

UDC 663.64

SCOPUS CODE 1907

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-142-163>

მდ. ალაზნის მარცხენა სანაპიროს გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყლების წარმოშობის გეოქიმიური პირობები

- მარინე მარდაშოვა** გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: m_mardashova@gtu.ge
- თინათინ ძაძამია** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო, 0126, თბილისი, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმ. ნინოს 1
E-mail: tina.dzadzamia@gmail.com
- თამარ მიქავა** გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: t.miqava@gtu.ge

რეცენზენტები:

ნ. ფოფორაძე, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: n.poporadze@gtu.ge

ზ. კაკულია, სტუ-ის ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტის დირექტორი, პროფესორი

E-mail: z.kakulia@gtu.ge

ანოტაცია. განსახილველი ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულებისა და ჰიდროგეოლოგიური პირობების დახასიათების საერთო ფონზე ორიგინალური მოსაზრება არსებობს მიწისქვეშა წყლებში გოგირდწყალბადის წარმოქმნისა და დაგროვების შესახებ, ამასთან ეს მოსაზრება სულფატ-რედუქციის კლასიკური თეორიისგან განსხვავდება. სახელდობრ, დასაბუთებულია, რომ მიწისქვეშა წყლებში გოგირდწყალბადის წარმოქმნა, სულფატ-მარედუცირებელი ბაქტერიების მოქმედების გამო, მხოლოდ ადდგენით გარემოში კი არ მიმდინა-

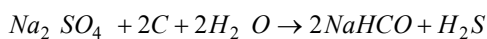
რობს, არამედ ჟანგვის ზონაშიც წარმოიქმნება, ბაქტერიათა სპეციფიკური სახეობების ცხოველქმედების შედეგად. ამ მოსაზრების მართებულობა დადასტურებულია ღრმა ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილებისა და საველე კვლევების მონაცემების ანალიზის საფუძველზე. მთიანი კახეთის ფარგლებში გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყაროების არსებობა კარბონატულ ფლიშთან არის დაკავშირებული. მათი ფორმირება, შემდგომი ცირკულაცია, ბუნებრივი გამოსავლების ჩათვლით, მთლიანად ალაზნისგან კარბონატული ფლიშის წყებაში

მიმდინარეობს და, სავარაუდოდ, გოგირდწყალბადიანი სამკურნალო წყლების წარმოქმნის საწყისი სუბსტანციაა. გარდა კახეთის მინერალური წყაროების გენეზისის თეორიული საკითხებისა, განიხილება ამ წყლების პრაქტიკულად გამოყენების ფართო პერსპექტივა, რომელიც ტერიტორიის თვალწარმტაც ბუნებასა და შესანიშნავ კლიმატურ პირობებთან არის დაკავშირებული, რაც კახეთის რეგიონში საკურორტო-სამკურნალო მშენებლობის დიდ შესაძლებლობას იძლევა.

საკვანძო სიტყვები: ზოგადი კლასიფიკაცია; კარბონატული ფლიში; მდ. ალაზანი; მიწისქვეშა წყალი; ჰიდროგეოქიმიური ზონალობა.

შესავალი

ჰიდროგეოლოგთა შორის დაკანონებულად ითვლება მოსაზრება იმის შესახებ, რომ ბუნებრივი გოგირდწყალბადიანი წყლები, როგორც წესი, დაკავშირებულია დანალექი ქანების კომპლექსებთან და პარაგენეტულად ამ ქანებში ბიტუმის ან ნავთობის სხვა ინგრედიენტების შემადგენელი კომპონენტია. გოგირდწყალბადის დაგროვებას ხელს უწყობს ჟანგითი გარემოს გარდაქმნა ალდგენით გარემოდ – წყალში არსებული სულფატების სულფიდებამდე მიკრობიოლოგიური ალდგენა შემდეგი რეაქციით მიდის:



აღნიშნული რეაქცია ბიოქიმიური სულფატ-რედუქციის კლასიკური თეორიის გამოხატულებაა, რომლის მიხედვითაც გოგირდწყალბადის წარმო-

ქმნა ხდება მხოლოდ ალდგენით გარემოში, ჟანგბადის არარსებობის და ორგანული ნივთიერების არსებობის პირობებში. ამ თეორიის მიხედვით, მიწისქვეშა წყლების სულფატების მომხმარებელი სულფატ-მარედუცირებელი ბაქტერიები აუცილებლად ანაერობულია.

მეორე მხრივ, ალდგენითი გარემო, რომელიც დამახასიათებელია გაძნელებული წყალცვლის ღრმა ჰორიზონტებისთვის, არ შეიძლება შენარჩუნდეს ახალგაზრდა, ინტენსიურად დისლოცირებულ სტრუქტურებში, რომლებთანაც ხშირად არის დაკავშირებული შედარებით არაღრმა ცირკულაციის გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყლები. სტატიაში სწორედ ამ კუთხით არის გაშუქებული ალაზანგადმა მთიანი კახეთის ცნობილი გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყაროების გენეზისი. ამ წყაროების ბუნებრივი გამოსავლები ძირითადად დაკავშირებულია ზედა იურა-ქვედა ცარცის ($J_3^{km} - K_1^v$) კარბონატული ფლიშის ქანებთან, რითაც აგებულია კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის წინა მთიანეთი [1]. ეს უკანასკნელი თითქმის შვეული კარნიზების სახითაა აღმართული ალაზნის დაბლობზე.



კარბონატული ფლიშის გაშიშვლება სამების ქედზე

გასულ წლებში ალაზანგაღმა მთიანი კახეთის ფარგლებში ჩატარდა ღრმა საძიებო ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილების ბურღვა. ბურღვის მონაცემებით დადგენილია, რომ კარბონატული ფლიშის ჭრილში, დაახლოებით 200–300 მ სიღრმის ინტერვალში გავრცელებულია სულფატური შედგენილობის მიწისქვეშა წყლების ზონა, რომელიც საწყისი სუბსტანციაა გოგირდწყალბადიანი სამკურნალო წყლების წარმოქმნისათვის. აღნიშნული საკითხი დადასტურებულია არა მარტო არსებული საფონდო და ლიტერატურული წყაროებით, არამედ ველზე უშუალო დაკვირვებით [2; 3].

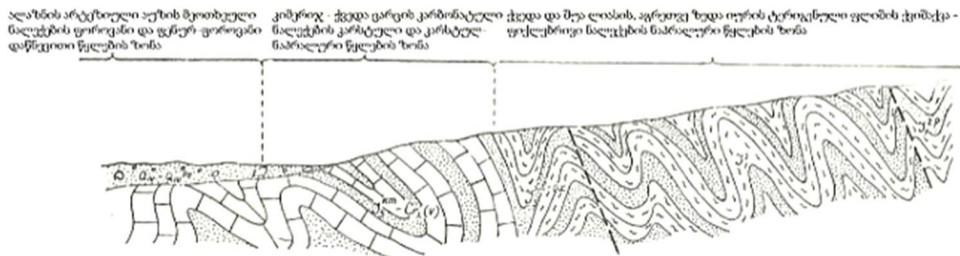
ძირითადი ნაწილი

საკვლევი ტერიტორია, რომელიც, ერთი მხრივ, მოიცავს დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის საშუალო- და დაბალმთიანეთს და, მეორე მხრივ, ალაზნის მთათაშორისი დეპრესიის ჩრდილოეთ პერიფე-

რიას, ამგვარი სპეციფიკური მდებარეობის გამო, რთული ჰიდროგეოლოგიური პირობებით ხასიათდება.

მდიდარი ფაქტობრივი მასალების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ რაიონის მიწისქვეშა წყლების განაწილებაში აღინიშნება გარკვეული კანონზომიერება როგორც ჰორიზონტალური, ისე ვერტიკალური მიმართულებით. მიწისქვეშა წყლების განაწილებაში გამოვლენილი ზონალურობა ასახავს ჰიდროგეოლოგიური პროცესების შინაარსს და, ამდენად, საძიებო სამუშაოების სწორად წარმართვაში დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ლატერალურად, ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის პირობების მიხედვით და ქიმიური შედგენილობის გათვალისწინებით, მკაფიოდ გამოიყოფა სამი მსხვილი ჰიდროგეოქიმიური ზონა:



სურ. 1. მთიანი კახეთის მიწისქვეშა წყლების ჰორიზონტალური ზონალურობის სქემა

I. ქვედა და შუა ლიასის ქვიშაქვა-ფიქლებრივი ნალექების ნაპრალოვანი წყლების ზონა, რომელიც განვითარებულია რაიონის უკიდურეს ჩრდილოეთ ნაწილში და მთლიანი ტერიტორიის დაახლოებით 3/4 უჭირავს. ამავე ზონას მიეკუთვნება ზედა იურის (კალოვიურ-ოქსფორდული) ტერიგენული ფლიშიც, რომელიც წარმოდგენილია

თიხაფიქლებისა და ქვიშაქვების მონაცვლეობით. აღნიშნულ წყლებს ჰიდროგეოლოგიურად შუალედი მდგომარეობა უკავია, კერძოდ მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის პირობებით არ განსხვავდება ლიასის ქვიშაქვა-ფიქლებრივი ნალექებისგან, ხოლო ქიმიური შედგენილობით უფრო ახ-

ლოსა კიმერიჯ-ქვედა ცარცის (ვალანჟინური) კარბონატულ სერიასთან;

II. კიმერიჯ-ქვედა ცარცის კარბონატული ნალექების კარსტული და კარსტულ-ნაპრალოვანი მიწისქვეშა წყლების ზონა, რომელიც ძალზე საინტერესოა და სრულად არის შესწავლილი ორი მიზეზის გამო: ჯერ ერთი, მასთან დაკავშირებულია რაიონის მინერალური წყაროების (მათ შორის გოგირდწყალბადიანი წყაროები) უმრავლესობა და, მეორე მხრივ, ამ ქანებში გაბურღულია 1000 მ-ზე მეტი სიღრმის ორი სტრუქტურულ-ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილი;

III. ალაზნის არტეზიული აუზის ჩრდილოეთ ნაწილის ფენური და ფენურ-ფოროვანი დაწნევიითი მიწისქვეშა წყლების ზონა.

რაიონის ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი მიწისქვეშა წყლების შედარებით ერთგვაროვან ფონზე შესამდებელია თვალი გავადევნოთ ქიმიური შედგენილობის ცალკეულ კომპონენტებს შორის თანაფარდობათა ცვლილებას, რასაც გრუნტის წყლების ჩრდილოეთიდან სამხრეთისკენ საერთო მინერალიზაციის მატება მოსდევს.

ამგვარად, ზემოთ მითითებულ პირველ ზონაში, რომელიც მდინარეების–დურუჯის, არეშის, შოროხევის, ნინოს ხევის და სხვა ხეობების შუა და ზემო წელს მოიცავს, გვხვდება ულტრამტკნარი, ძალზე რბილი წყლები, საერთო მინერალიზაციით 0.1 – 0.2 გ/ლ, ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი შედგენილობის. ჰიდროკარბონატისა და კალციუმის იონების გარდა, მცირე რაოდენობით (10 მგ/ლ–მდე) შეიცავს ქლორს, ხოლო სულფატიონი (SO_4^{2-}) ზოგიერთ სინჯში გამონაკლისის სახით გვხვდება. საერთოდ, განსახილველ შემთხვევაში სულფატ-იონის

შემცველობა ერთადერთი საიმედო კრიტერიუმია იმისთვის, რომ ერთმანეთისგან გავმიჯნოთ ცალკეული წყალშემცველი ჰორიზონტებისა და კომპლექსების გრუნტის წყლები. ასე, მაგალითად, შუა და ზედა ლიასის წყლები, როგორც წესი, სულ-ფატიონს არ შეიცავს. მხოლოდ რამდენიმე სინჯში, რომლებიც მდინარეების – უჩარას, სალესავის ხევის, სამალისა და ლანჯაურას ხეობებიდან არის აღებული, SO_4^{2-} დაფიქსირებულია 20 მგ/ლ–მდე რაოდენობით. ჰიდროკარბონატის და კალციუმის დომინირებული როლი შენარჩუნებულია ისე, რომ ქიმიური ტიპი, ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი, უცვლელი რჩება. იშვიათად ვხვდებით ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმიან წყლებს. გამონაკლისია სოფ. საცხენისთან მდებარე სამი გოგირდწყალბადიანი წყარო, რომლებიც ხასიათდება სულფატურ-ჰიდროკარბონატული ნატრიუმიან-კალციუმიან-მაგნიუმიანი შედგენილობით და წარმოქმნის სულფატური წყლების ლოკალურ ჩაკეტილ უბანს ტერიგენული ფლიშის ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი წყლების ფონზე.

კიმერიჯ-ქვედა ცარცის კარბონატული სერიის კარსტული და კარსტულ-ნაპრალოვანი წყლები უმთავრესად წარმოდგენილია ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი ტიპით, საერთო მინერალიზაციით 0.2–0.5 გ/ლ. ამ წყლების ქიმიურ შედგენილობაში სულფატ-იონის შემცველობის მატების ტენდენცია მკაფიოდ არის გამოხატული. სულფატ-იონების კონცენტრაცია მკვეთრად აღემატება ქლორ-იონების შემცველობას, რომლებიც ძალიან მცირე რაოდენობით გვხვდება ან საერთოდ არ არის.

ალაზნის არტეზიული აუზის ფოროვანი და ფოროვან-ფენური დაწნევიითი წყლების ქიმიური შედ-

გენილობა შემდგომი მეტამორფიზმის აშკარა კვალს ატარებს. ეს ტენდენცია კარგად შეინიშნება ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით მიწისქვეშა წყლების მოძრაობის (ფილტრაციის) კვალობაზე.

ცალკე უნდა აღინიშნოს ქვედა ლიასის ფიქლისებრი წყების წყალშემცველი ჰორიზონტის სულფატურ-ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმთან წყლების შესახებ, რომლებიც გავრცელებულია მდინარეების

– შორხევისა და მაწიმისწყლის ხეობების ზემო წელში. ო. ქაროსანიძე [4] მიიჩნევს, რომ ეს წყლები სპილენძ-პიროტინიან გამადნებასთან დაკავშირებული “შარავანდის” წყლებია, მათთვის დამახასიათებელი სულფატური შედგენილობით. ჰორიზონტალური ზონალურობის აღწერილი სურათი ადვილად აღიქმება ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობის რუკაზე (სურ. 2).



სურ. 2. საკვლევი რაიონის მიწისქვეშა წყლების ჰორიზონტალური გეოქიმიური ზონალურობის რუკა

რაიონის მიწისქვეშა წყლების ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალურობის დახასიათებამდე უნდა აღინიშნოს, რომ ამ საკითხზე მოსაზრება ორი სტრუქტურულ-ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილის მონაცემებს ეყრდნობა. ეს ჭაბურღილები გაყვანილია ყვარლის რაიონის სოფელ წიწკანანათსერის მიდამოებში, კიმერიჯ-ქვედა ცარცის კარბონატული სერიის ქანებში. დაახლოებით 20 მ სიღრმემდე ჭრილი წარმოდგენილია დელუვიური თიხნარებით, ქვემოთ, სანგრევამდე (1200 მ) ჭრილი აგებულია ზედა იურა – ქვედა ცარცის კარბონატული ქანებით, რომლებიც წარმოდგენილია ნაპრალოვანი,

ნაწილობრივ გაკაჟებული, მკვრივი კირქვებისა და კარბონატული ქვიშაქვების მონაცვლეობით ფიქლებრივ წვრილმარცვლოვან მერგელოვან მუქი ფერის კირქვებთან. ნაპრალების კედლებზე აღინიშნება კალციტის გამონაყოფი და პირიტის წვრილი ჩანაწინწკლი. წყალგამოვლინების ინტერვალები, როგორც წესი, დაკავშირებულია ქანების და ნაპრალიანებულ უბნებთან. ჭაბურღილით გახსნილია დაწნევიითი წყლები პიეზომეტრული დონით +20 მ. დაახლოებით 750 მ სიღრმიდან წყალს ახლავს საწვავი აირი (მეთანი), რომლის გამოყოფა სიღრმის მატებასთან ერთად თანდათან და განუხრელად

იზრდება. ჭაბურღილის ჰიდროქიმიური დასინჯვის მონაცემების საფუძველზე ადვილად დგინდება, რომ მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შედგენილობა, მათი მინერალიზაცია და ცალკეული იონების კონცენტრაცია მჭიდრო კავშირშია მიწისქვეშა წყლების განლაგების სიღრმესთან, სახელდობრ:

- ნატრიუმის იონის შემცველობა სიღრმესთან ერთად განუზრელად მატულობს. მკვეთრი ზრდა შეინიშნება 550 – 750მ სიღრმეში, უფრო ღრმად აღნიშნული იონის მატება თანაბარი ტემპით მიმდინარეობს;

- საპირისპირო ტენდენციას ამჟღავნებს კალციუმის იონი. მიწისქვეშა წყლებში ნატრიუმის კონცენტრაციის მატებასთან ერთად კალციუმის შემცველობა მუდმივად მცირდება, თუმცა დიდ სიღრმეებში (> 1000მ) შეინიშნება ამ იონის შემცველობის მატება, რაც მიწისქვეშა წყლების მეტამორფიზმის პროცესთან უნდა იყოს დაკავშირებული;

- ნატრიუმის პარალელურად, სიღრმის მატებასთან ერთად, მატულობს ქლორ-იონის შემცველობაც და 760 მ სიღრმეში მაქსიმუმს, 1683 მგ/ლ აღწევს;

- 300 მ სიღრმემდე ჰიდროკარბონატ-იონის კონცენტრაცია მცირდება, შემდეგ იზრდება და 1029 – 1031 მ წყალშემცველ ინტერვალში 1385 მგ/ლ აღწევს. ამასთან, თუ 300 მ სიღრმემდე ჰიდროკარბონატ-იონი წყალში დომინანტია, უფრო ღრმად დონიმიერებულ მდგომარეობას ჯერ სულფატ-იონი იკავებს, შემდეგ – ქლორი. შესაბამისად, იცვლება წყლის ქიმიური ტიპი;

- საინტერესოა თვალი მივადევნოთ სულფატ-იონის კონცენტრაციის ცვალებადობას. 300 მ სიღრ-

მემდე მისი შემცველობა თანდათან მატულობს და სულფატ-იონი აღემატება დანარჩენ ანიონებს. ქვემოთ ხდება ამ იონის თითქმის ნულამდე მკვეთრად შემცირება.

გოგირდწყალბადიანი (სულფიდური) მიწისქვეშა წყლების ზოგადი კლასიფიკაცია [5] მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

გოგირდწყალბადით მთლიანად გაჯერებული წყლები ბუნებაში არ გვხვდება. გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია დამოკიდებულია ორგანული ნივთიერებების არსებობასა და სულფატების შემცველობაზე. იშვიათ შემთხვევაში, გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია მაღალ სიდიდეს აღწევს თუ წარმოქმნილი გოგირდწყალბადი ბმულია რკინის მიერ ან მისი წარმოქმნა ხდება ნავთობპროდუქტების დაჟანგვის ან გახსნის შედეგად.

გოგირდწყალბადიანი (სულფიდური) წყლების ქიმიური ტიპები იაროცკის მიხედვით [6] წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

სამკურნალო მიზნით გამოყენებულ გოგირდწყალბადიან წყლებს შორის H_2S -ის ყველაზე დიდი შემცველობა აღინიშნება დაღესტნის კურორტ თალგისწყალში – 560 მგ/ლ; მას მოსდევს ურალისპირა წყაროები და ფართოდ ცნობილი მაცესტის წყაროები, რომლებშიც გოგირდწყალბადის შემცველობა 400 მგ/ლ შეადგენს. ბევრ კურორტზე უფრო ნაკლები შემცველობის წყლებს იყენებენ. მაგალითად, ცხელი წყაროების თერმული წყლები კრასნოდარის მიდამოებში – 170 მგ/ლ H_2S -ს შეიცავს, ხოლო სერგეევსკის – 80 მგ/ლ [7].

გოგირდწყალბადიანი წყლების კლასიფიკაცია

ჯგუფი	გოგირდწყალბადის მცირე შემცველობის წყლები (<10მგ/ლ)	I	II	III
		დაბალი კონცენტრაციის $\Sigma H_2S=10-60$ მგ/ლ	საშუალო კონცენტრაციის $\Sigma H_2S=60-120$ მგ/ლ	მაღალი კონცენტრაციის $\Sigma H_2S= >120$ მგ/ლ
გოგირდწყალბადიანი (Ph<7.5)	აზოტოვანი და ჟანგბად-აზოტოვანი წყლები ნაპრალოვან და დაკარსტულ ქანებში, აგრეთვე ფხვიერ მეთოხეულ ნალექებში (ჰაობი, ტოფის საბადოების წყლები)	სულფიდური, კალციუმიანი და კალციუმიან-მაგნიუმიანი წყლები გარეცხილ ჰიდროგეოლოგიურ სტრუქტურებში	იგივე, რაც წინა გრაფაში, ნავთობგაზშემცველ აუზებში (სულფატური, სულფატურ-ქლორიდული, ქლორიდული)	მაღალკონცენტრირებული გოგირდწყალბადიანი წყლები მაცესტის ტიპის, ქლორიდული, კალციუმიან-ნატრიუმიანი (არსებული და დაშლილი ნავთობის ბუდობების რაიონში). სოჭი, მაცესტა, ფერგანა და სხვა
ჰიდროსულფიდური (Ph>7.5)	აზოტოვანი, თერმული, სუსტად ჰიდროსულფიდური წყლები (იხ. აზოტოვანი თერმების ჯგუფი)	აზოტოვანი ჰიდროსულფიდური წყლები მთიან ნაოჭა აუზებში (თბილისი, ნაოჭიკი და სხვა)	აზოტოვანი და აზოტ-მეთანიანი ჰიდროსულფიდური წყლები ნავთობგაზიანობის აუზებში	მაღალკონცენტრირებული აზოტმეთანიანი და მეთანიანი და ჰიდროსულფიდური წყლები, უმთავრესად ფლოზური ფორმაციის ქანებში (აზშერონის ნ.კ)

გოგირდწყალბადიანი წყლების ქიმიური ტიპები

ტიპი	მთავარი კომპონენტების შემცველობა (ეკვ. %)	საბადოები ყოფილ სსრკ-ში
I ქლორიდულ-ნატრიუმიანი	$Cl > 50$ $Na > 50$ $SO_4 < 25$ $Ca < 25$ $HCO_3 < 25$ $Mg < 25$	მაცესტა, სურახანი, ფერგანა, მენჯი
II ქლორიდულ-ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმიანი	$Cl > 25$ $Na > 50$ $SO_4 < 25$ $Ca < 25$ $HCO_3 > 25$ $Mg < 25$	ცხელი წყარო, სერნოვოდსკი, თბილისი
III სულფატურ-ჰიდროკარბონატული და სულფატურ-კალციუმიანი	$Cl < 25$ $Na < 25$ $SO_4 > 25$ $Ca > 50$ $HCO_3 \geq 25$ $Mg < 25$	ტამისკი, ნემიროვი, სერგეევსკი და სხვა
IV ქლორიდულ-სულფატური სხვადასხვა კათიონური შედგენილობით	$Cl > 25$ $SO_4 > 25$ $HCO_3 < 25$	ურალისპირა წყაროები, სერგეევსკი

გოგირდწყალბადიანი (სულფიდური) წყლები გან სულფატების ბიოქიმიური აღდგენის პროცესი სხვადასხვაგვარი იონური შედგენილობისაა, რად- სხვადასხვა ბუნებრივ პირობებში მიმდინარეობს,

ესენია: ჟანგბადის არარსებობა, ორგანული ნივთიერების (ან წყალბადის) არსებობა, სულფატებისა და სულფატ - მარედუცირებელი მიკრობების არსებობა და ა.შ. სამკურნალო მიზნით ყველაზე მეტად ორგანული ნივთიერებების შემცველი გოგირდწყალბადიანი წყლები გამოიყენება. იმის მიუხედავად, რომ ბუნებრივ წყალში გოგირდწყალბადის შემცველობა ბევრად ნაკლებია გაჯერების ზღვარზე, აზოტმეთანური გაზის გამოყოფისას ყოველთვის აღინიშნება გოგირდწყალბადის გარკვეული რაოდენობა, რომელიც ხსნარში მის პარციალურ დრეკადობას შეესაბამება, რაც დამოკიდებულია წყლის ტემპერატურასა და საერთო მინერალიზაციაზე.

გოგირდწყალბადიანი წყლების საბადოთა ტიპები. გოგირდწყალბადიანი მიწისქვეშა წყლების ფორმირების პირობები, რომლებიც დაკავშირებულია წყლის იონურ შედგენილობაზე სულფატების აღდგენის ზედდებასთან, ძალზე მრავალფეროვანია. განსხვავება ვლინდება ორგანული ნივთიერების რაობასა და წარმოშობაში, განსაკუთრებით ქანების ლითოლოგიურ თავისებურებებში. ეს უკანასკნელი განსაზღვრავს გაცვლით-ადსორბციული პროცესების აქტიურობას და გოგირდწყალბადის შთანთქმის შესაძლებლობას გარკვეულ ჰიდროგეოლოგიურ პირობებში. მხედველობაშია მისაღები აგრეთვე წყლის ცირკულაციის ინტენსიურობა, ქანებიდან მარილების გამორეცხვის ხარისხი და ა.შ.

გოგირდწყალბადიანი წყლები შეიძლება ორ ძირითად ჯგუფად დაიყოს. პირველ ჯგუფში თავსდება ისეთი წყლები, რომლებიც წარმოიქმნება სულფატების შემცველი წყლების ურთიერთქმედებისას

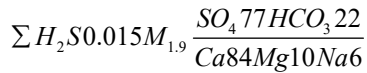
მეოთხეული ნალექების ორგანულ მასალასთან, ხოლო მეორე ჯგუფი აერთიანებს სულფატური წყლების ურთიერთქმედებას ძირითადი ქანების ბიტუმებთან.

მიკროორგანიზმების მიერ გამოყენებული ორგანული ნივთიერების ტიპი მნიშვნელოვანი გენეტიკური მაჩვენებელია, რომელიც საშუალებას გვაძლევს ვიმსჯელოთ გოგირდწყალბადიანი წყლების ფორმირებაზე.

გოგირდწყალბადიანი წყლების იმ საბადოებში, რომლებიც წარმოიქმნება სულფატის წყლების ურთიერთქმედებით მეოთხეული ნალექების ორგანულ მასალასთან, ქიმიური შედგენილობის მიხედვით შეიძლება გამოვყოთ სულფატურ-კალციუმის წყლების საბადოები, რომლებიც შემდეგი ჰიდროგეოლოგიური თავისებურებებით ხასიათდება: მიწის ზედაპირთან ჰორიზონტის ახლო განლაგება, ამ ქანებამდე ეროზიული ბაზისის ან ტექტონიკური რღვევის არსებობა, რომელიც უზრუნველყოფს წყლის მოძრაობას ზედაპირისკენ და ტორფიანი ნალექების არსებობა, რომლებშიც ხდება სულფატ-კალციუმის წყლების განტვირთვა და მათი კონტაქტი ორგანულ ნივთიერებასთან.

აღნიშნული წყლების ტიპურ მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ კურორტ კრაინკას საბადო ტულის ოლქში. ეს საბადო დაკავშირებულია მდ. ჩერეპეტის ხეობის ტორფიან ნალექებთან. მეოთხეულ ნალექებში, სახელდობრ ტორფიან ნალექებში ნაპრალების გავლით შემოდის სულფატ-კალციუმის წყლები. ტორფიან ნალექებში სულფატის წყლის შედგენილობა მეტამორფიზმს გა-

ნიცდის ადდგენის პროცესის ზეგავლენით. აღნიშნული წყლის ქიმიური ფორმულაა:



ანალოგიური პირობები აღინიშნება სხვა საბადოებზეც, სადაც ნალექები გამდიდრებულია ორგანული ნივთიერებებით – ტორფი, საპროპელიტები და ა.შ.

გოგირდწყალბადიანი წყლების იმ საბადოთა ჯგუფში, რომელიც წარმოიქმნება სულფატების შემცველი წყლების ძირითადი ქანების ბიტუმებთან ურთიერთქმედების შედეგად, გამოიყოფა ცალკეული ტიპები, რომლებიც ერთმანეთისგან განსხვავდება არტეზიულ აუზებში მდებარეობით და ქანების ლითოლოგიური თავისებურებით. არტეზიულ აუზში მდებარეობა განსაზღვრავს ქანების გარეცხილობის ხარისხს, აგრეთვე წყალში არსებული სულფატების ორგანულ ნივთიერებასთან კონტაქტის პირობებს. ქანების ლითოლოგიური შედგენილობის როლი იმაში გამოიხატება, რომ სულფატისანი წყლების ბიტუმებთან ურთიერთქმედების პროცესი მკვეთრად განსხვავდება, ერთი მხრივ, როდესაც ეს პროცესი მიმდინარეობს კარბონატულ ქანებში და, მეორე მხრივ, ისეთ ქანებში, რომელიც წარმოდგენილია თიხებთან მონაცვლე ქვიშაქვებისა და კარბონატული ქვიშაქვების შრეებით. ქვიშაქვა-თიხოვანი ქანები აქტიურია გაცვლით – ადსორბციული პროცესების მიმართულებით. ამას კომნიშვნელობა აქვს წყლის იონური და გაზური შედგენილობის მეტამორფიზმში, რაც სულფატ-რედუქციის პროცესებით არის განპირობებული.

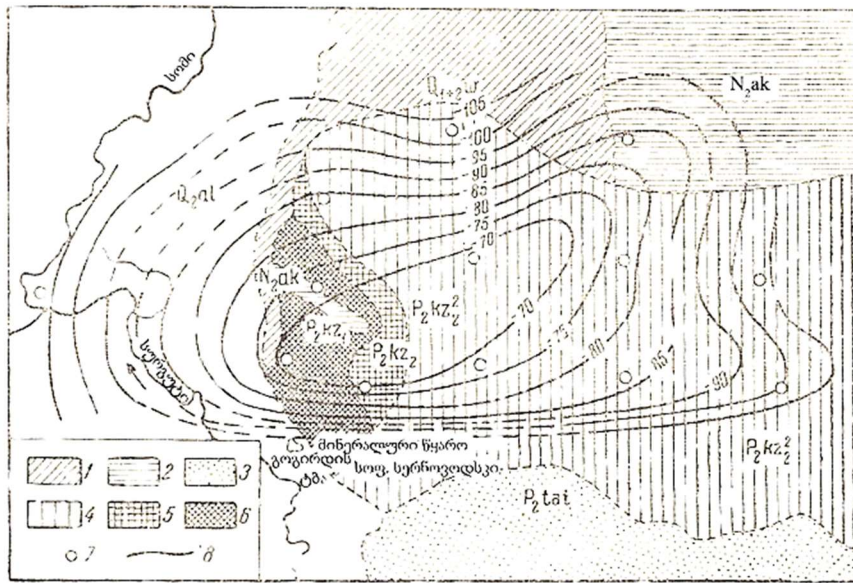
ბიტუმის შემცველი ქვიშაქვა-თიხოვანი ქანებისთვის დამახასიათებელია თაბაშირის არსებობა ქანგვის ზონაში, სადაც ადგილი აქვს არსებული პირიტის დაჟანგვას.

კარბონატულ ქანებთან შედარებით, ქვიშაქვა-თიხოვანი ქანები გაცილებით დაბალი ფილტრაციული თვისებებით ხასიათდება, რაც წყლის ცირკულაციის პირობებს განსაზღვრავს.

კარბონატულ და ქვიშაქვა-თიხოვან ქანებს შორის განსხვავება გოგირდწყალბადის ქცევაშიც ვლინდება. ქვიშაქვა-თიხოვანი ქანები, როგორც წესი, ბევრად უფრო მდიდარია რკინის ნაერთებით, ამიტომ გოგირდწყალბადი ებმის ამ ნაერთებს და წარმოქმნის პირიტს და სხვა სულფიდებს. ამათგან განსხვავებით, კარბონატულ წყებებში რკინა ნაკლებადაა და წყალში არსებული გოგირდწყალბადი უკეთ ინახება თავისუფალ მდგომარეობაში.

ამრიგად, ქვიშაქვა-თიხოვან ქანებში ცირკულირებად წყალში გოგირდწყალბადის არსებობა, ხშირ შემთხვევაში, შეიძლება განვიხილოთ, როგორც სულფატ-რედუქციის ახლა, აწმყოში, მიმდინარე პროცესი. კარბონატული ქანებისათვის შესაძლებელია გოგირდწყალბადის ხანგრძლივი დროის განმავლობაში შენარჩუნება და მისი წარმოქმნა ქანების პირველადი დამარილიანების ხარჯზე.

გოგირდწყალბადიანი სულფატურ-კალციუმისანი შედგენილობის მიწისქვეშა წყლების ტიპურ მაგალითად, რომლებიც წარმოიქმნება ბიტუმის შემცველი ძირითადი ქანების წყებებში, შეიძლება დავასახელოთ სერგეევსკის მინერალური წყლები და დასავლეთ უკრაინის გოგირდწყალბადიანი წყლები.

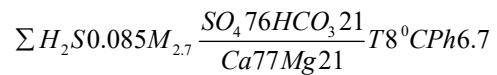


სურ. 3. ტაღინის გოგირდწყალბადიანი საბადოს გეოლოგიური აგებულების სქემა

აღნიშვნები: სერგევსკის მინერალური წყლების რაიონის გეოლოგიური სტრუქტურა: 1. თიხნარები, თიხები, ქვიშები; 2. თიხები; 3. ქვიშაქვების, მერგელების, თიხების, კირქვებისა და დოლომიტების გადაშრევა; 4. დოლომიტები, ქვიშაქვები, თიხები, თაბაშირი, მერგელები; 5. თაბაშირი, ანჰიდრიტი, დოლომიტის ფქვილი; 6. დოლომიტები, კირქვები; 7. ჭაბურღილები; 8. შვაგერინის კორიზონტის სახურავის სტრატოიზოჰიფსები

სერგევსკის მინერალური წყლების კუიბიშევის ოლქის საბადო მდებარეობს სერნოვოდსკის ბრაქიანტიკლინის დასავლეთ დაბოლოებაზე. ბრაქიანტიკლინის თაღში განვითარებულია თაბაშირიანი დოლომიტები და კირქვები, ხოლო ფრთებზე – თაბაშირიანი თიხები, დოლომიტები, კირქვები, თაბაშირი, მერგელები და ქვიშაქვები. ანტიკლინის თაღურ ნაწილში ადგილი აქვს წყლის ინტენსიურ

მოძრაობას ანაერობულ (უჟანგბადო) პირობებში, რომლებიც ხელსაყრელია სულფატების სულფიდებად აღდგენის პროცესში. სერგევსკის გოგირდწყალბადიანი წყლის მინერალური შედგენილობა კურლოვის ფორმულის მიხედვით ასე გამოისახება:



დასავლეთ უკრაინის საბადოები (ნემიროვი, შვლო და სხვა) დაკავშირებულია ანტიკლინის ფრთასთან, რომელიც კარპატების გაღუნვისკენ არის მიმართული. აქ გოგირდწყალბადიანი წყლები დაკავშირებულია კავერნულ კირქვებსა და ზედა იურის თაბაშირიან წყებებთან. ჰიდროგეოლოგიური თვალსაზრისით, საბადოები არტეზიული ფერდობის ზედა ნაწილში მდებარეობს. წყლის შედგენილობა სულფატურ-კალციუმის ან ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-კალციუმისა, ხოლო გოგირდწყალბადის შემცველობა 150 მლ-ს აღწევს.

დასახელებული მინერალური წყაროების გამოსავლების ხაზზე, საბჭოთა კავშირისა და პოლონეთის ტერიტორიებზე, გოგირდის მძლავრი საბადოებია აღმოჩენილი.

ქლორიდულ-სულფატური და ქლორიტულ-სულფატურ-ჰიდროკარბონატული წყლების წარმოქმნა თაბაშირის შემცველ ქანებში ხდება, ამ შემთხვევაში სულფატ-რედუქციის პროცესის შედეგად წყალში სულფატების შემცირება კომპენსირდება სულფატური მარილების ხელახალი გახსნით. ორგანული მასალის მაღალი შემცველობისას მინერალურ წყლებში გოგირდწყალბადის კონცენტრაცია მაქსიმალურია, რაც გოგირდის აღდგენის პროცესს უკავშირდება.

მაღალმინერალიზებული ქლორიდულ-ნატრიუმის გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყლების ტიპური წარმომადგენელია პერმის ოლქში მდებარე უსტკაჩკის საბადო, აგრეთვე სხვა უბნები, სადაც ჭაბურღილებით ანალოგიური წყლებია გახსნილი. აქ გოგირდწყალბადიანი წყლების ფართო გავრცელება დაკავშირებულია თაბაშირიანი წყებების არსებობასთან და ვოლგა – კამსკის არტეზიული აუზის ნავთობგაზიანობასთან.

ვ. კუკანოვის [8] მონაცემებით, უსტკაჩკის რაიონის გეოლოგიური ჭრილი შემდეგნაირია:

- ქვედა დევონი – თიხა-ქვიშაქვების შუაშრები;
- შუა და ზედა დევონი – კირქვები და დოლომიტები;
- კარბონი – კირქვები და დოლომიტები.

ძირითადი წყალშემცველი კომპლექსებია ქვედა დევონი – ქვედა კარბონი, სადაც უგოგირდწყალბადო ქლორიდულ-ნატრიუმის წათხებია გავრ-

ცელებული. შუა და ზედა კარბონთან კი დაკავშირებულია ასევე ქლორიდულ-ნატრიუმის, მაგრამ გოგირდწყალბადიანი წათხები:

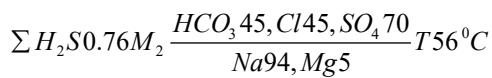
$$\sum H_2S 0.540 M_{265} \frac{Cl99}{Na95}$$

ფართოდ არის ცნობილი მაცესტის გოგირდწყალბადიანი წყლების საბადო, რომელიც დაკავშირებულია სოჭ-ადღერის დეპრესიასთან, ეს უკანასკნელი სამხრეთ-დასავლეთით იძირება შავ ზღვაში. დეპრესია აგებულია ქვედა ნაწილში იურულ ტუფოპორფირიტებისა და ქვიშაქვიანი ფიქლებით, ჯამური სიმძლავრე 2000 მ, ჭრილის შუა ნაწილი წარმოდგენილია ზედა იურისა და ცარცის კარბონატული წყებით, სიმძლავრე ასევე 2000 მ, ხოლო ზედა ნაწილში გვხვდება მესამეული ასაკის მერგელები, თიხები და ქვიშაქვიანი თიხები, სიმძლავრე 2500 მ. ჰიდროგეოლოგიური სოჭ-ადღერის დეპრესია ფართო გავრცელების არტეზიული აუზია, რომლის ძირითადი წყალშემცველი კომპლექსი ზედა იურისა და ცარცის კირქვებთან არის დაკავშირებული. აღნიშნული არტეზიული აუზის ღრმა ზონებში გავრცელებულია მაღალმინერალიზებული, ძალიან მაგარი გოგირდწყალბადიანი წყლები შემდეგი ქიმიური შედგენილობით:

$$\sum H_2S 0.439 M_{2.7} \frac{Cl97}{Na79Ca14Mg6} T39^{\circ}C - Ph6.8.$$

არტეზიული აუზის პერიფერიაზე ზედა იურისა და ცარცის კირქვები გადარეცხილია. მაღალმინერალიზებული წყლები მთლიანად არის ჩანაცვლებული მტკნარი წყლებით, რომელთა შედწევა ჰორიზონტში კვების არეებიდან ხდება, რომლებიც ანტიკლინების ბირთვთან არის დაკავშირებული. აქ მტკნარი წყლების შედწევის მიზეზით აღინიშნება

და ქვიშაქვების მონაცვლეობით, რომელთა შორის ორი შრე გამოიყოფა: ზედა – 15-მეტრიანი სიმძლავრით და ქვედა – 30-მეტრიანი სიმძლავრით. ტექტონიკურად სტრუქტურა მონოკლინია, შრეების ჩრდილო-აღმოსავლეთით დაქანებით, ქანები კი გაწყვეტილია ტექტონიკური ნაპრალებით. ჰიდროსულფიდური წყლის აღმავალი მიგრაცია ხდება ქვედა ქვიშაქვიანი ჰორიზონტის ნაპრალოვანი ზონის გავლით, წყლის ქიმიური შედგენილობაა:



ქვედა ქვიშაქვების ჰორიზონტში ნათლად ვლინდება არტეზიული ჰორიზონტისთვის დამახასიათებელი ჰიდროქიმიური ზონალურობა, კერძოდ ფერდობის ზედა ნაწილში ცირკულირებს მტკნარი ჰიდროკარბონატულ-სულფატურ-ქლორიდულ-ნატრიუმთან-კალციუმთან-მაგნიუმთან წყლები. ქვემოთ, მაგრამ არადიდ სიღრმეში გავრცელებულია სუსტად მინერალიზებული, სუსტად გოგირდწყალბადიანი, ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმთან წყლები. უფრო ქვემოთ, თითქმის 2000 მ სიღრმემდე ჰიდროკარბონატულ-ქლორიდულ-ნატრიუმთან წყლების გავრცელების ზონაა. ამ უკანასკნელის ქიმიური შედგენილობის ფორმირება განპირობებულია ზემოთ დასახელებული სხვადასხვა შედგენილობისა და გენერაციის წყლის შერევით. თიხური შრეების არსებობა განაპირობებს გაცვლით-ადსორბციული აქტიურობის პროცესს, რასაც ახლავს ორგანული მასალისა და პირიტის შემცველობა. ამ პროცესების ერთობლივ ზემოქმედებას მოსდევს, ჯერ ერთი, ნატრიუმის ქლორიდების შემცველობის ზრდა და, მეორე, ნატრიუმის კონცენტრაციის მა-

ტება ქანების კოლოიდურ მასალასთან გაცვლითი ადსორბციის ხარჯზე. აღსანიშნავია აგრეთვე მესამე პროცესი, რომელიც იმაში ვლინდება, რომ ადგილი აქვს სულფატების აღდგენას, სულფატ-მარედუცირებელი მიკროორგანიზმების ცხოველქმედების შედეგად. ამის გამო, წყალი კარგავს სულფატებს და მდიდრდება გოგირდწყალბადითა და ჰიდროკარბონატებით. სხვა მხრივ, თუ სულფატების აღდგენას თან არ ახლავს გაცვლით-ადსორბციული პროცესები, წარმოიქმნება ქლორიდულ-ნატრიუმთან წყლები, რომლებიც გოგირდწყალბადს არ შეიცავს.

დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის ფარგლებში გავრცელებული ქვედა იურა – ზედა ცარცის კარბონატული ფლიშის გეოლოგიური აგებულები-სა და ჰიდროგეოლოგიური პირობების შესწავლით ბევრი მკვლევარი იყო დაკავებული [8; 9; 10; 11;]. როგორც ადრე აღვნიშნეთ, ხსენებული ფლიშით აგებულია კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის ნაოჭა სისტემის საკონტაქტო ზოლი მთიანი კახეთის ტერიტორიაზე ალაზნის დაბლობთან. კონტაქტი მკვეთრია (ტექტონიკური), რეგიონური სუბგანედური რღვევის სახით, რომლის გასწვრივ ფლიშური ნალექები შეცოცებულია ალაზნის დაბლობის მიოცენური ასაკის ფხვიერ კონტინენტურ წარმონაქმნებზე. ფლიშურ წყებასა და ლიასის ფიქლებრივ წყებასთან დაკავშირებულია მდ. ალაზნის მარცხენა სანაპიროს ცნობილი გოგირდწყალბადიანი წყაროები, რომელთა გამოსავლები შიგა ფორმაციული ტექტონიკური რღვევით კონტროლდება. 1200 მ სიღრმემდე სტრუქტურულ-ჰიდროგეოლოგიური ჭაბურღილის მონაცემებზე დაყრდნობით, შესაძლებელია თვალი გავადევნოთ აღნიშნულ

წყებაში მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის პირობებს და სიღრმეში ქიმიური შედგენილობის ცვალებადობას, რაც მნიშვნელოვანია ამ წყაროების გენეზისის საკითხში გარკვევისთვის. შესწავლილ სიღრმემდე, ზედა იურა-ქვედა ცარცის ფლიშური ნალექები ლითოლოგიურად წარმოდგენილია ნაპრალოვანი კირქვებისა და კარბონატული ქვიშაქვების ფიქლებრივ-მერგელოვან კირქვებსა და თიხაფიქ-

ლებთან მონაცვლეობით. ნაპრალების კედლებზე ხშირია პირიტის კრისტალური ჩანაწინწყლები.

ბურღვის შედეგად წყალგამოვლინების გახსნილი ინტერვალები დაკავშირებულია ქანების დანაპრალიანებულ ზონებთან. მიწისქვეშა წყლების სიღრმული დასინჯვის მონაცემების მიხედვით, შეიძლება ვიმსჯელოთ ჩაღრმავების კვალობაზე ამ წყლების მთავარი ქიმიური კომპონენტების ცვალებადობის ხარისხზე.

ცხრილი 3

ჭაბურღილით გახსნილი მიწისქვეშა წყლების ჰიდროქიმიური ზონალურობა

#	წყალ- შემცველი ინტერვალი, მ	$t^{\circ}C$	იონების შემცველობა, მგ/ლ						ქიმიური შედგენილობის ფორმულა
			Na^{+}	Ca^{2+}	Ca^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	
1	25 - 30	14.0	1.2	125.7	26.8	21.3	73.2	390.4	$M_{0.6} \frac{HCO_3 75 SO_4 18}{Ca 74 Mg 26}$
2	50 – 55	14.5	31.1	78.6	24.6	17.8	90.9	288.8	$M_{0.5} \frac{HCO_3 67 SO_4 26}{Ca 54 Mg 28}$
3	290 – 300	16.1	210.7	40.5	7.2	32.0	354.2	213.5	$M_{0.9} \frac{SO_4 63 HCO_3 30}{(Na + K) 78 Ca 17}$
4	495 – 500	18.8	92.9	42.9	21.6	63.9	27.2	342.0	$M_{0.6} \frac{HCO_3 70 Cl 23}{(Na + K) 51 Ca 27}$
5	530 - 535	19.3	332.8	24.7	10.2	327.0	61.8	366.0	$M_{1.12} \frac{Cl 56 HCO_3 36}{(Na + K) 87}$
6	750 – 755	22.8	1366.4	9.02	5.5	1682.7	14.8	768.0	$M_{3.84} \frac{Cl 79 HCO_3 21}{(Na + K) 98}$
7	890 - 895	24.0	3560.9	22.04	17.4	4835.1	7.4	1281.0	$M_{10.4} \frac{Cl 87}{(Na + K) 99}$
8	1030 - 1035	27.3	3927.0	31.9	27.1	5388.0	კვალი	1385.0	$M_{10.8} \frac{Cl 87}{(Na + K) 98}$

ცხრილის მონაცემების ანალიზიდან შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:

60 მ სიღრმემდე გავრცელებული მიწისქვეშა წყლები უნდა მივაკუთვნოთ ერთიან მძლავრ კარსტულ ჰორიზონტს, რომელიც მიწის ზედაპირზე ვლინდება მაღალდებიტიანი (100 ლ/წმ-მდე) წყაროების სახით – ფატმასური, აფენი, ოქტომბერი და სხვა. კარსტული წყაროების გამოსავლები დაკავშირებულია კარბონატული ფლიშის გაშიშვლებული ნაწილის მსხვილ ეგზოგენურ ნაპრალიანობასთან. ეს წყლები აქტიური წყალგაცვლის ზონის ზედა ნაწილს უნდა მივაკუთვნოთ, რამდენადაც ისინი თანამედროვე კლიმატური პირობებით და ინტენსიური დრენაჟის გავლენით მოქმედებს.

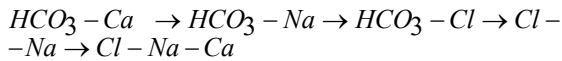
სულფატ-იონის შემცველობის თანდათანობითი მატება 290–300 მ ინტერვალში, სულფატურ-კარბონატულ-ნატრიუმის შედგენილობის წყლების არსებობასთან ერთად, გვიჩვენებს, რომ განსახილველ წყალშემცველ კომპლექსში უნდა არსებობდეს სულფატური წყლების ზონა, რომელიც ჭრილში ქლორიდულ-ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმის წყლების ზემოთ თავსდება. 500 მ-ის ქვემოთ ადგილი აქვს სულფატ-იონების შემცველობის მკვეთრ შემცირებას, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ზედა იურა - ქვედა ცარცის კარბონატული ნალექების ჟანგვის ზონა დაახლოებით 500 მ სიღრმემდე ვრცელდება. სიღრმეში სულფატური წყლების არსებობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია, თუ მათ განვიხილავთ, როგორც საწყის სუბსტანციას საკვლევი რაიონის გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყლების წარმოშობისთვის.

ქლორიდულ-ნატრიუმის წყლები, რომლებიც ჭაბურღილში 800 მ სიღრმიდან ვლინდება, შესწავლილი ჭრილის ქვედა ნაწილს მთლიანად იკავებს. თუ ვიმსჯელებთ ამ წყლების შედარებით დაბალი საერთო მინერალიზაციით (მაქსიმუმი 11 გ/ლ) და ჰიდროკარბონატების გაზრდილი შემცველობით, მაშინ მათი გავრცელების ზონა უნდა მივიჩნიოთ მიწისქვეშა წყლების გამწვანებული ცირკულაციის საშუალო ზონად.

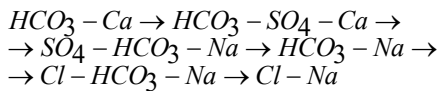
ამგვარად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფლიშური წყების წყალშემცველ კომპლექსში ნათლად შეინიშნება მიწისქვეშა წყლების ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალურობა, რომელიც გამოხატულია ჰიდროკარბონატული შედგენილობის წყლების სულფატურ და შემდგომ ქლორიდულ წყლებში კანონზომიერ გადასვლაში. საერთო მინერალიზაციისა და მეტამორფიზმის ხარისხის თანაბარი ზრდა მიუთითებს სხვადასხვა ჰიდროქიმიური ზონის მიწისქვეშა წყლების ჰიდრავლიკურ კავშირზე, რაც განპირობებულია ფლიშური წყების ტექტონიკური აგებულებით, სადაც შესწავლილ სიღრმემდე უნდა განიხილებოდეს, როგორც ნახევრად ღია ჰიდროგეოლოგიური სტრუქტურა, რომელიც ზღვიურ-მარილოვანი კომპლექსიდან თანდათანობით გამორეცხვას განიცდის.

მ. ვრუბლევსკი [11] განიხილავს რა მთიან ოლქებში ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალურობის საკითხს, აღნიშნავს, რომ გეოლოგიური ჭრილისთვის დამახასიათებელ გაფანტულ პირიტოზაციას არ მივეყვართ სულფატური წყლების წარმოქმნამდე, არამედ შეინიშნება მხოლოდ სულფატ-იონების მომატებული შემცველობა თავისუფალი

წყალგაცვლის ზონის დაბალმინერალიზებულ წყლებში. აქედან გამომდინარე, აფხაზეთ-კრასნო-პოლიანსკის დეპრესიის მაგალითზე ავტორი გვთავაზობს დიდი კავკასიონის ჰიდროგეოლოგიურ აუზებში მიწისქვეშა წყლების ვერტიკალური ზონალურობის შემდეგ ტიპურ სქემას:



დიდი კავკასიონის სამხრეთ ფერდობის აღმოსავლეთ პერიფერიისთვის დამახასიათებელი აღნიშნული სქემა რამდენადმე დეტალიზებული და სახეცვლილია სულფატური წყლების ზონის გამოჩენის ხარჯზე. ეს ზონა სწორედ ჩაწინწკლული პირიტის დაჟანგვის შედეგად წარმოიქმნება, რადგან განსახილველი წყება სულფატ-იონების წარმოქმნის სხვა წყაროს არ შეიცავს. აღნიშნულის გათვალისწინებით, მოცემულ შემთხვევაში ვერტიკალური ზონალურობის სქემა შემდეგნაირია:



თვალსაჩინოა, რომ ამ გარდაქმნებში ძირითად ფაქტორს წყალშემცველი ქანების ლითოლოგიურ-მინერალოგიური შედგენილობა და მასივის ტექტონიკური აგებულება შეადგენს. ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, განსაზღვრავს მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის ჰიდროდინამიკურ პირობებს და ქიმიური შედგენილობის ფორმირებას. ქვედა ცარცის შემდგომმა მძლავრმა ოროგენულმა მოძრაობამ გამოიწვია საერთო აზვეება და ტექტონიკური რღვევების წარმოქმნა. ამის შედეგად კარბონატული ფლიში დიდ სიმძლავრეზე იქნა დისლოცირებული, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის ატმოგენური

წყლების მნიშვნელოვან სირღმემდე ინფილტრაციისა და ჟანგვითი პროცესების განვითარებისთვის, რომელთა შემადგენელი ნაწილი პირიტის დაჟანგვაა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ვრუბლევსკის მიერ შექმნილი მთიან-ნაოჭა სისტემების ფარგლებში გავრცელებული მიწისქვეშა წყლების ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალურობის სქემა უნივერსალური არ არის და გარკვეულ პირობებში მნიშვნელოვნად სახეცვლილია.

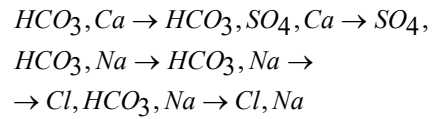
ცნობილია, რომ ამა თუ იმ მეცნიერული მოსაზრების მართებულობა საჭიროებს პრაქტიკული მაგალითებით დადასტურებას. მოცემული ინფორმაცია უნდა განვიხილოთ, როგორც მცდელობა, ფაქტობრივი მონაცემებით დავასაბუთოთ ჩეხი მეცნიერ რობერტ კვეტის [7] ორიგინალური შეხედულება მიწისქვეშა წყლებში გოგირდწყალბადის წარმოშობის შესახებ, როდესაც ეს წყლები დაკავშირებულია ღრმა რღვევითი ტექტონიკის ჰიდროგეოლოგიურ სტრუქტურებთან. ავტორი ექვექვემ აყენებს ბიოქიმიური სულფატ-რედუქციის კლასიკური თეორიის უნივერსალურობას, რომლის მიხედვითაც გოგირდწყალბადის წარმოშობა მხოლოდ აღდგენით გარემოში ხდება, რომელიც ჟანგბადის არარსებობით და ორგანული ნივთიერებების არსებობით ხასიათდება. ამ თეორიის მიხედვით, ბაქტერიები, რომლებიც ცხოველქმედებისთვის მიწისქვეშა წყლების სულფატებს იყენებს, ანაერობული ბაქტერიებია. მეორე მხრივ, აღდგენითი გარემო, რომელიც დამახასიათებელია ძალზე გამწვანებული წყალგაცვლის ღრმა ჰორიზონტებისთვის, არ შეიძლება შენარჩუნდეს ახალგაზრდა, ინტენსიურად დისლოცირებულ სტრუქტურებში,

რომლებთანაც, არცთუ იშვიათად, დაკავშირებულია შედარებით არაღრმა ცირკულაციის გოგირდწყალბადიანი მინერალური წყლები. მაგალითისთვის ავტორი მიუთითებს ჩეხეთის ფლიშზე, სადაც გოგირდწყალბადით გამდიდრებული მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის სიღრმე 100–200 მ-ს არ აღემატება. ამ პირობებში აღდგენითი პროცესების ინიცირებას ავტორი ხსნის დამჟანგველი წყლების შემოდენით იმ წყლებთან კონტაქტის ზონაში, რომლებიც ორგანულ ნივთიერებებს შეიცავს, ხოლო დამჟანგველი წყლები აერობული ბაქტერიების შემცველია. ხშირად, სწორედ აერობული ბაქტერიების ცხოველქმედებით წარმოიქმნება სათანადო საკვებად აუცილებელი ორგანული ნივთიერებები სულფატ-მარედუცირებელი ბაქტერიებისთვის, მაგრამ განსაზღვრულ პირობებში სხვადასხვა ჯგუფის მიკროორგანიზმებით გოგირდის ორგანული ნაერთები შეიძლება დაიშალოს და მინერალიზებულ იქნეს. გოგირდის ორგანული ნაერთების მინერალიზაციის პროცესში მონაწილეობს მრავალნაირი აერობული ჰეტეროტროფული და არასპეციალიზებული ანაერობული მიკროორგანიზმები, რის შედეგადაც ცნობილი საბოლოო პროდუქტის – გოგირდწყალბადის გარდა, წარმოიქმნება სხვა შენაერთებიც, კერძოდ მერკაპტანი, მინერალური გოგირდი და სულფატი. ამ არაორგანული გოგირდის ნაერთების ჟანგვას ახორციელებენ ობლიგატური (მკაცრი) აერობული გოგირდის ბაქტერიები – თიობაქტერიები (Thio-გოგირდი) Thiobacillus-ის გვარიდან. ამ ბაქტერიების ტიპური წარმომადგენლები ცხოვრობენ გოგირდის მრავალი ნაერთის ჟანგვის შედეგად გამოყოფილი ენერჯის ხარჯზე.

თიონური ბაქტერიების სხვადასხვა სახეობა ჟანგავს აღდგენილ გოგირდს, გოგირდწყალბადს, სულფიდებს, თიოსულფატებს, ტეტრათიონატებს, თიოციანატებს და გარდაქმნის სულფატად. ამ შემთხვევაში გოგირდი წყალბადის დონორი და ენერჯის წყაროა, ხოლო როცა წყალბადის აქცეპტორის როლს ასრულებს, ვითარდება აღდგენითი პროცესი. ჟანგვითი პროცესების შედეგად დაჟანგული გოგირდის ნაერთების აღდგენას ახდენენ მხოლოდ და მხოლოდ ობლიგატური ანაერობული სულფატ-რედუქტორი ბაქტერიები. სულფატების აღმდგენელი ბაქტერიების ორი გვარი არსებობს: არასპორაწარმომქმნელი *Desulfovibrio* და სპორაწარმომქმნელი *Desulfotomaculum*. ორივე გვარის წარმომადგენლები ობლიგატური ანაერობები არიან, სულფატებს სულფიდებად აღადგენენ. სულფატაღმდგენელი ბაქტერიები ეკუთვნიან განსაკუთრებულად სპეციალიზებულ ჯგუფის ბაქტერიებს, რომლებიც ანაერობულ პირობებში სულფატებს იყენებენ წყალბადის აქცეპტორად ორგანული ნაერთების ან წყალბადის დასაჟანგად. მათ არ შეუძლიათ ნახშირორჟანგის ასიმილირება და ზრდისათვის მზა ორგანული ნივთიერება სჭირდებათ. დაჟანგული ორგანული სუბსტრატის წყალბადი გადააქვთ დაჟანგული გოგირდის ნაერთში (სულფატები, სულფიტები, თიოსულფატები), რომელსაც გოგირდწყალბადამდე აღადგენენ. მიუხედავად იმისა, რომ გოგირდწყალბადი ტოქსიკური თვისებებით ხასიათდება, ის აქტიურად მონაწილეობს გეოლოგიურ პროცესებში. გოგირდწყალბადის ჟანგვისას წარმოიქმნება სამრეწველო მნიშვნელობის როგორც გოგირდის, ისე სულფიდური საბადოები [12].

ამ ფონზე საინტერესოა განვიხილოთ დიდი კავ-
კასიონის სამხრეთ ფერდობის საკვლევი ნაწილის
გოგირდწყალბადიანი წყლები, რომლებიც დაკავ-
შირებულია ზედა იურა – ქვედა ცარცის ფლიშურ
ნალექებთან. ლითოლოგიურად წყება წარმოდგე-
ნილია ნაპრალოვანი კირქვებისა და კარბონატული
ქვიშაქვების მონაცვლეობით მერგელოვან ფიქლებ-
თან. მინერალური წყაროების გამოსავლები აშკა-
რად უკავშირდება რეგიონალური ტექტონიკური
რღვევის ზონას, რომელიც სამხრეთ ფერდობის
ნაოჭა სისტემის და ალაზნის მთათაშუა ღრმულის
კონტაქტზე გადის. უახლესი ტექტონიკური სქემის
მიხედვით (ე. გამყრელიძე, 1994), აღნიშნული ფლი-
შით აგებულია მესტია - თიანეთის ტექტონიკური
ზონის ჩრდილოეთი ნაწილი. ქვედა ცარცის შემდ-
გომ პერიოდში, ძლიერი ოროგენული მოძრაობის
ზემოქმედებით, ხდებოდა ოლქის ამოზევება, რასაც
თან ახლდა ტექტონიკური რღვევების (ნასხლექ-
შეცოცებების) ფართო ზონების წარმოქმნა. კარბო-
ნატული ფლიშის ლითოლოგიური თავისებურე-
ბიდან გამომდინარე, წყებამ განიცადა ინტენსიური
დისლოკაცია დიდ სიღრმეში, რითაც ხელსაყრელი
პირობები შეიქმნა ატმოგენური წყლების მნიშვნე-
ლოვან სიღრმემდე ჩაღწევისთვის. 1200 მ-მდე
გაბურღული სტრუქტურული ჰიდროგეოლოგიუ-
რი ჭაბურღილის მონაცემებით, ამ ნალექებში გა-
მოიყოფა სულფატურ-ჰიდროკარბონატულ-ნატ-
რიუმის წყლების ზონა, რომელსაც გარდამავალი
მდგომარეობა უჭირავს ჰიდროკარბონატულ-კალ-
ციუმის და ქლორიდულ-ნატრიუმის შედგენი-
ლობის წყლების ზონებს შორის. ამის შესაბამისად,
დამუშავებულია საკვლევი რაიონის მიწისქვეშა

წყლების ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალო-
ბის სქემა:



სულფატური წყლების ზონა 300 მ სიღრმეში
მდებარეობს, მისი წარმოქმნა განპირობებულია ჟან-
გბადის შემცველი მიწისქვეშა წყლებით პირიტის
დაჟანგვის პროცესში. სიღრმეში სულფატური
წყლების არსებობა მნიშვნელოვანი ფაქტორია, თუ
მათ განვიხილავთ, როგორც საწყის სუბსტანციას
საკვლევი რაიონის გოგირდწყალბადიანი მინერა-
ლური წყლების წარმოშობისთვის. პირიტი ხშირი
ჩანაწინწკლების და ძარღვაკების სახით გაბნეულია
ფლიშის ქანებში, რომლებიც ორგანულ ნივთიერე-
ბებსაც შეიცავს ისეთი რაოდენობით, რაც საკმა-
რისია სულფატადგენითი პროცესების მიმდინა-
რეობისთვის. ე.წ. “ორგანულ ფილტრში” გავლის
შემდეგ სულფატების შემცველი მიწისქვეშა წყლები
თანდათან მდიდრდება გოგირდწყალბადით. ჭა-
ბურღილების ინტერვალური დასინჯვის მონაცე-
მების მიხედვით, ზემოთ მითითებული სიღრმე
(300 მ) აქტიური წყალგაცვლის ზონის დაახლოე-
ბით ნახევარს შეადგენს. ცხადია, ამ სიღრმემდე
ჟანგვითი პროცესები მკვეთრად უნდა აღემატე-
ბოდეს სხვა დანარჩენ პროცესებს. ასეთ პირობებში
გოგირდწყალბადის წარმოშობის ახსნა, სულფატ-
რედუქციის კლასიკური თეორიის პოზიციიდან,
თითქმის შეუძლებლად გვეჩვენება, რადგან გადაუ-
ლახავ წინააღმდეგობად გვევლინება გარემოს
ანაერობულობა. მეორე მხრივ საკითხი იოლად გა-
დაწყდება თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ აღწერი-
ლი ჟანგვითი პროცესების მიმდინარეობას და და-

ვუშვებთ აღდგენითი პროცესების ინიცირებას – აერობული ბაქტერიების ცხოველქმედების შედეგად დაგროვილი მინერალიზებული გოგირდის ჟანგვითი პროდუქტების გამოყენებას სულფატ-რედუქტორი ბაქტერიების მიერ. აუცილებლად გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ჟანგბადის შემცველობა არ გამოირიცხავს ნებისმიერ აერობულ სულფატში ანაერობული მიკროზონების არსებობას, სადაც ინტენსიურად მიმდინარეობს აღდგენითი პროცესები, მათ შორის გოგირდის არაორგანული ნაერთების აღდგენა. მაშასადამე, ბიოქიმიური სულფატ-რედუქციის ერთ-ერთი მთავარი პირობა – ანაერობულობა უალტერნატივოა.

ჟანგვა და აღდგენა ურთიერთშემავსებელი პროცესებისა და ბუნებრივი წონასწორობის არსებობის აუცილებელი პირობაა, ამიტომ გოგირდის ნაერთების ჟანგვასთან ერთად ხდება მათი აღდგენა სულფატ-რედუქტორი ბაქტერიების მიერ, ხოლო ბაქტერიების სიღრმეში ტრანსპორტირება ძირითადად დამჟანგველი წყლებით ხორციელდება. ამ გზით წარმოქმნილი განსაკუთრებული სახეობის ორგანული ნივთიერებები, სულფატ-იონებთან ერთად, აუცილებელია სულფატმარედუცირებელი ბაქტერიების კვებისთვის ანუ სულფატების სულფიდებამდე აღდგენის პროცესის სტიმულირებისთვის.

დასკვნა

ახლებურად გავაშუქეთ განსახილველ წყლებში გოგირდწყალბადის წარმოქმნის პირობები, თუმცა ეს მოსაზრება ორიგინალური არ არის, არამედ ჩეხი მეცნიერ რ. კვეტის მიერ გამოთქმული შეხედულებების ზოგიერთი პუნქტის კორექტირებაა, ჩვენს საკვლევ ობიექტზე მოპოვებული ფაქტობრივი მასალების საფუძველზე. ხაზგასმულია, რომ განსახილველ შემთხვევაში გოგირდწყალბადის მიწისქვეშა წყლებში დაგროვება სულფატ-რედუქციის კლასიკური თეორიის შესაბამისად ხდება, რაც განპირობებულია აერობულ გარემოში ჟანგვითი პროცესების მიმდინარეობაზე ბაქტერიების სპეციფიკური სახეობების ზემოქმედებით, მათ შორის არაორგანული გოგირდოვანი ნაერთების დამჟანგველი თიობაქტერიების მონაწილეობით, რომლებიც სულფატ-რედუქციის შედეგად აღდგენილ მინერალიზებულ გოგირდოვან ნაერთებს ჟანგავს, ხოლო ამ დაჟანგულ შენაერთებს სულფატ-რედუქტორი ბაქტერიები აღადგენენ ანაერობულ პირობებში. ფაქტობრივი მასალის ანალიზის საფუძველზე შემუშავებული გვაქვს მთიანი კახეთის მიწისქვეშა წყლების ვერტიკალური ჰიდროქიმიური ზონალურობის ახლებური სქემა, რომელიც მთიანი ოლქების ჰიდროგეოლოგიური სტრუქტურებისათვის დამახასიათებელი ზონალურობის სქემისგან რამდენადმე განსხვავდება.

ლიტერატურა

1. Geology of the USSR, vol. X, Georgian SSR, ch. editor Gamkrelidze P.D., ed. "Nedra", Moscow, 1964.
2. Dzhanelidze AI On the question of the geological structure of the Kakheti Range and Alazani Valley. Message Academy of Sciences of the Georgian SSR, t. IX, No. 8, 1950.
3. Aliev M.M. Geological outline of the region of the southern slope of the Main Caucasian ridge of the Lagodekhi-Akhalsopeli region. GSU funds, Tbilisi, 1936.
4. Karosanidze ON, Rukhadze G.L. Structure and geological study of Jurassic sediments of the Mazym chai - Chelty interfluvium for the purpose of correlation and establishment of ore-bearing strata. GSU funds, Tbilisi, 1969.
5. Ovchinnikov A.I. Hydrogeochemistry. M. "Nedra", 1970, 200 p.
6. Possokhov E.V. General hydrogeology, Publishing house "Nedra", L. 1975, 208 p.
7. Zviadadze U.I. On the issue of distribution of microcomponents in groundwater of oil fields in Eastern Georgia. In the book. Low-mineralized waters of deep horizons of oil and gas provinces. Kiev, "Naukova Dumka", 1985, 280 p.
8. Avalishvili P.I., Kopadze T.V., Loladze T.I., Pruidze M.P. Geological description of the basins of the Shorokhevi, Areshi, Kabali and Baisubani rivers. GSU funds, Tbilisi, 1958.
9. Kakhadze I.N. Stratigraphy of flysch deposits of the Southern slope of the Main Caucasian ridge. Sat. tr. geol. Institute of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, 1951.
10. Avalishvili PI, Gvaberidze GK, Kopadze TV, Geological description of the basins of the Chelty, Duruji and Intsoba rivers. GSU funds, Tbilisi, 1969.
11. Natural Resources of Georgia, Vol. III, Mineral Waters, Ch. ed. Chikhelidze S.S., ed. USSR Academy of Sciences, Moscow 1961.
12. Emtsev VT Microbiology. M, "Drof", 2005.

UDC 663.64

SCOPUS CODE 1907

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-142-163>

Geochemical Conditions of the Origin of Hydrogen Sulfide Mineral Waters on the Left Bank of the Alazani River

- Marine Mardashova** Department of Applied Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75 M. Kostava str
E-mail: m_mardashova@gtu.ge
- Tinatin Dzadzamia** Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Georgia, 0126, Tbilisi, Village Dighomi, 1 Motsikulta Stsori Nino str
E-mail: tina.dzadzamia@gmail.com
- Tamar Miqava** Department of Applied Geology, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 75 M. Kostava str
E-mail: t.miqava@gtu.ge

Reviewers:

N.Poporadze, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU

E-mail: n.poporadze@gtu.ge

Z. Kakulia, Professor, Director of the Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, GTU

E-mail: z.kakulia@gtu.ge

Abstract. Based on the description of the geological structure and hydrogeological conditions of the area in question, there is an opinion about the formation of hydrogen sulfide in groundwater. However, this view differs from the classical theory of sulfate reduction. It is substantiated that the production of hydrogen sulfide in groundwater due to the action of sulfate bacteria takes place not only in the recovery environment, but also in the oxidation zone. The validity of this view is confirmed by the analysis of deep hydrogeological wells and field survey data. Existence of hydrogen sulfide mineral springs within Kakheti is related to carbonate flysch. Their formation, circulation, including natural solutions is entirely in the form of carbonate flysch and is probably the origin of the formation of hydrogen sulfide healing waters. In addition to the mineral springs of Kakheti, the wide prospects of practical use of these waters are discussed, which is related to the picturesque nature and excellent climatic conditions of the area, which provides a great opportunity for resort-medical construction in the Kakheti region.

Key words: Alazani River; Carbonate flysch; general classification; groundwater; hydrogeochemical zoning.

UDC 663.64

SCOPUS CODE 1907

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2021-2-142-163>

Геохимические условия образования сероводородных минеральных вод на левом берегу реки Алазани

- Марине Мардашова** Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: m_mardashova@gtu.ge
- Тინათин Дзадзамия** Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузия, 0126, Тбилиси, пос. Дигоми, улица Равноапостольной Святой Нино, 1
E-mail: tina.dzadzamia@gmail.com
- Тамар Микава** Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
E-mail: t.mikava@gtu.ge

Рецензенты:

Н. Попорадзе, профессор горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: n.poporadze@gtu.ge

З. Какулия, профессор, директор Института гидрогеологии и инженерной геологии ГТУ

E-mail: z.kakulia@gtu.ge

Аннотация. На общем фоне характеристики геологического строения и гидрогеологических условий обсуждаемой территории, существует оригинальное соображение об образовании и накоплении сероводорода в исследованных подземных водах, причем это соображение отличается от классической теории сульфатредукций, а именно тем, что образование сероводорода под воздействием сульфатредуцирующих бактерий, происходит не только в восстановительных условиях, но и в окислительной зоне при помощи жизнедеятельности специфических видов различных групп микроорганизмов. Достоверность этого соображения основана на результатах анализов глубоких гидрогеологических скважин и полевых исследованиях. В зоне горной Кахетии существование сероводородных минеральных вод на прямую связано с флишами. Их формирование и дальнейшая циркуляция, с учетом водных выходов, полностью происходят в карбонатных флишевых рядах на левой стороне реки Алазани и, по всей вероятности, представляют собой начальную субстанцию возникновения сероводородных лечебных вод. Кроме теоретических вопросов генезиса Кахетинских минеральных вод, рассмотрены широкие перспективы практического применения этих вод, наряду с необыкновенной красотой природы и отличными климатическими условиями.

Ключевые слова: гидрогеохимическая зональность; карбонатный флиш; общая классификация; подземные воды; река Алазани.

განხილვის თარიღი 01.02.2021

შემოსვლის თარიღი 24.02.2021

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 21.07.2021