საბადოს საექსპლუატაციო მარაგები.

ბორჯომის უნიკალური მინერალური წყლის წარმოება 1890 წელს დაიწყო და განვლილი პერიოდის განმავლობაში უდიდესი პოპულარობა მოიპოვა როგორც საქართველოში, ასევე მსოფლიოს 40-ზე მეტი ქვეყნის ბაზარზე. ბოლო პერიოდში მსოფლიო ბაზარზე ბორჯომის პროდუქციაზე მოთხოვნილების გაზრდამ აქტუალური გახადა საბადოზე არსებული საექსპლუატაციო რესურსების გადაფასების საკითხი. ამ მიზნით 2014 წელს დაიგეგმა და 2015-2018 წლებში საბადოზე განხორციელდა სპეციალური ჰიდროგეოლოგიური სამუშაოები კვლევის თანამედროვე ტექნოლოგიებისა და მათემატიკური მოდელირების გამოყენებით.

სამუშაოს მიზანი. სადისერტაციო სამუშაოს მიზანია ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს შესწავლა კვლევის თანამედროვე მეთოდებით და საექსპლუატაციო რესურსების შეფასება და მისი გაზრდა მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენებით.

კვლევის ძირითადი ამოცანები:

1. საბადოს რეჟიმული დაკვირვების მონაცემების ანალიზი 1932 წლიდან დღემდე;
2. კვლევის თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით ჭაბურღილების შესწავლა და მათი პოტენციალის შეფასება;
3. რეჟიმული დაკვირვების ანალიზისა და კვლევის თანამედროვე

მეთოდების გამოყენებით საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების გაზრდის შესაძლებლობის შეფასება;

ნაშრომის მეცნიერული სიახლე. სადისერტაციო თემის კვლევის სფერო მოიცავს შემდეგი სახის მეცნიერულ სიახლეებს:

1. ბორჯომის მინერალური წყლის ჭაბურღილები აღიჭურვა გაზომვის, რეგისტრაციისა და უწყვეტ რეჟიმში ინფორმაციის გადამცემი ავტომატიზებული საშუალებებით; კერძოდ, ყველა ჭაბურღილის პირზე დამონტაჟდა წყლისა და გაზის დებიტის, დონის/წნევის, ტემპერატურის და სართო მინერალიზაციის გამზომი ავტომატური ხელსაწყოები. აღნიშნული მონიტორინგული ინფორმაცია უწყვეტ რეჟიმში მიეწოდება სპეციალურ ბლოკს და ხდება მისი გადატანა ციფრულ მატარებელზე შემდგომი დამუშავების მიზნით.
2. საექსპლუატაციო და სათვალთვალო ჭაბურღილებში 400 მეტრ სიღრმემდე ჩატარდა კომპლექსური გეოფიზიკური შესწავლა, მათ შორის ვიდეოკაროტაჟი, რომელიც საქართველოში პირველად ბორჯომის საბადოზე განხორციელდა.
3. ვიდეოკაროტაჟის შედეგად განისაზღვრა გაზის გამოყოფის სიღრმე და ამ სიღრმის ქვემოთ, 107 მეტრის სიღრმეზე №№25, 59 და 131 ჭაბურღილებში დამონტაჟდა დონის მზომი სენსორები, რამაც საშუალება მოგვცა გვეწარმოებინა წნევის მონიტორინგი ბორჯომის წყლის შემცველ ფენში. აღნიშნული კვლევა საქართველოში ჩატარდა პირველად.
4. მიღებული რეჟიმული მონიტორინგის მასალები დამუშავდა ჰიდრავლიკური მეთოდით და თანამედროვე ამერიკული MODFLOW პროგრამული უზრუნველყოფით. საექსპლუატაციო მარაგების შეფასების ანგარიშში გამოყენებულია ჰიდრავლიკური მეთოდისა და მათემატიკური მოდელირების მეთოდის კომბინაცია, რაც საქართველოში პირველად ბორჯომის

მინერალური წყლის საბადოზე განხორციელდა.

კვლევის მეთოდика. შესაბამისი სამონიტაჟო და საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის პირობებში მონიტორინგის ჩასატარებლად საჭირო წინასწარი სამუშაოები:

- ხანმოკლე საცდელი ექსპრეს ამოტუმბვები და გაშვებები;
- ჭაბურღილებზე საშუალოვადიანი საცდელ-ფილტრაციული ამოტუმბვები და გამოშვებები საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის რეჟიმში მათი გადაყვანის შესაძლებლობისა და მიზანშეწონილობის შესაფასებლად;
- საბადოს ყველა უბნის საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაცია;
- აკვატორული გეოფიზიკური და ჰიდროქიმიური კვლევები მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების ხეობებში;
- გაზურ-ქიმიური სამუშაოები (გაზური აგეგმვა);
- სპეციალური გაზურ-ქიმიური, მათ შორის იზოტოპური კვლევები;
- პიეზომეტრული კვლევები მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების ხეობებში მინერალური წყლების განტვირთვის დადგენილ კერებში;
- მონიტორინგის წარმოება;
- მონიტორინგის შედეგების მუდმივი კონტროლი და მათი მიმდინარე დამუშავება;
- ავტომატიზებული ელექტრონული მონაცემთა ბაზებისა და გეოინფორმაციული პროექტის შექმნა.

საექსპლუატაციო ჭაბურღილების ფონდის გაზრდის მიზნით, ცენტრალური უბნის ფაფის ქვეუბანზე გაიბურღა ახალი სარეზერვო-საექსპლუატაციო ჭაბურღილი N131.

გამოყენების სფერო. კომპანია „ჰიდევის“, ქართველი სპეციალისტებისა და დოქტორანტის უშუალო მონაწილეობით 2015-2018 წწ. ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოზე ჩატარებული კომპლექსური სამუშაოების ჩატარების შედეგად შესაძლებელი გახდა საექსპლუატაციო რესურსების გაზრდა დღე-ღამეში 561 მ³-დან 935 მ³-მდე. რესურსების ზრდამ დღე-ღამეში შეადგინა 274 მ³, რაც 66.7%-ით აღემატება დღეისათვის

არსებულ მარაგებს. აღნიშნული მარაგების სამრეწველო ათვისების შემდეგ შესაძლებელი გახდება ბორჯომის წარმოების გაზრდა და გაყიდვების არეალის გაფართოება.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შედგება შესავლის, --- თავის, დასკვნისა და გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხისაგან. ნაშრომი წარმოდგენილია 147 ნაბეჭდ გვერდზე, მათ შორის 8 ნახაზი, 15 ცხრილი, 2 სურათი, 25 დასახელების ლიტერატურა.

თავი 1. ბორჯომის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების დამტკიცების ისტორია

ცნობები ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს რეჟიმული დაკვირვების შესახებ 1930-იანი წლებიდან მოიპოვება. საფონდო მასალების შესწავლის დროს ჩვენს მიერ მოძიებული და სისტემატიზირებული იქნა ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს სამივე უბნის ყველა წყაროსა და ჭაბურღილის რეჟიმული დაკვირვების მონაცემები.

ცხრილი 1-ში მოცემულია ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების დამტკიცების დინამიკა 1963 წლიდან დღემდე. ცხრილში ასახულია როგორც კლასიკური (საერთო მინერალიზაცია 5,0-7,5 გ/ლ-ზე), ასევე დაბალმინერალიზებული (საერთო მინერალიზაცია 2,0-4,0 გ/ლ-ზე) ბორჯომის მარაგების დამტკიცების თარიღები, ჯამური რაოდენობები, ასევე რაოდენობები უბნებისა და კატეგორიების მიხედვით.

დღევანდელი მდგომარეობით, ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს დამტკიცებული საექსპლუატაციო ჯამური მარაგები A+B+C₁ კატეგორიით შეადგენს 685.9 მ³/დღე-ღამეში.

ცხრილი 1

ბორჯომის საბადოს დამტკიცებული საექსპლუატაციო მარაგების დინამიკა

ბორჯომის საბადოს უბნები	ექსპერტიზის ჩატარების თარიღი, ინსტანცია, პროტოკოლის №												01.01.2018 წლით.	
	31.01.1963		30.10.1968		30.03.1983		14.06.2006		29.05.2009		27.06.2014			
	სსრკ მსკ		სსრკ მსკ		სსრკ მსკ		საქართველოს მსკ		საქართველოს მსკ		საქართველოს მსკ			
	№ 3899		№ 5514		№ 9212		№ 39		№ 13		№ 36			
მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	მარაგები	საბ.	
წვალამღები კომპლექსი ზედა ცარცული – ქვედა პალეოცენი														
ცენტრალური	297	7	297	7	220	5	185	6	185	6	185	6	185	7
ლიკანი	77	1	77	1	77	1	73	1	73	1	73	1	73	1
ვაშლივანი-ყვიბისი	1326	3	750	4	240	3	303	3	303	3	303	3	303	5
სულ	1700	11	1124	12	537	9	561	10	561	10	561	10	561	13
წვალამღები კომპლექსი შუა პალეოცენი – ქვედა ეოცენი														
ცენტრალური	-	-	-	-	-	-	-	-	14.6	1	124.6	5	124.6	5
სულ	1700	11	1124	12	537	9	561	10	575.6	11	685.6	15	685.6	18

შენიშვნა. მსკ პროტოკოლით №9212 დან 30.03.1983 წ. ვაშლივანი ყვიბისის მარაგები დამტკიცებულია მოცულობაში

1983-1990 წ.წ. პერიოდში 425 მ³/დღ-დ

1991-2007 წ.წ. პერიოდში 240 მ³/დღ-დ

თავი 2. ბორჯომის საბადოს ექსპლუატაციის რეჟიმის ანალიზი

2015-2018 წლების სამუშაოებამდე თვითდინების პირობის დაცვა წარმოადგენდა მთავარ კრიტერიუმს, რომელიც განსაზღვრავდა წყალაღების შესაძლო სიდიდეს. ამის გამო, ჯამური ხარჯის გასაზრდელად წყალაღების ფართობის გაზრდა ხდებოდა. თავდაპირველად წყალაღება ხდებოდა მდინარე ბორჯომულას ხეობაში არსებული წყაროების კაპტაჟის გზით. ოცდაათიან წლებში წყაროებს მდინარე მტკვრის (ქვეუბანი ფაფა) და მისი შენაკადების - გუჯარეთისწყლისა და ლიკანის ხეობებში განტვირთვის უბნებთან დაკავშირებული ჭაბურღილების რამდენიმე ჯგუფი დაემატა. ორმოცდაათიანი წლების ბოლოს დაიწყო ლიკანისა და ვაშლოვანი-ყვიზისის უბნების ექსპლუატაცია.

დაკვირვება მინერალური წყლების რეჟიმზე 1932 წლიდან დღემდე წარმოებს. მონაცემები მიწისქვეშა წყლების აღრიცხული ხარჯის შესახებ საკმაოდ ზუსტია და პრაქტიკულად არ შეიცავს ხარვეზებს. რეტროსპექტული ინფორმაცია წნევებისა და დონეების შესახებ, გარკვეული პერიოდების გამოკლებით, მიახლოებითია. ძირითადი დასკვნების გაკეთება შესაძლებელია როგორც უბნების ჯამური, ასევე ცალკეული ჭაბურღილების ხარჯის დინამიკის ანალიზის საფუძველზე. ამასთან, აუცილებელია გავითვალისწინოთ, რომ ცალკეულ პერიოდებში წყალაღება მნიშვნელოვნად შემცირებულია ბურღვის დროს ინტენსიური არაკონტროლირებადი თვითდინებისა და რიგი ჭაბურღილების ტექნიკური მდგომარეობის გაუარესების დროს წარმოქმნილი დანაკარგების შედეგად.

არსებული მასალა იძლევა ბორჯომის საბადოს ჰიდროდინამიკური რეჟიმის განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორების გამოვლენის შესაძლებლობას:

- ჭაბურღილების თვითდინების ჯამური სიდიდე;
- ჭაბურღილების მოწყობა მიწისქვეშა წყლების ჭარბი წნევის მქონე ზედა ცარცულ-ქვედა პალეოცენულ წყალშემცველ კომპლექსში, რაც იწვევს მინერალური წყლების განტვირთვას და ნაკადის სტრუქტურის ძირეულ

ცვლილებას;

- თვითმდენი ჭაბურღილების ხარჯის რეგულირება მათ დაკეცვამდე დონეებისა და დებიტების აღდგენის მიზნით, ან წყალზე მოთხოვნის ცვლილების შედეგად;
- წყლის იძულებითი ამოღება თერმოგაზლიფტის გამოყენებით, ხოლო 2016 წლიდან - სიღრმული ტუმბოების საშუალებით;

ბორჯომის საბადოს სამივე უბნის ფარგლებში საექსპლუატაციო ჭაბურღილების ურთიერთქმედება წყალაღების შესაძლებლობების შეზღუდვაში მნიშვნელოვან როლს ასრულებს. უნდა აღინიშნოს, რომ ახალი ჭაბურღილების გაბურღვისა და შესაბამისად ჯამური წყალაღების გაზრდის შედეგად, უფრო ძველ თვითმდენ ჭაბურღილებში წყლის დონე და დებიტი ერთდროულად მცირდება. წყლის დონის შემცირება ისეთ ჭაბურღილებში, სადაც წყალაღება იძულებით ხდება, გამოწვეულია როგორც ჯამური, ასევე საკუთარი დებიტის გაზრდით.

ცენტრალური უბნის ექსპლუატაციის პერიოდში წყალაღების ცვლილების ანალიზი აჩვენებს, რომ ოცდაათიან და ორმოცდაათიან წლებში წყალაღების მკვეთრი ზრდა განპირობებული იყო ახალი ჭაბურღილების გაბურღვით. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ჭაბურღილების მაქსიმალური დებიტები ფიქსირდება უშუალოდ მათი ბურღვისა და ათვისების პროცესში, რის შემდეგაც ხარჯი ინტენსიურად მცირდება, განსაკუთრებით ექსპლუატაციის პირველ წლებში. ასეთი სურათი დამახასიათებელია ჭაბურღილების უმეტესობისათვის მიუხედავად იმისა, თუ საბადოს ექსპლუატაციის რა ეტაპზე მოხდა მათი გაბურღვა. ბურღვის პერიოდების დასრულების შემდეგ იწყებოდა სტაბილურ რეჟიმზე გადასვლის ხანგრძლივი პროცესი, რომელიც გართულებული იყო ცალკეული ჭაბურღილების წყალაღების სქემის ცვლილებებითა და დებიტების რეგულირებით. ჭაბურღილების ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ მაღალი წნევის მნიშვნელოვნად კლების მიზეზია ფენიდან დაგროვებული გაზისა და წყლის ნარევის სწრაფი კლება.

საცდელი სამუშაოების დაწყების წინ (2015 წლის დასასრული) ცენტრალურ უბანზე დონეების აბსოლუტური ნიშნულები 800-810 მ-ის ფარგლებში იყო. ზოგადად, მარაგების პირველი დამტკიცების შემდეგ ისინი პრაქტიკულად არ შეცვლილა.

დონეების შემცირების მიუხედავად (საწყის ნიშნულებთან შედარებით), ბუნებრივი განტვირთვის კერები მდინარე მტკვრის ხეობაში ისევ შემორჩა, რაც დადასტურდა სამოცდაათიანი წლების დასასრულს-ოთხმოციანი წლების დასაწყისში, ორიათასიანი წლების დასაწყისში ჩატარებული და თანამედროვე კვლევებით. ეს მიუთითებს წყალაღების გასაზრდელად საჭირო რესურსების არსებობაზე.

ცენტრალური უბნისგან განსხვავებით, სადაც ჭაბურღილების ჯგუფები დაკავშირებულია სხვადასხვა მდინარეების ხეობებთან, ვაშლოვანი-ყვიბისის უბანზე ჭაბურღილები ჯგუფებად არ არის და მთელ ტერიტორიაზეა გაბნეული. თავდაპირველი წნევები და წყლის დებიტები აქ ბევრად მაღალი (100-130 მ) იყო, ვიდრე ცენტრალურ უბანზე, პირველ წლებში რელიეფის შემალღებულ ელემენტებზე მდებარე ჭაბურღილებში წნევა 20-25 მ-ით შემცირდა, ხოლო მდინარეების მტკვრისა და ყვიბისის ხეობებში არსებულ ჭაბურღილებში - 75-85 მ-ით.

ამგვარად, წნევის შემცირებაში აშკარაა წყალშემცველი ჰორიზონტის დეგრადაციის მნიშვნელოვანი როლი. შემგომ პერიოდში კლება ასეთი მკვეთრი აღარ იყო. ოთხმოციანი წლებიდან დონე უმნიშვნელოდ იცვლება. ოთხმოციან წლებში ჯამური წყალაღება დაახლოებით 380 მ³/დღე-ღამე-ზე დასტაბილურდა, ხოლო მომდევნო წლებში ოდნავ შემცირდა.

ლიკანის უბანზე, მთელი მისი ისტორიის მანძილზე 1958 წლიდან მხოლოდ ერთი ჭაბურღილი მოქმედებს. 1967 წლიდან, როდესაც ჭაბურღილი გადაყვანილ იქნა შეზღუდული თვითდინების რეჟიმზე (1980 წლიდან სიფოიდის გამოყენებით), მისი ხარჯი სტაბილურია და შეადგენს 75 მ³/დღე-ღამე-ს.

ექსპლუატაციისა და საცდელ-ფილტრაციული გაშვებების მასალების

ანალიზით დასტურდება ადრე გაკეთებული დასკვნები ბორჯომის საბადოს ცალკეულ უბნებს შორის ურთიერთქმედების არარსებობის შესახებ. დებიტის და დონეების მდებარეობის ცვლილება დამოუკიდებლად ხდებოდა და განპირობებული იყო თითოეულ ცალკეულ უბანზე ჯამური წყალაღებით. უბნების ჰიდროდინამიკურ იზოლაციას ასევე ადასტურებს მიწისძვრებზე რეაქციის ერთდროული გამოვლინების არარსებობა, განსხვავებები CO₂-ის, ტუტემიწიანი ლითონებისა და გაზების შემცველობაში (ფირმა „გამას“ კვლევები).

დაკვირვებების მთელი პერიოდის განმავლობაში, 1867 წლიდან დაწყებული, ზედა ცარცული-ქვედა პალეოცენური წყალშემცველი კომპლექსის მინერალური წყლების ხარისხი სტაბილურობით ხასიათდება. ყველა ჭაბურღილში, მათი მდებარეობისა და ბუნების მიუხედავად, წყალი ინარჩუნებს საკუთარ იდენტურ ქიმიურ ტიპს და ძირითადი ელემენტების მიახლოებულ პროპორციას. ცენტრალური, ლიკანისა და ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნების ძირითადი ჭაბურღილების წყლის ქიმიური შედგენილობის შესწავლის შედეგად არ გამოვლენილა ტენდენცია, რომლის მიხედვითაც გარკვეული კანონზომიერებით შეიძლება შეიცვალოს ზოგადი მინერალიზაცია ან სხვა პარამეტრები, ანუ დაკვირვებების წარმოების პერიოდებში ძირითადი იონების შედგენილობა მერყეობდა ბუნებრივი ცვლილებების ფარგლებში.

თავი 3. ჰიდროგეოლოგიური, საძიებო და კვლევითი სამუშაოების მეთოდика და შედეგები

2014 წელს, ქართველი სპეციალისტების, მათ შორის დოქტორანტის მონაწილეობით კომპანია "ჰიდექ"-თან ერთად შემუშავებული და დამტკიცებული იქნა ბორჯომის საბადოს მინერალური წყლების მარაგების კომპლექსური გადაფასების სამუშაოების პროგრამა. სამუშაოს ძირითადი ამოცანას შეადგენდა მარაგების ფორმირების პირობების დადგენა მრავალწლიანი ექსპლუატაციის გამოცდილების ანალიზის საფუძველზე,

სპეციალური ჰიდროგეოლოგიური და საძიებო სამუშაოების კომპლექსის განხორციელება, ბორჯომის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების ზრდის შესაძლებლობის შეფასება და აღნიშნული ზრდის სიდიდის შეფასება.

ზემოთაღნიშნული ამოცანების გადაწყვეტის მიზნით დაიგეგმა და შესრულდა შემდეგი სამუშაოები:

- გეოფიზიკური კვლევები ჭაბურღილებში 400 მ სიღრმემდე თერმომეტრიის, რეზისტივიმეტრიისა და ვიდეოკაროტაჟის მეთოდებით ჭაბურღილების ტექნიკური მდგომარეობის შესაფასებლად;
- საექსპლუატაციო და სათვალთვალო ჭაბურღილების აღჭურვა გაზომვის, რეგისტრაციისა და ონ-ლაინ რეჟიმში ინფორმაციის გადაცემის ავტომატიზებული საშუალებებით, შესაბამისი სამონტაჟო და საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის პირობებში მონიტორინგის ჩასატარებლად;
- ხანმოკლე საცდელი ექსპრეს ამოტუმბვები და გაშვებები;
- ჭაბურღილებზე საშუალოვადიანი საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოები საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის რეჟიმში მათი გადაყვანის შესაძლებლობისა და მიზანშეწონილობის შესაფასებლად;
- საბადოს ყველა უბნის საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაცია;
- აკვატორული გეოფიზიკური და ჰიდროქიმიური კვლევები მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების ხეობებში;
- გაზურ-ქიმიური სამუშაოები (გაზური გადაღება);
- სპეციალური გაზურ-ქიმიური, მათ შორის იზოტოპური კვლევები;
- პიეზომეტრული კვლევები მდინარე მტკვრისა და მისი შენაკადების ხეობებში მინერალური წყლების განტვირთვის დადგენილ კერებში;
- მონიტორინგის წარმოება;
- მონიტორინგის შედეგების მუდმივი კონტროლი და მათი მიმდინარე დამუშავება;
- ავტომატიზებული ელექტრონული მონაცემთა ბაზებისა და

გეოინფორმაციული პროექტის შექმნა.

საექსპლუატაციო ჭაბურღილების ფონდის გაზრდის მიზნით, ცენტრალური უბნის ფაფის ქვეუბანზე გაიბურღა ახალი საძიებო-საექსპლუატაციო ჭაბურღილი N131.

წყალამღები ჭაბურღილები აღიჭურვა სიღრმული ტუმბოებით, რომლებიც უზრუნველყოფდნენ სტაბილურ წყალღებას სხვა საექსპლუატაციო ჭაბურღილების გავლენით გამოწვეული წყლის დონის კლების მიუხედავად. სამუშაოების დასრულების მომენტისთვის თვითდინების ან თერმოგაზლიფტის რეჟიმში მუშაობდა ჭაბურღილები 41რ, 59, 131, 54, 38ე, დანარჩენ ჭაბურღილებში მოწყობილი იყო ტუმბოები.

შესრულებული საველე და კამერალური კვლევების შედეგად მიღებულ იქნა ზედა ცარცულ-ქვედა პალეოცენურ კომპლექსში მინერალური წყლების საექსპლუატაციო მარაგების გადასაფასებლად საჭირო მასალები და საწყისი მონაცემები.

შესრულებული სამუშაოების შედეგების საფუძველზე გაკეთდა შემდეგი დასკვნები:

ჭაბურღილებში ჩატარებული გეოფიზიკური სამუშაოების შედეგად დადგინდა:

- ჭაბურღილების უმეტესობის ტექნიკური მდგომარეობა შემდგომი ექსპლუატაციისათვის დამაკმაყოფილებელია;
- აუცილებელია ჭაბურღილი N70-ის რემონტი;
- აუცილებელია ჭაბურღილი N41რ-ის დუბლიორი ჭაბურღილის მოწყობა;
- აუცილებელია ჭაბურღილი N101ე-ს ამოღება საექსპლუატაციო ჭაბურღილების ნუსხიდან;
- განისაზღვრა გაზგამოყოფის სიღრმე თვითმდენ ჭაბურღილებში.

1. საცდელ-საექსპლუატაციო ჭაბურღილი N131-ის მოწყობის შედეგად შესაძლებელი გახდა ცენტრალურ უბანზე ფორსირებული წყალღების განხორციელება.

2. ხანმოკლე ექსპრეს-ცდებით დადგინდა, რომ ჭაბურღილების კუთრი დებიტები ახლოსაა გაბურღვის შემდეგ გაზომილ სიდიდებთან, რაც მეტყველებს იმაზე, რომ ჭაბურღილების უმეტესობაში არ ხდება მარილების დაგროვება.
3. საშუალოვადიანი ცდებით შესაძლებელი გახდა საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის პირობებში ჭაბურღილების ხარჯის დასაბუთება.
4. შექმნილი და მუდმივად განახლებადი მონაცემთა ბაზის საშუალებით შესაძლებელია ექსპლუატაციის მართვის უზრუნველყოფა.
5. აკვატორული გეოფიზიკური სამუშაოების განხორციელების შედეგად ბორჯომის საბადოს ცენტრალურ უბანზე დაფიქსირდა მინერალური წყლის მდინარე მტკვარში ბუნებრივი განტვირთვა. მინერალური წყალი, რომელიც ნაპირზე განიტვირთება, წარმოადგენს ბორჯომის ტიპის ჰიდროკარბონატულ ნატრიუმიან წყალს, რომელიც 5-7-ჯერ არის გაზავებული მდინარე მტკვრის ალუვიური ნალექების წყლით, მდინარის წყლიანობიდან გამომდინარე.
6. გაზქიმიური სამუშაოების შედეგად გამოვლინდა ნახშირორჟანგის თავისუფლი განტვირთვის უბნები. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ ჭაბურღილების საშუალებით მინერალური წყლების აღებამ ნიადაგის გზით მის განტვირთვაზე გავლენა არ მოახდინა. აღნიშნული ადასტურებს, რომ ნახშირორჟანგის გაზის მარაგები მისი საექსპლუატაციო ადების მოცულობებს აჭარბებს.
7. წყლისა და ნახშირორჟანგის იზოტოპური კვლევების შედეგად დადგინდა:
 - ბორჯომის საბადოს მინერალური წყლების კვების უბანს წარმოადგენს წყალშემკრები აუზის წყალგამყოფი უბნები, რომლებიც საბადოს ახლოს, 2000-2500 მ-ზე მეტ სიმაღლეზე მდებარეობენ. ასეთ სიმაღლეზე ყალიბდება გამხსნელი - ნადნობი წყალი, რომელიც, ძირითადად, მინერალური წყლების მარაგების ფორმირებაში მონაწილეობს

- ტრიტიუმის მეთოდით (^3H -ის ნახევარდაშლის პერიოდით - 12.3 წელი) ბორჯომის მინერალური წყლების ასაკის დადგენა ჭაბურღილების N131 და 41რ-ის „კლასიკური ბორჯომისთვის“ შეუძლებელია, რადგან მინერალურ წყალში ტრიტიუმის კონცენტრაცია 0 ± 0.55 ტე-ს ტოლია. შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ სირღმული მინერალური წყლების ასაკი რამდენიმე ათასი წელია, რადგან წარმოშობით ეს წყლები სირღმული და მეტეოგენური წყლების ნარევის წარმოადგენს.
- ჭაბურღილების N123, 124, 125, 129 წყლების ასაკი 1-დან (ჭაბურღილი N129) 40 წლამდეა (ჭაბურღილი N123) მინერალიზებული ბორჯომის წყლებისა და ალუვიური წყლების შერევის მოცულობიდან გამომდინარე.
- ბორჯომის საბადოზე მთელი ნახშირორჟანგი (100%) თერმომეტამორფული წარმოშობისაა. გამონაკლისს წარმოადგენს ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნის ჭაბურღილები, სადაც ნახშირორჟანგის 10% ბიოგენური წარმოშობისაა, რაც შესაძლოა ნავთობის რიგის ნახშირწყალბადების ჟანგვის შედეგი იყოს.

თავი 4. 2016-2018 წწ. საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის შედეგები

ბორჯომის საბადოს მარაგების ზრდის დასაბუთების მიზნით, 2016-2018 წლებში განხორციელდა საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაცია. მისი რეგლამენტი განისაზღვრა 2015 წლიდან წარმოებული სპეციალური ჰიდროგეოლოგიური კვლევების შედეგების ანალიზის (მათ შორის - თითოეულ ჭაბურღილზე ოპტიმალური დატვირთვის შერჩევა) და მინერალური წყლების მრავალწლიანი მოპოვების მასალების შესწავლის საფუძველზე.

თითოეული უბნის ექსპლუატაციის სქემამ განიცადა შემდეგი ცვლილებები:

- 1) წნევის ან ხარჯის შემცირებისას თვითმდენი ჭაბურღილები 1, 21, 25ე და 37 გადაყვანილ იქნა ამოტუმბვით ექსპლუატაციაზე (ამოტუმბვით ექსპლუატაციაზე გადაყვანამდე ჭაბურღილები გაზლიფტის რეჟიმში მუშაობდნენ);
- 2) დარეგულირებულ იქნა ადრე შეფასებული მარაგების მქონე ჭაბურღილების წყალაღების რეჟიმი, ჭაბურღილების ექსპლუატაცია გაგრძელდა წყალაღების სტაბილურ რეჟიმში - დღე-ღამის განმავლობაში ჩართვა-გამორთვის გარეშე;
- 3) ცენტრალურ უბანზე ექსპლუატაციაში შევიდა ახალი სარეზერვო-საექსპლუატაციო ჭაბურღილი 131.
- 4) საშუალოვადიანი საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოების შედეგების საფუძველზე, სათვალთვალო ჭაბურღილები 103, 47 და 67 გარდაიქმნა საექსპლუატაციო ჭაბურღილებად.

103, 47 და 67 სათვალთვალო ჭაბურღილების ექსპლუატაციაში ჩართვის, 1, 21, 25ე, 37 თვითმდენი ჭაბურღილების ამოტუმბვით ექსპლუატაციაზე გადაყვანის, ახალი 131 ჭაბურღილის მოწყობის, 54 ჭაბურღილზე სიფოიდის შეცვლის შედეგად წყალაღების გაზრდით, ცენტრალურ უბანზე მიღწეულ იქნა წყალაღების სტაბილური რეჟიმი 282 მ³/დღე-ღამე მოცულობით, აღნიშნული მაჩვენებელი ვაშლოვანი-ყვიბისის მონაკვეთზე 400 მ³/დღე-ღამე-ს შეადგენს, ხოლო ლიკანის უბანზე - 83 მ³/დღე-ღამე-ს.

1. ცენტრალურ უბანზე ზედა ცარცული-ქვედა პალეოცენური და შუა პალეოცენური-ზედა ეოცენური ნალექების წყალშემცველი კომპლექსების ერთდროულმა ექსპლუატაციამ როგორც ერთი, ისევე მეორე კომპლექსის ჭაბურღილების ერთმანეთზე რეაქცია არ გამოავლინა. დამტკიცებულია მათი ერთდროული ექსპლუატაციის შესაძლებლობა. მონიტორინგის შედეგების საფუძველზე, ფაფა 1 და ფაფა 2 ქვეუბნებზე ზედა ცარცული-ქვედა პალეოცენური ნალექების წყალშემცველი კომპლექსის დონე მეოთხეული წყალშემცველი ჰორიზონტისა და

ბორჯომის ფლიშის ნალექების დონეს, აგრეთვე ზედაპირული წყლების დონეს, 8-9 მ-ით აღემატება. გუჯარეთისწყლის ქვეუბანზე ზედა ცარცული-ქვედა პალეოცენური ნალექების წყალშემცველი კომპლექსი სხვებზე 13 მ-ით ღრმად მდებარეობს. მეოთხეული წყალშემცველი ჰორიზონტის, ზედაპირული წყლების და ბორჯომის ფლიშის (სათვალთვალო ჭაბურღილების მიხედვით) დონეების მდებარეობა სამივე მონაკვეთზე ერთი და იგივე აბსოლუტურ ნიშნულებზეა, რაც მათ ურთიერთკავშირზე მიანიშნებს.

2. მარაგების შესაფასებლად აუცილებელია საანგარიშოდ ჩაითვალოს შემდეგი: ცენტრალურ უბანზე - ($Q=282$ მ³/დღე-ღამე), ვაშლოვანი-ყვიბისის უბანზე ($Q=400$ მ³/დღე-ღამე). ლიკანის უბანზე ექსპლუატაცია ჩამოუყალიბებელ რეჟიმში ბოლო სამი თვის მანძილზე 90 მ³/დღე-ღამე საშუალო წყალაღებით და ხარჯის სტაბილიზაციის პირობებში ერთი თვის განმავლობაში 83.5 მ³/დღე-ღამე წყალაღებით, მიუთითებს მარაგების ზრდის შესაძლებლობაზე.

3. ცენტრალურ და ლიკანის უბნებზე გაზის ფაქტორსა და ჭაბურღილიდან წყალაღების სიდიდეს შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულებაა. აღნიშნული ფაქტი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბორჯომის წყლის ხარისხის შენარჩუნების პირობებში წყალაღების მოცულობების გაზრდის პროგნოზირების დროს.

4.1 ბორჯომის საბადოს მათემატიკური მოდელების შემუშავება და კალიბრაცია

მათემატიკური მოდელირების მიზნები იყო: გაზის გამოყოფის დროს ჭაბურღილების პირზე წნევის წარმოქმნაზე ზემოქმედების მქონე ფაქტორებისა და ფენის წნევის დადგენის დროს შესაბამისი შესწორებების რაოდენობრივი შეფასება, ჭაბურღილებით ფენების გახსნის დროს წნევების ცვლილების დინამიკის პროცესების შესწავლა, საექსპლუატაციო უბნების მიხედვით მინერალური წყლების ფორმირების ბალანსის შემადგენლებისა

და მათი რესურსების პოტენციალის შეფასება, დონებისა და ბალანსის საპროგნოზო გათვლები პროგნოზული ექსპლუატაციის სხვადასხვა ვარიანტებისთვის მარაგების შეფასების დროს.

ბორჯომის საბადოს გეოფილტრაციული აგებულება ხასიათდება ზოგადად დაბალი ფილტრაციული თვისებების არსებითი არაერთგვაროვნებით როგორც ჰორიზონტალურ, ასევე ვერტიკალურ ჭრილში. ადრე დადგენილი ჭაბურღილების გეოფილტრაციული პარამეტრებისა და 2015-2017 წწ. ჩატარებული საცდელი სამუშაოების შედეგებიდან ჩანს, რომ მხოლოდ ექსპლუატაციაში არსებული ჭაბურღილებისათვის ცდების შედეგად მიღებული მონაცემების საფუძველზე გამოანგარიშებული პარამეტრები ერთმანეთისგან ერთი, ხოლო ხვედრითი დებიტების მნიშვნელობები - ორი თანრიგით განსხვავდებიან. წყალშემცველი ქანები „ორმაგი ფოროვნების მქონე“ ნაპრალოვან-ფოროვან გარემოს წარმოადგენს. მატრიცის ბლოკების ფოროვნება 10%-ით შეიძლება განისაზღვროს, ხოლო ნაპრალოვნება - 0,3-0,5%-ით, ასეთი ტიპის ქანების ექსპერტული შეფასებების საფუძველზე. განზოგადებული ეფექტიანი ფოროვნება, ბლოკებსა და ნაპრალებს შორის მასების ურთიერთგაცვლის პროცესების გათვალისწინებით, საშუალო (წლები) და ხანგრძლივი (ათეული წლები) ვადებისთვის შეიძლება 1-2%-ით შეფასდეს.

ასეთ პირობებში ბრტყელ რადიალური ფილტრაციული ნაკადის წინაპირობებისა და საცდელ-ფილტრაციული სამუშაოებით მიღებული მონაცემებით შეფასებული ფილტრაციული პარამეტრების რიცხვითი მნიშვნელობების გავრცელება გარკვეულ ფართობზე საკმაოდ რთულია. წყალშემცველი ქანების ფილტრაციული თვისებების ფორმირებაში ძირითად როლს ტექტონიკური ფაქტორი ასრულებს, რომელიც განსაზღვრავს მათი შეკუმშვისა და გაჭიმვის/დანაწევრების ზონების ფორმასა და გავრცელებას. ამასთან, მოქმედი საექსპლუატაციო ჭაბურღილები ძირითადად დაკავშირებულია უფრო მაღალი

ფილტრაციული თვისებების მქონე გაჭიმვის წრფივ ზონებთან, რომელთა გასწვრივაც მიმდინარეობს მათი ჰიდროდინამიური ურთიერთქმედება, ხოლო ამ ზონების საზღვრებს მიღმა წყალშემცველი ქანების ფილტრაციული თვისებები მკვეთრად უარესდება.

რღვევის ღრმა ნაწილებიდან გაზისა და წყლის ნარევის მუდმივი შემოდინება უზრუნველყოფს ქანებისა და მიწისქვეშა წყლების შემომავალი ლატერალური ნაკადის ფიზიკურ-ქიმიურ ურთიერთქმედებას და ზედა ცარცულ-ქვედა პალეოცენურ ნალექებში ბორჯომის ტიპის მინერალური წყლების ფორმირებას. მათი განტვირთვა ხდება ბორჯომის ფლიშის ქანების ნაპრალოვანი ზონების საშუალებით კალაპოტქვეშა ნაკადის ფორმით უშუალოდ კალაპოტში, რომელიც წარმოდგენილია მდინარე მტკვრის ხეობის ჭალის ნალექებში და ცალკეული წყაროების სახით ცენტრალური უბნიდან ზანავის უბნამდე. ყველაზე ინტენსიური განტვირთვა ხდება ბორჯომის ანტიკლინის ღერძის, ყვიბისის ანტიკლინისა და ბორჯომულას რღვევის ხაზის გასწვრივ.

ბორჯომის საბადოს ჩამოთვლილი თავისებურებების გამო, მათემატიკური მოდელირების მეთოდით მინერალური წყლების მარაგების შესაფასებლად, გამოყენებულ იქნა სხვადასხვა მათემატიკური მოდელების კომპლექსი, რომლებიც ძირითადი მოქმედი ფაქტორების უფრო დეტალურად განხილვის გზით ერთმანეთს ავსებდნენ. ესენია: თერმოდინამიკური - ჭაბურღილებში და წყალშემცველ ფენაში სამფაზიანი დინებისა და ფაზური გადასვლების ფაქტორებისთვის; რიცხვითი - ტექტონიკური აგებულებით განპირობებული ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ფილტრაციული არაერთგვროვნებისთვის; და რეგრესიული - რომლებიც მოქმედ ფაქტორებს განზოგადებულად, სტატისტიკური შეფასებების საფუძველზე განიხილავენ.

მიწისქვეშა წყლების რეჟიმის ანალიზმა და FEFLOW პროგრამული კომპლექსის საფუძველზე, ასევე სამფაზიანი ნაკადის მოდელირების TOUGH2 პროგრამებით მისი რიცხვითი მოდელირების შესაძლებლობების

წინასწარმა შეფასებამ აჩვენა, რომ წნევის გაზომილი სიდიდის კორექტირება ტემპერატურის ფაქტორის გათვალისწინებით მნიშვნელოვნად ნაკლებ როლს ასრულებს, ვიდრე კორექტირება გაზების გაფართოების გათვალისწინებით გაუხსნელ მდგომარეობაში მათი გადასვლის დროს (გაზლიფტი). გარდა ამისა, ციფრული მოდელების შექმნასთან დაკავშირებული სამუშაოების წარმოების დროს გამოვლინდა 1937 – 1957 წწ. და 1957 – 1983 წწ. პერიოდების აღსადგენად საჭირო ინფორმაციის ნაკლებობა და მონიტორინგის შედეგების არასრულყოფილება. ჰიდრავლიკური რეგრესიული და ჰიდროდინამიკური რიცხვითი მოდელების დასაბუთებისა და კალიბრაციისათვის ყველაზე სარწმუნო მონაცემებად ჩაითვალა მხოლოდ 1.10.2015 - 28.02.2018 პერიოდში საცდელი ექსპლუატაციის დროს ჩატარებული რეჟიმული მონაცემები. ამის გამო მოდელირების სამუშაოებს დაემატა აღნიშნული პერიოდისთვის ცენტრალური უბნისა და ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნის ჭაბურღილების რეგრესიული ჰიდრავლიკური მოდელების შემუშავება. რეგიონული ჰიდროდინამიკური რიცხვითი მოდელის შესაქმნელად შეირჩა VISUAL MODFLOW პროგრამული უზრუნველყოფა. აღნიშნული სპეციალიზებული პროგრამული პაკეტის სასრულ-სხვაობიანი უზრუნველყოფა, რომელსაც აშშ-ს გეოლოგიური სამსახური იყენებს, ხასიათდება ამონახსნების უფრო მაღალი მდგრადობით და აპრობირებულია სხვადასხვა ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში რეალური ჰიდროგეოლოგიური ამოცანების ძალიან ფართო სპექტრისთვის.

4.2 თერმოდინამიკური მოდელირების შედეგები

თერმოდინამიკური მოდელების საშუალებით ხორციელდებოდა შემდეგი ამოცანების ამოხსნა: ბუნებრივ პირობებში გაზის თავისუფალ ფაზაში გამოყოფის სიღრმის შეფასება (TOUGH2-EOS2 და TOUGH2-ECO2N პროგრამების გამოყენებით), ჭაბურღილების მუშაობის დროს მეორადი მინერალწარმოქმნის პირობების შეფასება (TOUGHREACT-ECO2N-ის

გამოყენებით), მინერალურ წყალში CO₂-ის საწყისი შემცველობის შეფასება კონკრეტულ ჭაბურღილებში წყლის ქიმიური შედგენილობის საფუძველზე, ჭაბურღილების ლულებში გაზების (მეთანისა და CO₂-ის ნარევის ჩათვლით) თავისუფალ მდგომარეობაში გადასვლის წნევის (სიღრმის) გაანგარიშება, კონკრეტული ჭაბურღილებისათვის გაზის ფაქტორისა და გაზლიფტით კორექტირების გამოთვლა გაზების თავისუფალ მდგომარეობაში გადასვლის წნევის (სიღრმის) მიხედვით (PHREEQC პროგრამის გამოყენებით). Reservoir CO₂ პროგრამის გამოყენებით განხორციელდა მინერალური წყლების ისეთი მონაკვეთის ჭაბურღილით გახსნის მოდელირება, რომელიც ძლიერად არის გაჯერებული გაზით, ხოლო ჭაბურღილის პირზე ანომალურად მაღალი წნევა ფიქსირდება.

ჭაბურღილების ლულაში დინების თერმოდინამიკური მოდელირების შედეგების საფუძველზე, გაკეთდა შემდეგი დასკვნები:

- 1) მინერალური წყლების გაზით გაჯერების საანგარიშო წნევა 4-10 ატმოსფეროს ფარგლებში მერყეობს, რაც შეესაბამება ბუმტუკების წარმოქმნის სიღრმეს 40-დან 100 მეტრამდე. ფენაში ჰიდროსტატიკური წნევების სწორად დასადგენად წნევის სენსორები ბუმტუკების გაჩენის საანგარიშო სიღრმის ქვემოთ უნდა განთავსდეს.
- 2) ბუმტუკების წარმოქმნის სიღრმეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს არა მარტო გაზის ფაქტორი, არამედ გახსნილი გაზების შედგენილობაც. მეთანის წილის ზრდასთან ერთად ბუმტუკების წარმოქმნის სიღრმე იზრდება.
- 3) ჭაბურღილების პირზე წნევის ატმოსფერულ წნევამდე შემცირებით, კორექტირების სიდიდემ შეიძლება 5-8 მ-დან (ჭაბურღილი 25ე, 38ე) 12-17 მ-მდე (ჭაბურღილი 54, 41რ, 59) შეადგინოს. ამგვარად, საანგარიშო კორექტირების მნიშვნელობის ფარგლებში, ფენების წნევის მიწის ზედაპირზე არსებულ მნიშვნელობებზე ნაკლებ მნიშვნელობებამდე შემცირების შემთხვევაში, ჭაბურღილებიდან გაზლიფტის ხარჯზე შეიძლება გაგრძელდეს თვითდინება, ხოლო

წნევა ჭაბურღილის პირზე მიწის ზედაპირზე არსებულ წნევაზე მაღალი იქნება და დიდხანს შენარჩუნდება, რასაც მრავალი წლის განმავლობაში ადგილი ჰქონდა ჭაბურღილების უმეტესობაში, მათ შორის ჭაბურღილებში 1 (პარკი), 25, და 54.

ჭაბურღილის ზედაპირზე წნევის გაზრდის შემთხვევაში წნევის კორექტირების მნიშვნელობები მკვეთრად მცირდება.

გაზით გაჯერებული მინერალური წყლების შემცველი ფენის ჭაბურღილით გახსნის მოდელირებამ აჩვენა, რომ ჭაბურღილებით ფენის გახსნის შემდეგ გაზის მაღალი შემცველობის მქონე ძლიერი ნაკადების წარმოქმნა განპირობებულია წნევის დაცემისას გაზის თავისუფალ მდგომარეობაში მკვეთრად გადასვლის პროცესებითა და ჭაბურღილების გარშემო ლოკალური გაზის „ქუდების“ წარმოქმნით. TOUGHREACT პროგრამის გამოყენებით ბორჯომის საბადოს ცენტრალური უბნის ექსპლუატაციის პირობების მოდელირების შედეგებმა აჩვენა შემდეგი:

წყალაღების არსებული სქემით საბადოს გრძელვადიანი ექსპლუატაციის მოდელირებამ აჩვენა, რომ რეზერვუარის ფარგლებში დონეების დამახასიათებელი კლება რამდენიმე მეტრი იქნება, მაგრამ შენარჩუნდება მინერალური წყლების მდინარის ქსელში განტვირთვა 2.85 კგ/წმ-ის რაოდენობით. საბადოს ექსპლუატაცია მის ზედა ნაწილში იწვევს ვერტიკალური ნაკადების ინტენსიფიკაციას და შედეგად, ნაპრალების გზით სიღრმიდან უფრო ცხელი წყლების მოზიდვას. საექსპლუატაციო მარაგების ფორმირებაში მნიშვნელოვანი როლი შეიძლება შეასრულოს ნაპრალოვანი გარემოს ურთიერთქმედებამ შედარებით ნაკლებად წყალგამტარ ბლოკებთან, რომლის პარამეტრებიც ბოლომდე არ არის დადგენილი.

გარდა ამისა, შემუშავებული იქნა ბორჯომის საბადოს ჭაბურღილების მუშაობის კონცეპტუალური ჰიდრავლიკური რეგრესიული და რიცხვითი ჰიდროდინამიკური გეოფილტრაციული მოდელი. ჭაბურღილების უმეტესობისათვის საანგარიშო და ფაქტიურ მონაცემებს

შორის კორელაციის კოეფიციენტები 0,7-0,8-ზე მეტია, რაც კავშირის მაღალ ხარისხზე მეტყველებს.

შემუშავებული რეგრესიული მოდელები გამოყენებულ იქნა საპროგნოზო შეფასებებისთვის, რომელთა შედეგების ქვემოთ არის წარმოდგენილი

თავი 5. მინერალური წყლების საექსპლუატაციო მარაგების გადაფასება

წარსულში ბორჯომის საბადოს მინერალური წყლების მარაგების შეფასება ხდებოდა ჰიდრავლიკური მეთოდით რეალურად მიღწეული წყალაღების სიდიდეებისა და გადაფასების პერიოდში თვითმდენი საბადოების პირზე გაზომილი წნევების ცვლილების დინამიკის საფუძველზე. ექსპლუატაციის რეტროსპექტული პერიოდის მონაცემები ძირითადად გამოიყენებოდა წყლის ხარისხის, ანუ მისი ქაზქიმიური შედგენილობის უცვლელიობის დასასაბუთებლად.

მარაგების სიდიდის შეზღუდვის ერთ-ერთ პირობას თვითდინების შენარჩუნება წარმოადგენდა. ეს პირველ რიგში N1 ჭაბურღილს (პარკი) ეხებოდა, რომელიც საკურორტო ქალაქს მინერალური წყლით ამარაგებდა. ჭაბურღილი N1-ისა და სხვა ცალკეული ჭაბურღილების ამოტუმბვით ექსპლუატაციაზე გადაყვანის შემდეგ, ეს შეზღუდვა მოიხსნა, რაც ერთდროულად მიუთითებს წყალაღების სიდიდის გაზრდის შესაძლებლობაზე და ჭაბურღილებში წყლის დონის დაწევაზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ჯერ კიდევ 1963 წელს, საბჭოთა კავშირის მარაგების სახელმწიფო კომისიის ოქმში ნათქვამი იყო, რომ მინერალური წყლების გამოთვლილი მარაგების გაზრდა შესაძლებელია თვითდინებიდან ჭაბურღილების ამოტუმბვით ექსპლუატაციაზე გადასვლის შემთხვევაში.

ამგვარად, შესრულებული სამუშაოების შედეგად გამოიკვეთა ჭაბურღილებში წყლის დონის მიწის ზედაპირის დონეზე დაბლა დაწევის ხარჯზე მარაგების გაზრდის შესაძლებლობა

პროგნოზების საიმედოობის ასამაღლებლად, წინამდებარე ანგარიშში

გამოყენებულია ჰიდრავლიკური მეთოდისა და მათემატიკური მოდელირების მეთოდის კომბინაცია. ორივე მეთოდს აქვს რიგი ნაკლოვანებებისა და შეზღუდვებისა, რომლებიც შეიძლება მინიმუმამდე შემცირდეს მათი ერთდროულად გამოყენების შემთხვევაში, ხოლო მათი შესაძლებლობები და უპირატესობები, მათ შორის, ცალკეული მოდელის ნაკლოვანების გამოსწორების კუთხით, მაქსიმალურად იქნება გამოყენებული.

ერთფაზიანი ნაკადის რიცხვითი მოდელირება იყენებს ყველაზე საიმედო და უნივერსალურ პროგრამულ საშუალებებს და საწყისი პარამეტრული მონაცემების მინიმალურ რაოდენობას. მისი სიზუსტე გაზრდილ იქნა ჭაბურღილის პირზე გაზომილი წნევების კორექტირებით ფენაში არსებულ წნევამდე დასაყვანად, რომელიც განისაზღვრა გაზი-წყლის ნარევის მოდელირების მონაცემების საფუძველზე.

ორფაზიანი გაზი-წყლის ნარევის მოდელირებას უდავო უპირატესობები აქვს იმ თვალსაზრისით, რომ ის ითვალისწინებს ნარევის რეალურ მდგომარეობას, მის ურთიერთქმედებას წყალშემცველ ქანებთან, მაგრამ მოითხოვს ჰიპოთეტური დაშვებებისა და საანგარიშო პარამეტრების დიდ რაოდენობას, რომლებიც ლიტერატურული წყაროების საფუძველზე უნდა განისაზღვროს. ამიტომ მოდელის ეს სახეობა გამოყენებულ იქნა დაკვირვებადი პროცესებისა და მაჩვენებლების ანალიზისთვის, მათი ინტერპრეტირებისა და ჭაბურღილების პირზე არსებული წნევის აუცილებელი შესწორებების შეფასებისთვის, აგრეთვე შედარებითი ანალიზისთვის.

მიღებული მასალების საფუძველზე მარაგების გამოთვლა შემდეგი მეთოდების კომბინაციით ხორციელდება:

- 1) ჰიდრავლიკური მეთოდით 2015-2018 წწ. საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის დროს წარმოებული დაკვირვებების შედეგების საფუძველზე და საპროგნოზო პერიოდზე მათი ექსტრაპოლაციით;
- 2) ჰიდრავლიკური მეთოდით, რომელიც ემყარება 2015-2018 წწ. საცდელ-

საწარმოო ექსპლუატაციის შედეგების რეგრესიულ ანალიზს და წინაპერიოდის მონიტორინგის შედეგებს;

- 3) ModFlow პროგრამის გამოყენებით სითხის ერთფაზიანი ნაკადის რიცხვითი მოდელირების მეთოდით;
- 4) TOUGHREACT პროგრამის გამოყენებით ცენტრალურ უბანზე გაზი-წყლის ნარევის ნაკადის რიცხვითი მოდელირების მეთოდი.

5.1 მინერალური წყლების საექსპლუატაციო მარაგების შეფასების შედეგები. მარაგების კატეგორიზაცია

ჰიდრავლიკური მეთოდით მინერალური წყლების მარაგების გადაფასება ბორჯომის საბადოს სამივე - ცენტრალური, ვაშლოვანი-ყვიზისის და ლიკანის უბნისთვის ჩატარდა.

მიწისქვეშა წყლების საექსპლუატაციო მარაგების კატეგორიზაცია განხორციელდა „სასმელი, სამკურნალო მინერალური, სამრეწველო, ტექნიკური და თბოენერგეტიკული მიწისქვეშა წყლების მარაგებისა და პროგნოზული რესურსების კლასიფიკაციის და მარაგების გამოთვლის ანგარიშის შედეგის მეთოდური მითითებების“ ინსტრუქციის შესაბამისად.

B და C₁ კატეგორიის მარაგები დადგინდა 2016-2018 წწ. საბადოს საცდელი-საწარმოო ექსპლუატაციის პროცესში მიღებული მონაცემების საფუძველზე. ძირითად მეთოდს პირდაპირი ჰიდრავლიკური გათვლის მეთოდი წარმოადგენს, რომელიც თითოეულ საექსპლუატაციო ჭაბურღილზე მიღწეული წყალაღების შენარჩუნების პირობებში წყლის დონის ცვლილების ტენდენციის პროლონგირებაში მდგომარეობს.

B კატეგორიის მარაგები შეესაბამება მიწისქვეშა წყლების სტაციონარული რეჟიმის პერიოდში წყალაღების საშუალო სიდიდეს, C₁ კატეგორიის მარაგები - ჭაბურღილის საშუალო ხარჯს იმ შემთხვევაში, თუ ვერ მოხერხდა დონის სტაბილიზაცია, ან სტაციონარულ რეჟიმთან შედარებით მომატებულ დებიტს.

ამასთან, ითვლება, რომ B კატეგორიის მარაგების ჭაბურღილებში მიწისქვეშა წყლების დონეები არ შეიცვლება. C₁ და B+C₁ კატეგორიების

მარაგების ჭაბურღილებზე გაკეთდა დონის დაწვევის პროგნოზირება საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის პერიოდში დონის ნახევრად ლოგარითმული კლების საფუძველზე.

ჭაბურღილების ხარჯის პირდაპირი ჰიდრავლიკური მეთოდით დადგენილი სიდიდეები გამოყენებულ იქნა რეგრესიული ანალიზისა და რიცხვითი მოდელირების მეთოდებით მიწისქვეშა წყლების პროგნოზული შეფასებების ჩასატარებლად. მიღებული მონაცემები მეტყველებს გამოთვლების სხვადასხვა მეთოდები გამოყენებით მიღებული შედეგების მაღალი ხარისხით თავსებადობაზე. ამასთან რიცხვით მოდელზე მიღებული დაწვევის მნიშვნელობები უფრო მაღალია, ვიდრე რეგრესიული ანალიზის საფუძველზე შეფასებული სიდიდეები, რაც მიუთითებს მოდელირებული პროგნოზული გამოთვლების საინჟინრო მარაგის არსებობაზე. ამ მეთოდების ერთობლივად გამოყენება რასაკვირველია ამაღლებს გაკეთებული გათვლების სანდოობის ხარისხს.

ბორჯომის მინერალური წყლების საექსპლუატაციო მარაგების წარსულში გაკეთებული გათვლები არასოდეს ყოფილა დაკავშირებული მათი გაზქიმური შედგენილობის ფორმირების მიღებულ ჰიპოთეზასთან. აღწერილ ნაშრომი გამოთვლის ჰიდრავლიკური მეთოდისა და მათემატიკური მოდელირების ერთმანეთთან შეთავსებით პირველად გახდა შესაძლებელი მარაგების გადაფასების ჩატარება მათი ფორმირების მიღებულ ჰიპოთეზასთან მიმართებით, რაც იძლევა საშუალებას განვიხილოთ წყალაღების პროგნოზული სიდიდეები, რომლებიც აღემატება საცდელ-საწარმოო ექსპლუატაციის დროს მიღებულ მაჩვენებლებს, როგორც წინასწარი დასაბუთების მქონე მონაცემები.

C₂ კატეგორიის მარაგები და P კატეგორიის პროგნოზული რესურსები განისაზღვრა რეგრესიული ანალიზისა მონაცემების და რიცხვითი მოდელირების საფუძველზე. C₂ კატეგორიის მარაგების შეფასების დროს განხილულ იქნა არსებული საექსპლუატაციო ჭაბურღილების (№ 131, 54, 70, 47, 25ე) ხარჯის გაზრდის შესაძლებლობა, ხოლო P კატეგორიის

პროგნოზული რესურსების შეფასების დროს - წყალაღების სქემას დაემატა ახალი ჭაბურღილები, რომლებიც 2015-2018 წწ. საცდელი სამუშაოების დროს არ გამოცდილა (№ 30 და 41). დონის დაწვევის მისაღები სიდიდის დადგენის დროს კრიტერიუმად მიღებული იყო მისი მდებარეობა ზედაპირული წყლების ნიშნულებს ზემოთ. რიცხვითი მოდელირების მონაცემებით განისაზღვრა მიწისქვეშა წყლების მარაგების ფორმირების საბალანსო შემადგენლები.

ცხრილში წარმოდგენილია B+C₁ კატეგორიის მარაგების ამოღების (798 მ³/დღე-ღამე) ვარიანტში ჭაბურღილებში სხვადასხვა მეთოდებით მიღებული პროგნოზული დონეების შედარება. უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა პროგნოზულ ვარიანტში ექსპლუატაციის უბნებზე არსებულ ჭაბურღილებში დონეები შესაბამისი ზედაპირული წყლების ნიშნულებს ზემოთ მდებარეობენ, ანუ მდინარეებიდან მტკნარი წყლის მოზიდვა მოსალოდნელი არ არის.

5.2 საექსპლუატაციო მარაგების შეფასების შედეგები და მათი კატეგორიზაცია

ბორჯომის საბადოს ცალკეულ ჭაბურღილებსა და სამივე უბანზე გამოთვლილი ჯამური დებიტების საფუძველზე რამოდენიმე მეთოდის გამოყენებით განისაზღვრა ზედა ცარცი-ქვედა პალეოცენის წყალშემცველი კომპლექსის საექსპლუატაციო მარაგები (ცხრილი 2).

ბორჯომის საბადოს მინერალური წყლის საექსპლუატაციო მარაგები

ჭაბურღილი	საექსპლუატაციო მარაგები კატეგორიების მიხედვით, მ ³ /დღ.ღ				
	B	C ₁	B+C ₁	C ₂	სულ

ცენტრალური უბანი					
1	12		12		12
21	5		5		5
21ე	1		1		1
41რ	180		180		180
59	60		60		60
103		30	30		30
131		25	25	35	60
სულ	258	55	313	35	348

ლიკანის უბანი					
54	73	10	83	37	120

ვაშლოვანი-ყვიბისის უბანი					
25ე	121.5		121.5	15	136.5
37	30		30		30
38	35.5		35.5		35.5
38ე	95		95		95
70	20		20	30	50
47	50	30	80	20	100
67		20	20		20
სულ	352	50	402	65	467

ჯამი	683	115	798	137	935
-------------	------------	------------	------------	------------	------------

დასკვნა

1. 2015-2018 წლების პერიოდში ჩატარდა მიწისქვეშა წყლების მოპოვებაზე ლიცენზირებული ჭაბურღილების, ასევე საექსპლუატაციო სქემაში ჩართული №№47, 67, 103 სათვალთვალო ჭაბურღილებისა და ახლად გაბურღული №131 ჭაბურღილის საცდელ-სამრეწველო ექსპლუატაცია.
2. ყველა ჭაბურღილზე დამონტაჟდა ავტომატური დებიტის და დონის მზომი, გაზის მრიცხველი, რაც უზრუნველყოფს უტყუარი ინფორმაციის მიღებას.
3. თითქმის ბოლო ერთწლიანმა საცდელ-საექსპლუატაციო ჯამურმა წყალაღებამ, შეადგინა 798 მ³/დღ.დ, რაც ადრე შეფასებულ საექსპლუატაციო მარაგებს 237 მ³/დღ.დ-ით აღემატება. მიღებული შედეგები გამოყენებული იქნა მინერალური წყლის საექსპლუატაციო მარაგების გადაფასების საფუძველად.
4. სპეციალური კომპლექსური ჰიდროგეოლოგიური კვლევებით (გაზური და ჰიდროგეოქიმიური აგეგმვა, აკვატორიული გეოფიზიკური კვლევები და სხვ.) დაფიქსირდა მინერალური წყლის უწყვეტი განტვირთვის კერები მდ. მტკვრის კალაპოტსა და ხეობაში, გამოვლინდა ტემპერატურული და გაზური ანომალიები, რაც არსებული წყალაღების პირობებში მინერალური წყლის რესურსების ულევ პოტენციალზე მეტყველებს.
5. 2015-2018 წლებში საცდელ-სამრეწველო ექსპლუატაციისას მიღწეული წყალაღება ბუნებრივ რესურსებზე ნაკლებია, რაც მის საიმედოობას უზრუნველყოფს;
- 6 ჩატარებული სპეციალური კომპლექსური ჰიდროგეოლოგიური კვლევების შედეგად, საცდელ-სამრეწველო ექსპლუატაციისა და მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე ბორჯომის საბადოს მინერალური წყლის საექსპლუატაციო მარაგები შეფასდა 798 მ³/დღ.დ ოდენობით B+C1+ C2 კატეგორიაში (B კატეგორიაში – 683 მ³/დღ.დ, C1 კატეგორიაში – 115 მ³/დღ.დ. და C2 კატეგორიის პერსპექტიული მარაგები 137 მ³/დღ.დ-ში შეფასდა მათემატიკური მოდელირებით). პროგნოზული რესურსები შეფასდა 60 მ³/დღ.დ ოდენობით.
- 7 სადოქტორო პროგრამით გათვალისწინებული სამუშაოები შესრულდა დროულად და სრული მოცულობით, მიღებული შედეგებით ბორჯომის მინერალური წყლის ჯამური საექსპლუატაციო მარაგები 2006 წელს დამტკიცებულ მარაგებთან შედარებით (561 მ³/დღ.დ.) გაიზარდა დღე-ღამეში 374 მ³-ით და შეადგინა 935 მ³/დღ.დ. გამოთვლილი საექსპლუატაციო მარაგები საშუალებას იძლევა მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ბორჯომის მინერალური წყლის წარმოება და გაფართოვდეს მისი გაყიდვების ბაზარი.
- 8 მიღებული შედეგებით მთლიანად დადასტურდა დოქტორანტის მიერ 2014 წელს გამოთქმული მოსაზრება ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს საექსპლუატაციო რესურსების 40-50%-ით გაზრდის შესაძლებლობის შესახებ.

აპრობაცია

სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი საკითხები მოხსენების სახით გაშუქდა საქართველოს მინერალოგიური საზოგადოების მე-3-ე საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკულ კონფერენციაზე, (თბილისი, 2017 წ.), ასევე კოლოქვიუმებსა და თემატურ სემინარებზე.

პუბლიკაციები

1. **თ.კოროშინაძე** ბორჯომის მინერალური წყლების ბუნებრივი განტვირთვის შეფასება, საქართველოს მინერალოგიური საზოგადოების მე-3-ე საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის შრომათა კრებული, გვ. 77. თბილისი, 2017 წ.
2. **თ.კოროშინაძე** ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ვაშლოვანი-ყვიბისის უბნის მარაგების შეფასება, ჟურნალი საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, №4, 2017 წ, გვ. 39-43.
3. **თ.კოროშინაძე** №131 ჭაბურღილის გაყვანა და ათვისება ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ცენტრალურ უბანზე, სამთო ჟურნალი, №1(40), 2018 წ., გვ. 69-72.
4. **კოროშინაძე თ.** ბორჯომის მინერალური წყლის საბადოს ლიკანის უბნის საექსპლუატაციო მარაგების შეფასება, სამთო ჟურნალი, №1(40), 2018 წ., გვ. 73-77.

Abstract

Hydrogeological Modeling of Borjomi Mineral Water Deposit to Reassess the Resources

In 2015-2018, the doctoral program “Hydrogeological Modeling of Borjomi Mineral Water Deposit to Reassess the Resources” was completed at the Mining and Geological Faculty of the State Technical University, with Doctor of Geology and Mineral Sciences, Full Professor Berdia Zautashvili as the program advisor.

The execution of the research component was designed on Borjomi mineral water deposit, on the base of IDS Borjomi Georgia Ltd..

With the participation of the doctoral student, together with the CJSC GIDEK (Russia) there was complied the Assignment Specifications with the purpose of conducting scientific and research, surveying, complex geophysical and hydrogeochemical and drilling works.

According to the Assignment Specifications, the materials of the monitoring investigations of the Borjomi deposit since 1934 were searched, studied and processed.

All operating and monitoring boreholes on the deposit were equipped with a special automatic devices that allowed measuring the water flow and temperature, gas flow, water level, general mineralization, pressure parameters at the borehole mouth and below the gas draw off point; the obtained data were accumulated on a digital carrier in a continuous mode and then transferred to a hard drive.

On all three sites of the deposit - Likani, Central and Vashlovani-Kvibisa, the aquatic hydrogeological, geochemical and gas surveillance was carried out, the gas anomaly areas and Borjomi mineral water discharges were identified. For the first time in Georgia within the scope of the research, the video logging was conducted on Borjomi mineral water deposit, as a result of which we could determine the technical condition of the wells, the location and the nature of the damages, the depth of gas release.

On the basis of short- and medium-term discharges and pumping on the wells, specific debits were identified and optimal modes for the test and operating discharges and pumping were selected.

The following key results have been obtained by the implemented complex works:

1. A new borehole N131 was drilled and commissioned on the Central site.
2. By the special complex hydrogeological surveys (the gas and hydrogeochemical survey, aquatic geophysical studies, etc.) the mineral water continuous discharge outlets were recorded in the Mtkvari riverbed and valley; the temperature and gas anomalies have been detected, which indicate the unfailing potential of mineral water resources in the Upper Cretaceous-Lower Paleocene system.

3. The hypothesis of mixture of lateral flows infiltrated from the feed areas located at the height of 2200 m in the productive section of the Upper Cretaceous-Lower Paleocene aquifer system and the gas-water compound (core flows) from the depth excludes the threat of exhaustion of mineral water resources. This is confirmed also by the fact that according to the data of monitoring since 1934, the amount of produced Borjomi water exceeds much the amount appraised by other researchers.
4. The first developed model of Borjomi deposit made possible changing the hydraulic method of appraisal of the proven reserves of mineral water by the mathematical modeling method.
5. The water abstraction during the test and commercial operation in 2015-2018 is less than the measured natural resources that ensured its reliability.
6. Non-existence of interaction between the Borjomi deposit sites conforms to the peculiarities of the geology of aquifer surrounding.
7. As a result of special complex hydrogeological studies carried out, based on the test and commercial operation and mathematical modeling, the proven reserves of the mineral water of Borjomi deposit was appraised in the amount of 935 m³/day by category B+C₁ (683 m³/day by B category, 115 m³/day by C₁ category, 137 m³/day by C₂ category), where by areas:
8. According to the balance calculated on the digital model, the vertical flows of mineral water in the sites of discharge in the river network in case of total production of reserves of B + C₁ + C₂ categories are maintained.
9. The works envisaged by the doctoral program were completed in full and timely manner. According to the obtained results, the total proven reserves of the Borjomi mineral water in comparison with the reserves approved in 2006 (561 m³/day) were increased by 374 m³ per day and amounted to 935 m³/day.

The calculated proven reserves allow for the production of Borjomi mineral water and expansion of its sales market.