

გიორგი მინდიაშვილი, გიორგი იოზიძე, თორნიკე ლიპარტია, ნინო ჯაფარიძე, ქეთი ბენაშვილი, ილია ბლუაშვილი, მათე კვიციანი, დავით მეკოკიშვილი, დავით ბლუაშვილი

დისტანციური ზონდირების მეთოდით მიღებული მონაცემების ინდეტიფიკაცია ბექთაკარი-ბნელიხევის მადნიანი კვანძის ფარგლებში

ანოტაცია. დისტანციური ზონდირების მეთოდით მიღებული მონაცემები ფართოდ გამოიყენება მრავალ გეოლოგიურ დარგში, მათ შორის მინერალური რესურსების ძებნის საქმეში. ჩვენი კვლევა ეძღვნება ბექთაკარი-ბნელიხევის საბადოების და მათი მიმდებარე ტერიტორიების შესწავლას, რაც გამოიხატება საკვლევ ტერიტორიაზე ლითოლოგიური მახასიათებლების დადგენაში, მინერალური ინდექსების და ინდიკატორების გამოვლენაში, სტრუქტურული ნიშნების შესწავლაში, ჰიდროთერმულად შეცვლილი უბნების განსაზღვრასა და მათში მეტალური მინერალიზირებული უბნების გამოვლენაში. ლითოლოგიური რუკების შესაქმნელად გამოყენებულ იქნა FCC და CRC ალგორითმების თანაფარდობის კომპოზიტები. ასევე გამოყენებული იყო ძირითადი კომპონენტის ანალიზის PCA ტექნიკა. შეცვლილი ზონები მივიღეთ სპექტრული ინდექსების თანაფარდობის მეთოდით. კვლევაში აგრეთვე გამოვიყენეთ სპექტრული აღნიშვნების კონტროლირებადი SAM და SID მეთოდები, ასევე შეზღუდული ენერჯის მინიმიზაციის CEM ტექნოლოგია. მიღებული მონაცემები, რომელთა დამუშავების ძირითად მიზანს წარმოადგენდა ჰიდროთერმულად შეცვლილი უბნების გამოვლენა, ინტეგრირებულია სტრუქტურულ ერთეულებთან. კვლევა განხორციელდა google earth engine, Qgis, გამოსახულების ვიზუალიზაციის გარემოს პროგრამული პაკეტებისა და python პროგრამული ენის გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: დისტანციური ზონდირება; სპექტრული ინდექსები; მინერალური რესურსები; სტრუქტურული ერთეულები; სპექტრული აგეგმვა და სპექტრული დივერგენცია.

რეცენზენტი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი, **ზ. ლაოშვილი.**

უკანასკნელ წლებში, სატელიტური სურათები ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა გეოლოგიური აპლიკაციების თუ პლატფორმების შესაქმნელად. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია სატელიტური [1, 2] მონაცემების როლი ლითოლოგიური რუკების შედგენაში და ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონების გამოვლენაში [3, 4], რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში შეიცავენ მადნიან მინერალიზაციას.

წინამდებარე კვლევაში გამოყენებულია ASTER-ის (თანამედროვე გამოთვლითი და თერმოსეისმური გამოსახულებითი რადიომეტრი) მონაცემები ბექთაკარი-

ბნელიხევის საბადოებზე და მის მიმდებარე ტერიტორიებზე ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონების დასადგენად და მეტალური მადნიანი მინერალიზაციის განაზღვრისათვის. საკვლევი ტერიტორიისა და ASTER-ის მრავალსპექტრული სატელიტური მონაცემების სპეციფიკიდან გამომდინარე კვლევისათვის წინასწარ შეირჩა და მომზადდა დისტანციური ზონდირების საერთაშორისო სტანდარტით დადგენილი რამოდენიმე მეთოდი და ტექნიკა [2, 3], მათ შორის ფერთა თანაფარდობის კომპოზიტები FCC, CRC, ძირითადი შემადგენელი PC, სპექტრული თანაფარდობის ინდექსები, სპექტრული ინტერვალების მათემატიკური დამუშავებით მიღებული ინდიკატორები, შეზღუდული ენერჯის მინიმიზაცია CEM [3, სპექტრულ აღნიშვნებზე დაფუძნებული კონტროლირებადი კლასიფიკაცია, სპექტრული აგეგმვა SAM [6] და სპექტრული ინფორმაციის დივერგენცია SID [7]. მიღებული შედეგები ინტეგრირდა ობიექტზე და მანქანურ სწავლებაზე დაფუძნებულ ალგორითმებთან OBIA და SVM [8].

მონაცემები და მეთოდები. ASTER L1b დონის გამოსახულების მონაცემები ერთობლივად შემუშავებულია ამერიკის და იაპონიის თანამგზავრის მიერ Terra-ს პლატფორმაზე. ჩვენს კვლევაში გამოყენებული მონაცემების მიღების თარიღია 2003 წლის 17 ივნისი. ნაშრომი მაქსიმალურად რომ ყოფილიყო შედეგზე ორიენტირებული, ამისათვის გამოყენებულია სატელიტური მონაცემების დამუშავების სხვადასხვა მეთოდი.

ASTER მონაცემების წინასწარი დამუშავება. სატელიტური სურათების უმეტესობა ციფრული მონაცემების სახითაა. ამიტომ ციფრული გამოსახულება ინახება [9] ციფრული რიცხვების და ციფრული ნომრების სახით, რომლებიც მერყეობს 0-დან 255-მდე მასშტაბის ინტენსივობის მნიშვნელობებში.

მონაცემების გეომეტრიული პროექცია (გეორეფერენსირება). ეს ფუნქცია გამოიყენება იმის უზრუნველსაყოფად, რომ სატელიტური გამოსახულება გასწორდეს რეალურ კოორდინატებზე. შესაბამისად, ყველა სივრცითი და გეოგრაფიული მონაცემი გასწორდა, გადაეფარა და მოერგო კოორდინატებს. ზოგადად, ASTER L1b დონის მონაცემები არის გეომეტრიულად რეგისტრირებული, თუმცა სატელიტის ადგილმდებარეობის და მორფოლოგიური ფაქტორების გამო ხშირად ჩნდება გარკვეული გეომეტრიული უზუსტობები. მაგალითად ჩვენი საკვლევი ტერიტორიის სატელიტური გამოსახულება გადახრილი იყო ჩრდილოეთიდან აღმოსავლეთით დაახლოებით 9 გრადუსით, ამიტომ მოხდა მისი გეომეტრიული კორექცია, მოერგო ჩრდილოეთს და რეფერენსირდა ჩვენს საკოორდინატო სისტემაში WGS 1984 UTM ZONE 38N.

ჯვარედინი გამოსხივების კორექტირება. ხშირია ASTER მონაცემების SWIR (მოკლე ტალღური ინფრაწითელი) სენსორში სიგნალის გაფანტვის პრობლემა, რაც აისახება დეტექტორზე და ფილტრის საზღვრებზე. გაფანტული სიგნალი ტრანსპორტირდება მრავალჯერადი ანარეკლით. აღნიშნულის მოსაგვარებლად აუცილებელია მოკლეთალღური ინფრაწითელის სპექტრული დიაპაზონები დამუშავდეს ჯვარედინი შესწორების ალგორითმით.

ციფრული რიცხვების, სპექტრული არეკვლის და სპექტრული გამოსხივების კალიბრაცია. პირველადი სატელიტური მონაცემები მოდის როგორც ციფრული ნომრები, რომლებიც ენიჭება გამოსახულებაში თითოეულ პიქსელს, ეს რიცხვები გარდაიქმნება სპექტრულ გამოსხივებად, ამის შემდეგ სპექტრული გამოსხივება გარდაიქმნება სპექტრულ ანარეკლად. ასეთი კონვერტაციის პროცესები ხორციელდება რთული მათემატიკური განტოლებების კომპლექტის მეშვეობით. ჩვენ მოვახერხეთ DN მნიშვნელობების გარდაქმნა და განვახორციელეთ მათი ასახვა სპექტრომეტრზე [10].

მონაცემების ატმოსფერული კორექტირება. ეს პროცესი ძალიან მნიშვნელოვანია, რადგან ის მოიცავს ატმოსფეროს არეკვლის (TOA) გარდაქმნას და ატმოსფერული არეკვლილი ზედაპირის მოხსნას. ატმოსფერული აირები, როგორცაა CO₂ და წყლის ორთქლი, ასევე მტვრის ნაწილაკები იწვევს შეცდომებს სპექტრულ ანარეკლში. სუფთა ზედაპირის უზრუნველსაყოფად ატმოსფერული კორექტირება განხორციელდა FLAASH მოდულის გამოყენებით [11].

სივრცითი გარჩევადობა. სივრცითი გარჩევადობა არის პიქსელის ზომა (სურათზე ყველაზე პატარა ერთეული). ASTER-ის ქვესისტემებს (VNIR, SWIR და TIR) აქვთ სხვადასხვა სივრცითი გარჩევადობა, VNIR (ხილული ინფრაწითელი) ქვესისტემა არის 15 მ, SWIR (მოკლე ტალღური ინფრაწითელი) ქვესისტემა არის 30მ და TIR (თერმული ინფრაწითელი) ქვესისტემა 90მ. ქვესისტემების ფენების მორგების ფუნქცია LS გამოვიყენეთ მონაცემების შერწყმის მიზნით. დაბალი გარჩევადობის მონაცემები VNIR უფრო მაღალი სივრცითი გარჩევადობის მისაღებად შეერწყა SWIR მონაცემებს. ამ ფუნქციის გამოყენების შედეგად მივიღეთ SWIR მონაცემები 30 მეტრის ნაცვლად 15 მეტრიანი რეზოლუციით.

მეთოდები ASTER-ის მონაცემების მაღლიან გეოლოგიაში ინტერპრეტაციისთვის. ზემოთ განხილული ეტაპების შესრულების შემდეგ ASTER-ის მონაცემები მზად არის გეოლოგიური დამუშავებისათვის. ჩვენთვის განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო გამაღნებასთან დაკავშირებული პარამეტრების დადგენა-შესწავლა. ამ განზრახვით გამოვიყენეთ შემდეგი მეთოდები: ფერთა თანაფარდობის კომპოზიტები FCC, CRC, ძირითადი შემადგენელი PC, სპექტრული თანაფარდობის ინდექსები სპექტრული ზოლების მათემატიკური დამუშავებით მიღებული ინდიკატორები, შეზღუდული ენერჯის მინიმუზაცია CEM, სპექტრულ აღნიშვნებზე დაფუძნებული კონტროლირებადი კლასიფიკაცია, სპექტრული აგეგმვა SAM და სპექტრული ინფორმაციის დივერგენცია SID. მიღებული შედეგები ინტერპრეტა და ობიექტზე და მანქანურ სწავლებაზე დაფუძნებულ ალგორითმებთან OBIA, SVM.

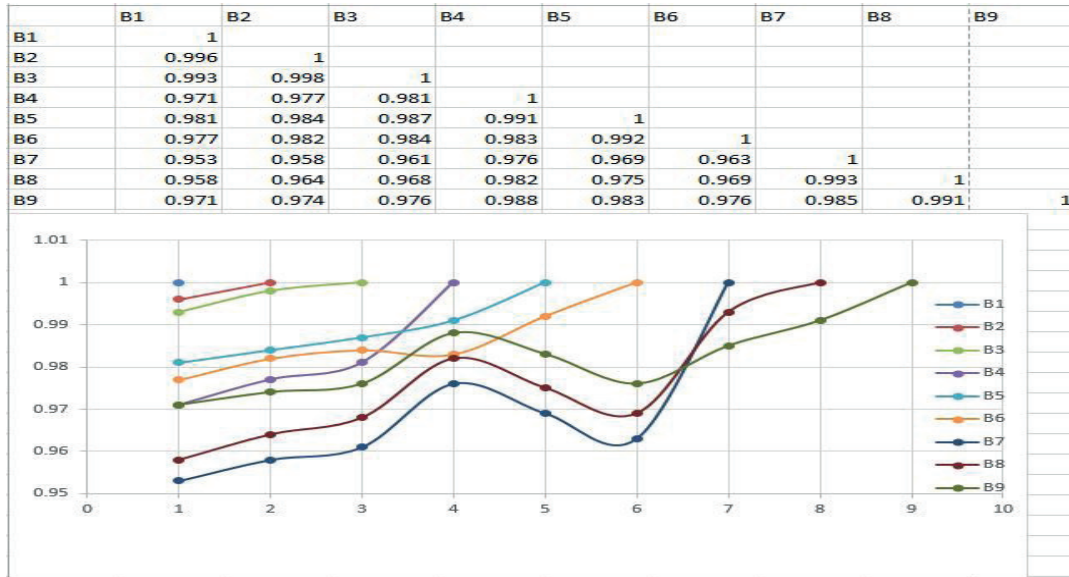
შედეგები. დისტანციური ზონდირების მეთოდის განსაკუთრებული ასპექტი არის ის, რომ ის უზრუნველყოფს მონაცემების დამუშავებას მრავალ სპექტრულ ზოლში. ASTER მონაცემები შეიცავს თოთხმეტ სპექტრულ დიაპაზონს [12]. FCC გამოსახულების ვიზუალიზაციისთვის საჭიროა განსაკუთრებული სპექტრული კომპოზიტები, შესაბამისი ცხრა სპექტრული ინტერვალით. ფერთა კომბინაცია უნდა იყოს წითელი, მწვანე და ლურჯი (RGB). ასე რომ, ჩვენ გვაქვს სამმაგი სპექტრული ინტერვალის შესაძლო კომბინაციების ფართო არჩევანი. სპექტრული მონაცემების ინტერვალის შესაძლო კომბინაციების რაოდენობის გამოსათვლელად გამოვიყენეთ ფორმულა $(N/3)=N!/3!(N-3)!$, სადაც N არის სპექტრული ინტერვალის რაოდენობა, ASTER VNIR-SWIR ქვესისტემების ცხრა სპექტრული დიაპაზონისთვის. არსებობს 84 შესაძლო კომბინაცია. იმისათვის რომ წარმატებით შესრულდეს FCC კომპოზიტური გამოსახულების შესაბამისი ინტერვალებით გამოსახვა, ამისათვის არსებობს ორი განსხვავებული გზა: კორელაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა და ოპტიმალური ინდექსის ფაქტორის (OIF) დადგენა.

კორელაციის კოეფიციენტის მეთოდი. კორელაციის კოეფიციენტი არის სტატისტიკური მეთოდი, რომელიც გამოხატავს რამდენად ძლიერია ორ ცვლადს შორის წრფივი დამოკიდებულება. რაც უფრო მცირეა კორელაციის კოეფიციენტი, მით უფრო დიდია განსხვავება მონაცემებში და პირიქით [13]. VNIR-SWIR სპექტრული დიაპაზონების კორელაციური მატრიცა წარმოდგენილია ცხრილში (1). კორელაციის

კოეფიციენტის მეთოდის შედეგებიდან დაფიქსირდა დადებითი კორელაცია ASTER VNIR-SWIR სპექტრულ ინტერვალებს შორის (ცხრილები 1 და 2). მაგრამ ინტერვალები 1, 2, 7 და 8 შედარებით დაბალია სხვა სპექტრულ დიაპაზონებთან შედარებით. საუკეთესო მონაცემები მოცემულია ცხრილში (2).

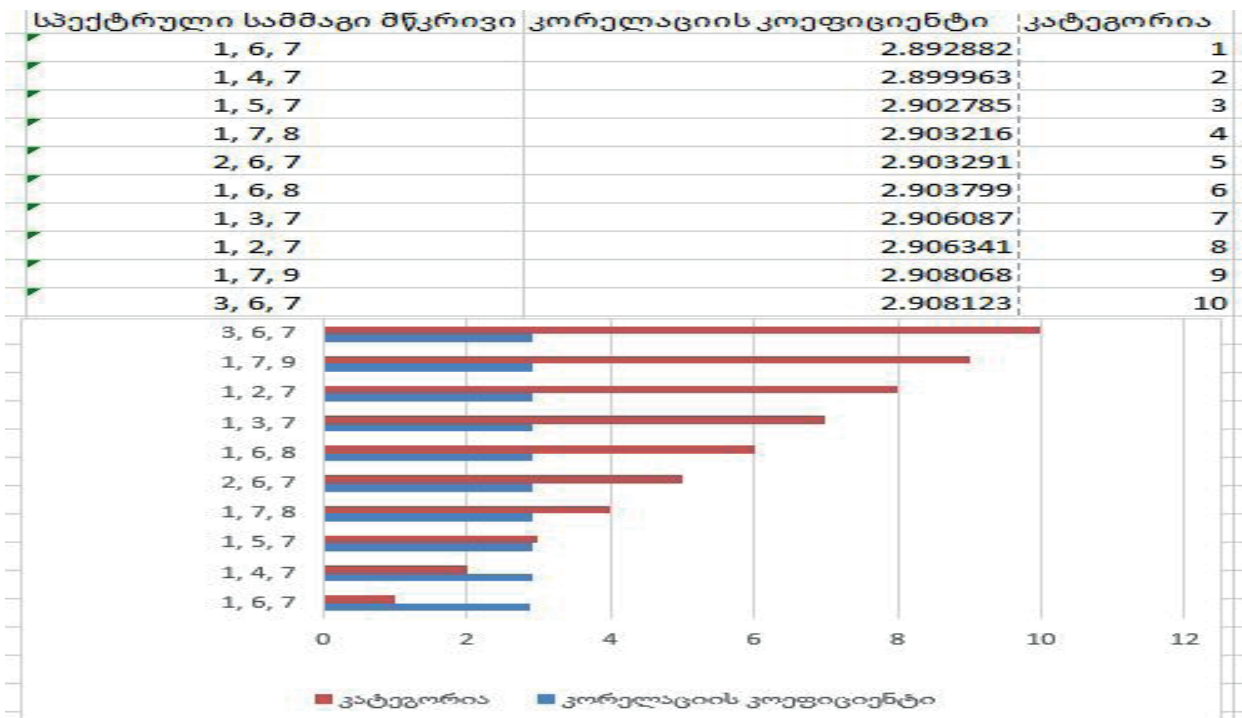
ცხრილი 1

კვლევის არეალის ASTER VNIR-SWIR მონაცემების კორელაციის კოეფიციენტი



ცხრილი 2

კორელაციის კოეფიციენტის დადებითი მონაცემები სპექტრული ინტერვალების სამმაგი მწკრივისთვის



ოპტიმალური ინდექსის ფაქტორი (OIF). OIF არის R-G-B სახით გამოყვანილი სამი შესაძლო სპექტრული ინტერვალის სტატისტიკური გამოთვლა. OIF ტექნიკა გამოყენებული იყო ASTER VNIR-SWIR ცხრა სპექტრული ინტერვალისთვის.

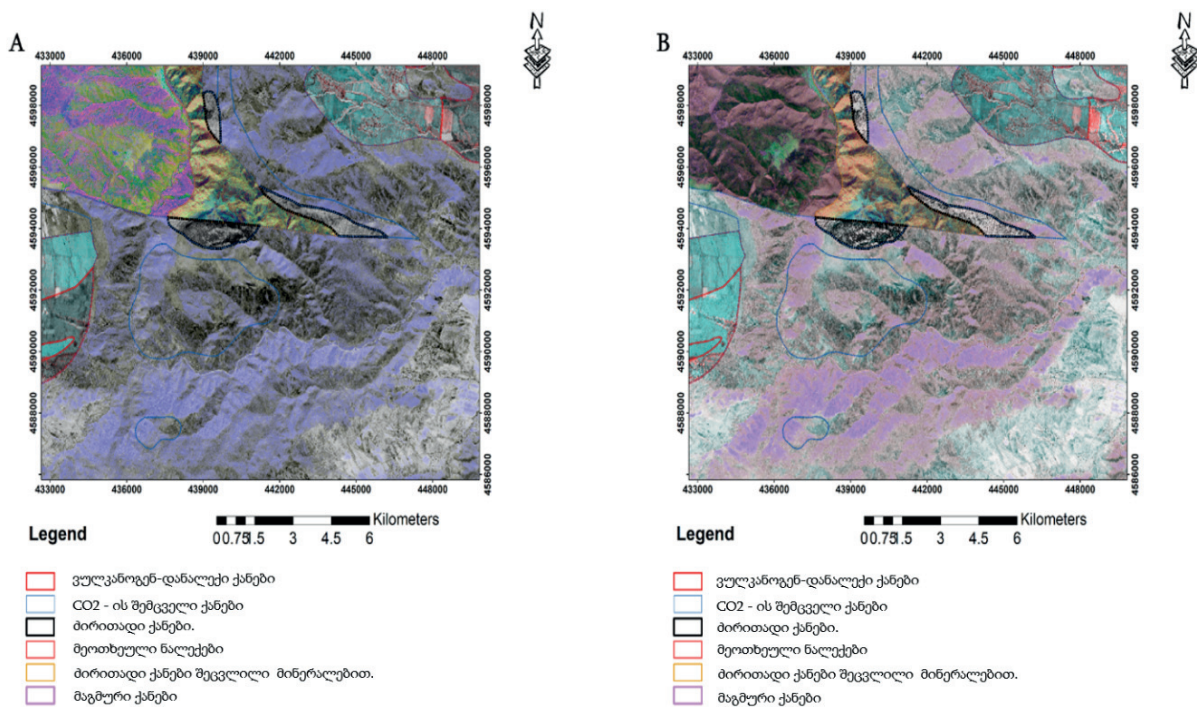
საუკეთესო ათი ინტერვალის სამმაგი კომპოზიტიური შესაძლებლობები დალაგდა კლებადობით (ცხრილი 3). რაც უფრო მაღალია OIF მნიშვნელობები [14], მით მეტი ინფორმაცია გააჩნია. ასე რომ, OIF-ის უფრო მაღალი მნიშვნელობები გამოვიყენეთ ლითოლოგიური ინფორმაციის მოსაპოვებლად.

ცხრილი 3

საკვლევი ტერიტორიის VNIR-SWIR-ის OIF მონაცემები

ორივე მეთოდით მიღებულმა მონაცემებმა აჩვენა რომ მათ გააჩნიათ თითქმის ყველა ASTER VNIR-SWIR დიაპაზონებზე უკეთესი გარჩევადობა. მიღებული სამმაგი რანგის დიაპაზონებიდან ლითოლოგიური მახასიათებლების გამოვლენის თვალსაზრისით საუკეთესოა R – 7, B- 2, G – 1 და R – 7, B – 3, B – 1 კომპოზიტები (სურ.1)

სპექტრული სამმაგი მწკრივი	ოპტიმალური ინდექს ფაქტორი	კატეგორია
1, 2, 3	47.94864204	1
1, 2, 4	38.77910803	2
1, 2, 7	36.59802721	3
1, 2, 8	36.15756466	4
1, 2, 5	36.08277367	5
1, 2, 6	35.64442541	6
1, 2, 9	35.64442541	7
1, 3, 4	35.21589781	8
2, 3, 4	33.76479559	9
1, 3, 7	33.00345688	10



სურ.1. A. ASTER FCC გამოსახულება RGB 7, 2, 1

B. ASTER OIF გამოსახულება RGB 7, 3, 1

სპექტრული დიაპაზონის თანაფარდობის კომპოზიტები (CRC)-სპექტრული თანაფარდობის გამოსახულებების კომპოზიტი მიიღება DN რიცხვითი მნიშვნელობის გაყოფით ერთ დიაპაზონში შესაბამის DN რიცხვით მნიშვნელობაზე მეორე

დიაპაზონში [16]. თითოეული პიქსელისთვის, მიღებული მნიშვნელობის გაჭიმვა და ახალი მნიშვნელობის გამოსახულების სახით გამოსახვა ეფექტური მეთოდია ქანების ტიპების გასარჩევად, რადგან ის შლის პირველი რიგის სიკაშკაშის ეფექტს (ცრუ ეფექტს) გამოწვეულს ფერდობებიდან არეკვლილი სინათლის გამო და აძლიერებს ფერთა დახვეწილ ვარიაციებს. სპექტრული დიაპაზონის თანაფარდობის მეთოდი გამოიყენება ტოპოგრაფიული ცვალებადობისა და სიკაშკაშის (ცრუ ეფექტი) ჩასახშობად. ჩვენ ASTER-ის სხვადასხვა სპექტრული დიაპაზონების თანაფარდობის კომპოზიტებზე განვახორციელეთ ტესტირებები და ლითოლოგიური ერთეულების დისკრიმინა-ციისთვის გამოვლინდა საუკეთესო სპექტრული თანაფარდობები-(5/7, 4/5, 3/1). მიღებული ASTER-ის სპექტრული დიაპაზონების თანაფარდობის კომპოზიტი გამოვიყენეთ ძირითადი კომპონენტის ანალიზის (PCA) ჩასატარებლად.

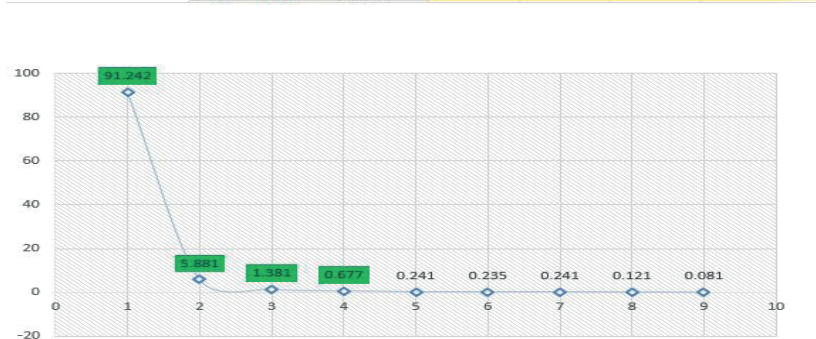
ძირითადი კომპონენტის ანალიზი (PCA)-PCA არის სტატისტიკური მეთოდი, რომელიც გამოიყენება ზედმეტი ინფორმაციის შესამცირებლად სპექტრულ ანარეკლში. მულტისპექტრული გამოსახულების ზოლები ხშირად ურთიერთ კორელაციაშია, ანუ ვიზუალურად და რიცხობრივად მსგავსია, რის შედეგადაც მნიშვნელოვანი გეოლოგიური ინფორმაცია შეიძლება დაიკავოს. მსგავსი ფაქტის თავიდან ასაცილებლად გამოიყენება PCA ტექნიკა [14].

ASTER VNIR-SWIR მონაცემების საკუთრივ ვექტორული მატრიცის (ცხრილი 4) ანალიზის შედეგად გაირკვა, რომ PC4, PC3, PC2 სპექტრული დიაპაზონები ყველაზე ინფორმაციულ მონაცემებს შეიცავს მაქსიმალური დისპერსიით და გამოსადეგია ლითოლოგიური კონტაქტების დადგენის მხრივ (სურ. 2) ასევე ინფორმაციულია მინერალური ინდექსების და ინდიკატორების გამოვლენის თვალსზრისით (სურ. 3, 4 და 5).

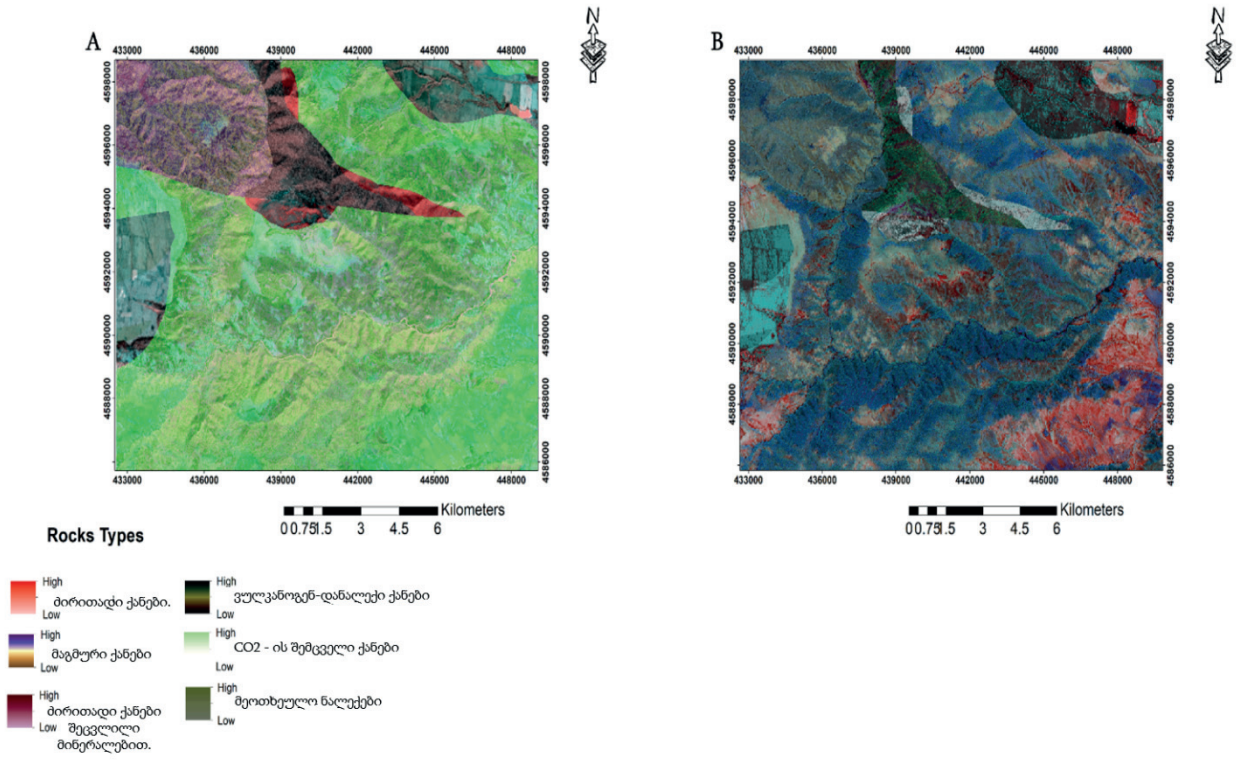
ცხრილი 4

ASTER-ის საკუთრივ ვექტორული მატრიცა და ძირითადი კომპონენტის ანალიზის მონაცემები

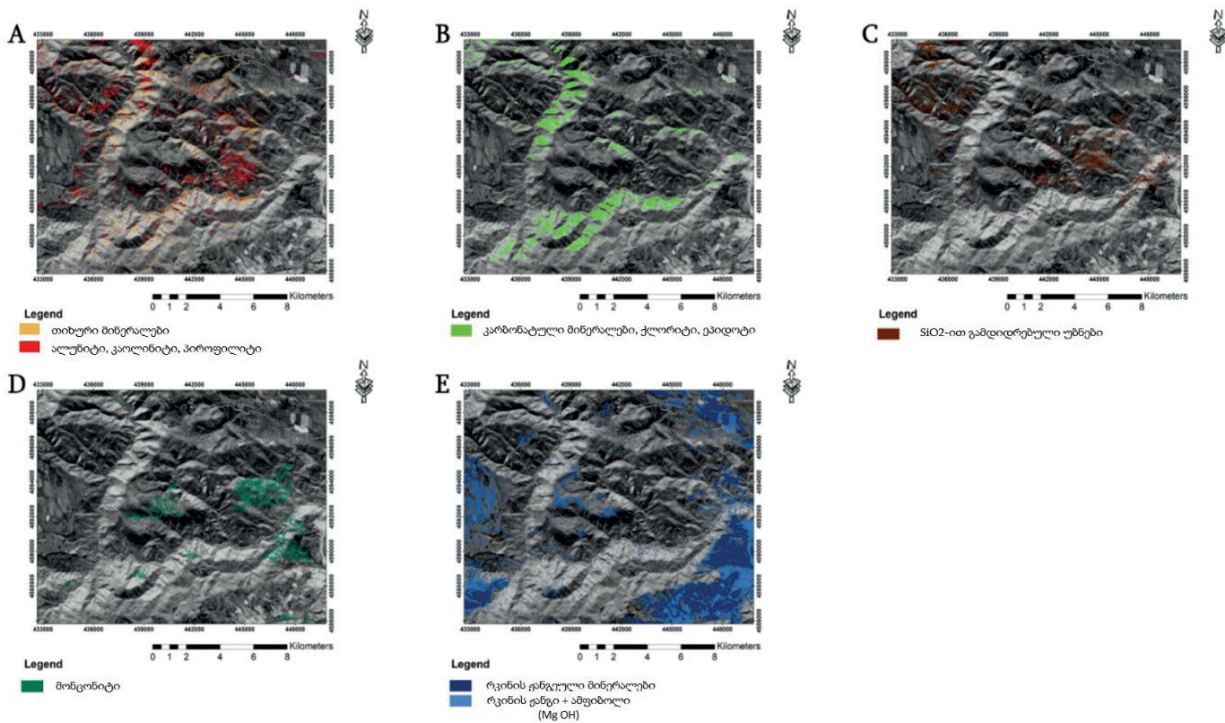
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
VNIR	Band1	0.985	0.17	0.005	-0.006	-0.003	0.008	-0.0003	0.001	0.001
VNIR	Band2	-0.171	0.984	0.03	0.031	0.011	-0.009	0.004	0.0006	-0.0009
VNIR	Band3	0.0001	-0.03	1	-0.006	-0.002	0.007	0.0001	0.001	0.001
SWIR	Band4	-0.011	0.029	-0.005	-0.999	0.013	-0.02	0.003	-0.002	-0.002
SWIR	Band5	0.001	-0.007	-0.0008	0.005	0.949	0.314	-0.002	0.003	0.003
SWIR	Band6	-0.1	0.011	-0.007	-0.023	-0.314	0.949	0.015	0.0004	-0.003
SWIR	Band7	0.001	-0.004	-0.0001	0.003	0.006	-0.013	1	0.009	0.004
SWIR	Band8	0.001	0.0006	0.001	0.002	0.002	0.001	0.009	-1	-0.001
SWIR	Band9	-0.002	0.0008	-0.001	-0.003	-0.004	0.002	-0.004	-0.001	1
მნიშვნელობები.		136.06	8.77	2.06	1.01	0.36	0.35	0.36	0.18	0.12
ინფორმაცია %		91.242	5.881	1.381	0.677	0.241	0.235	0.241	0.121	0.081
ინფორმაციის მჯამება %		100%								



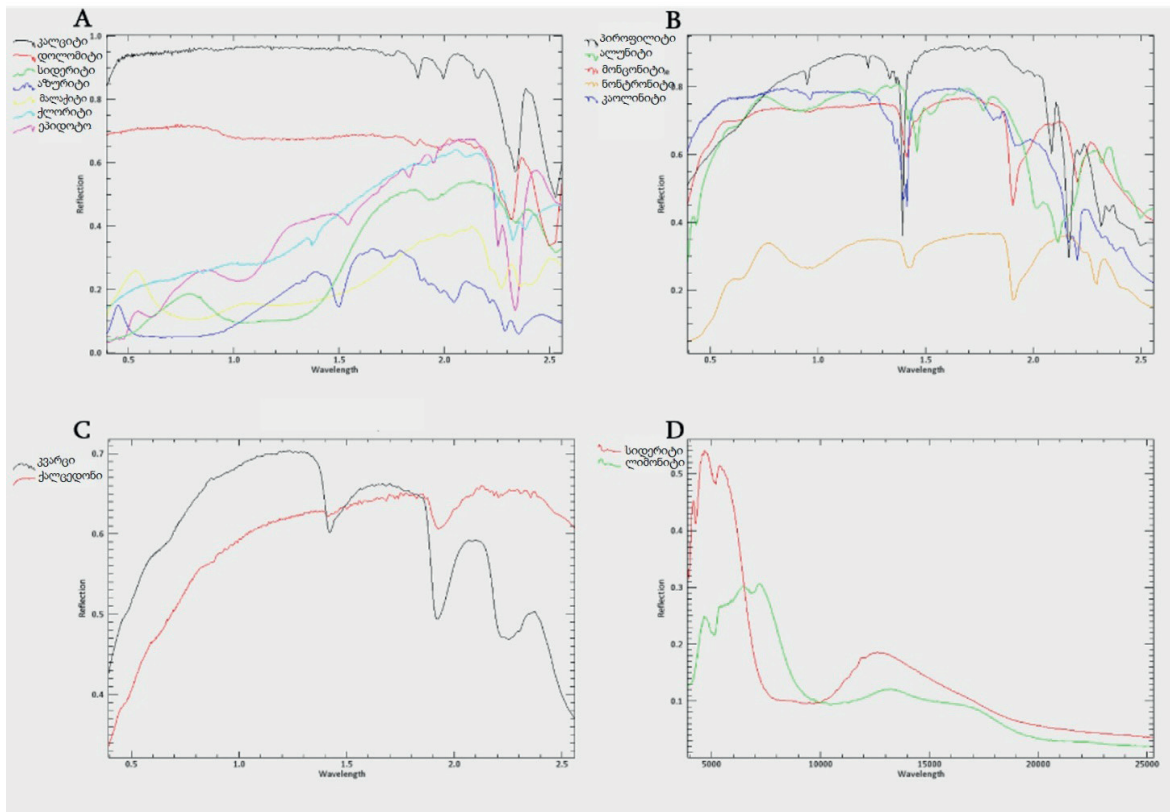
სურ. 2.



სურ. 3. A. ASTER PC4, PC3, PC2. B. PC2, PC4, PC3



სურ. 4. ASTER PCA მინერალურ ინდექსებზე დაფუძნებული SWIR სპექტრული დიაპაზონების მათემატიკური დამუშავების და თანაფარდობის მეთოდით გამოყოფილი მინერალური ინდიკატორები



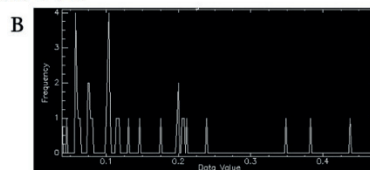
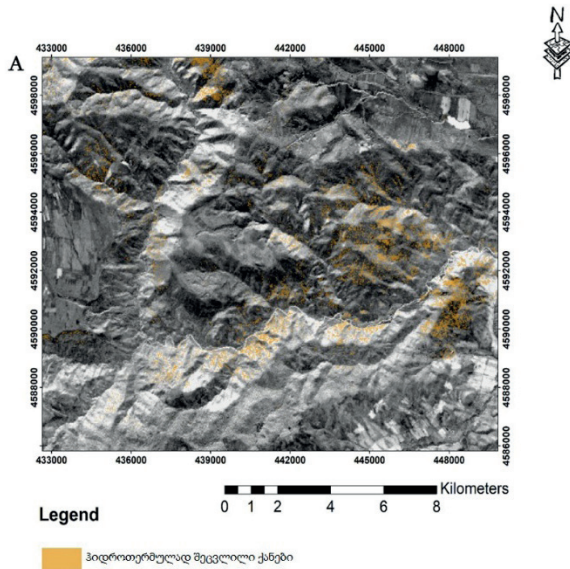
სურ. 5. მინერალური ინდიკატორების არეკვლის მაჩვენებლები

მინერალური ინდიკატორების დამუშავებით, მათი სპექტრული თანაფარდობით და კომპოზიტიური კორელაციის საფუძველზე საკვლევ ტერიტორიაზე გამოვლინდა ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანების საერთო ფონი (სურ.6)

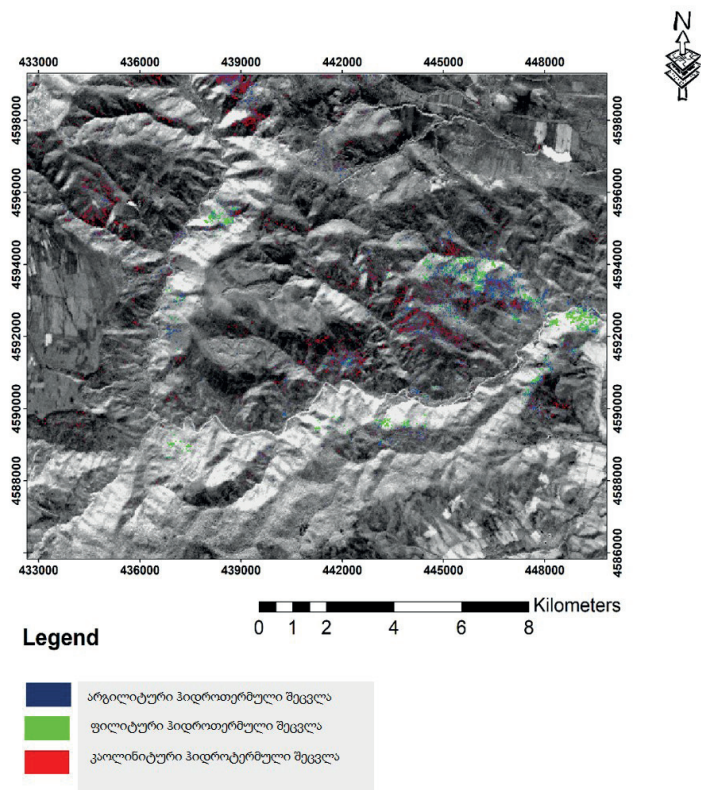
მიღებული შეცვლილი ქანების მონაცემები გაანალიზდა CEM, SAM, SID ალგორითმებით, რის შედეგადაც მოხდა ჰიდროთერმულად შეცვლილი უბნების კლასიფიცირება ქიმიური და მინერალოგიური ნიშნებით. საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში გამოიყო სამი ტიპის ჰიდროთერმული შეცვლა: არგილიტიზაცია, ფილიტიზაცია და კაოლინიზაცია (სურ. 7).

კვლევის შედეგად მიღებული ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონების რუკა მორგებული SAM, SID მონაცემების არეკვლის მაჩვენებლებზე (სურ. 8) გაანალიზდა SVM მეთოდით, რის შედეგადაც ჰიდროთერმულად შეცვლილ ზონებში გამოვლინდა მადნიანი მინერალიზაციის ანომალიური შემცველობები (სურ. 9). აღსანიშნავია ის რომ მადნიანი მინერალიზაცია ემთხვევა ჰიდროთერმულად შეცვლილ ზონებს.

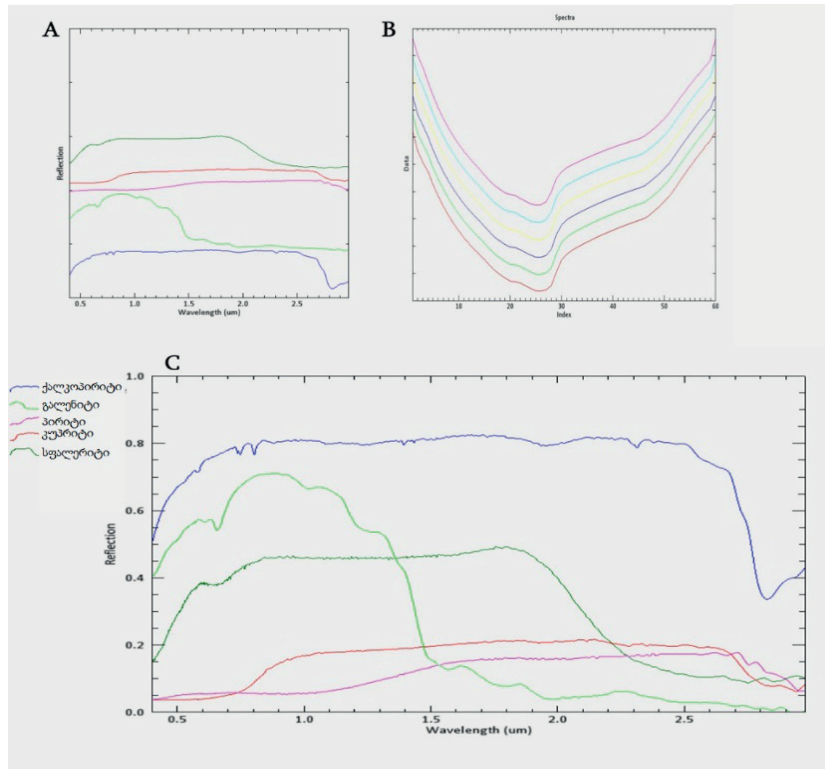
ხაზოვანი სტრუქტურების (ლინიამენტების) გამოვლენა-ASTER ციფრული DTM მოდელის, ხილული ინფრაწითელის VNIR B3-ის და მოკლე ტალღური ინფრაწითელის SWIR B4, B5, B6 მონაცემების ინტერპრეტაციის საფუძველზე საკვლევ ტერიტორიაზე გამოვლინდა ხაზოვანი სტრუქტურები (ლინიამენტები). ზოგადად ლინიამენტები წარმოადგენენ სტრუქტურებს, რომლებიც წარმოქმნილი არიან გარკვეული დეფორმაციების შედეგად. მათ შეიძლება მიეკუთვნებოდნენ რღვევები, ტექტონიკური და არატექტონიკური ნაპრალები, მსხვრეის ზონები და გამოფიტვის შედეგად ჩამოყალიბებული ხაზოვანი ტიპის მორფოლოგიური სტრუქტურები [17].



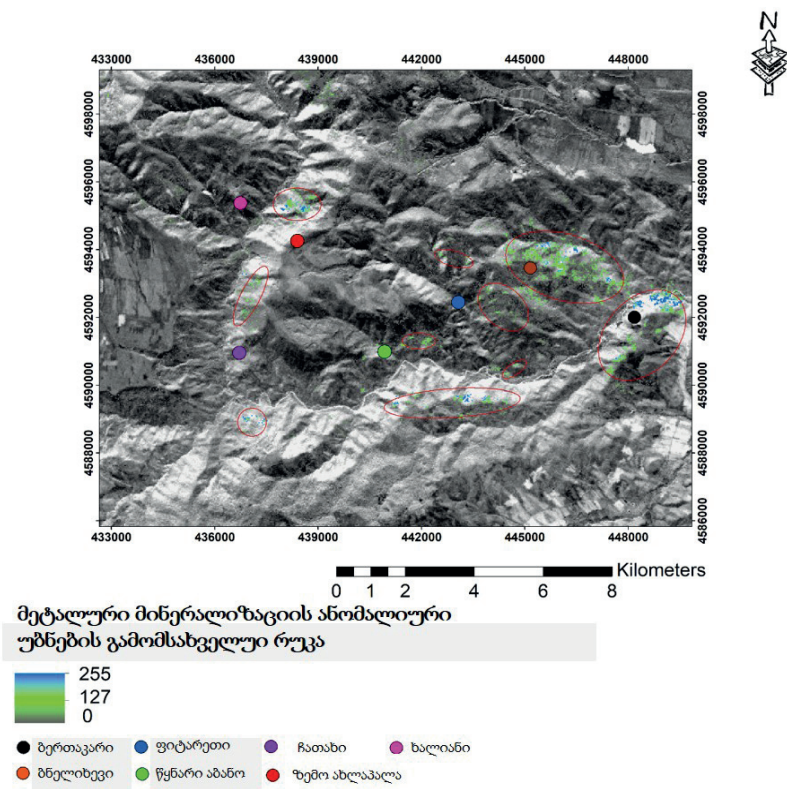
სურ. 6. A. საკვლევ ტერიტორიაზე შეცვლილი ქანების საერთო ფონი. B. შეცვლილი ქანების სიხშირის გამომხატველი ჰისტოგრამა



სურ. 7. საკვლევ ტერიტორიის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონების რუკა

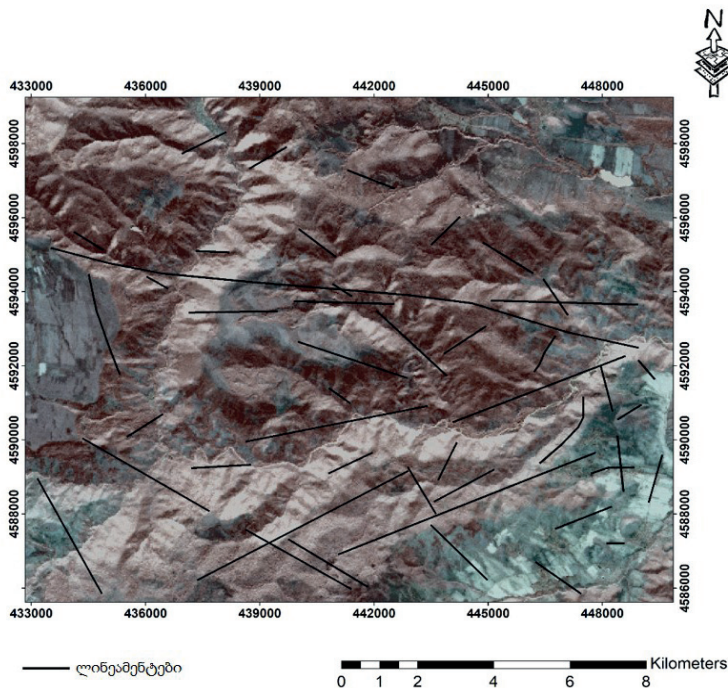


სურ. 8. A. SAM მეთოდით გამოვლენილი მადნეული მინერალების არეკვლის მაჩვენებლები. B. SID მეთოდით გამოვლენილი მადნეული მინერალების არეკვლის მაჩვენებლები. C. SAM, SID მეთოდით მიღებული მონაცემების არეკვლის მაჩვენებლები მორგებული ჩვენს საკვლევ ტერიტორიაზე



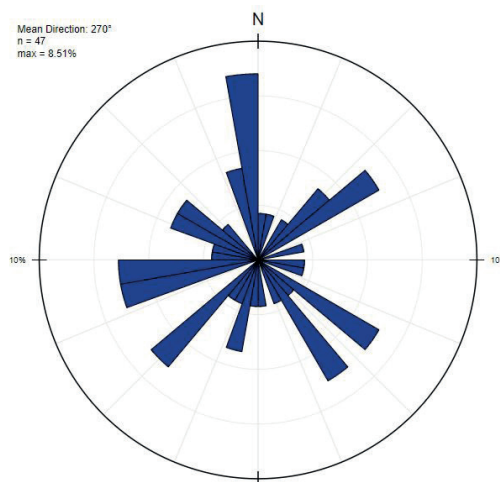
სურ. 9. ASTER-SVM მადნისანი მინერალიზაციის ანომალიური უბნები. DN ინტერვალი 128

PCI ალგორითმის გამოყენებით მოხდა საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული ლინეამენტების ავტომატური გამოვლენა, რაც გულისხმობს ზედაპირზე არსებული ყველა ტიპის ხაზოვანი სხეულის გამოყოფას. ამის შემდგომ წარიმართა გაფილტვრის პროცესები. გაანალიზდა საკვლევ ტერიტორიის სხვადასხვა დროის ინტერვალში შემუშავებული რელიეფის ტოპო და ციფრული მოდელები, რადგან მაქსიმალური სიზუსტით დაგვედგინა არატექტონიკური და ანთროპოგენული სტრუქტურების მნიშვნელობები. ხილული (B3) და მოკლე ტალღური (B4, B5, B6) ინფრაწითელის მეშვეობით შეიქმნა სტერეოგრაფიული გამოსახულება, რომელზეც მკვეთრად ისახება ხაზოვანი ელემენტების როლი სხვადასხვა ტიპის ლითოლოგიურ წარმონაქმნებზე. ეს ყოველივე საშუალებას გვაძლევს, რომ გავმიჯნოთ ერთმანეთისგან ტექტონიკური და არატექტონიკური წარმონაქმნები (სურ. 10. A, B, C).



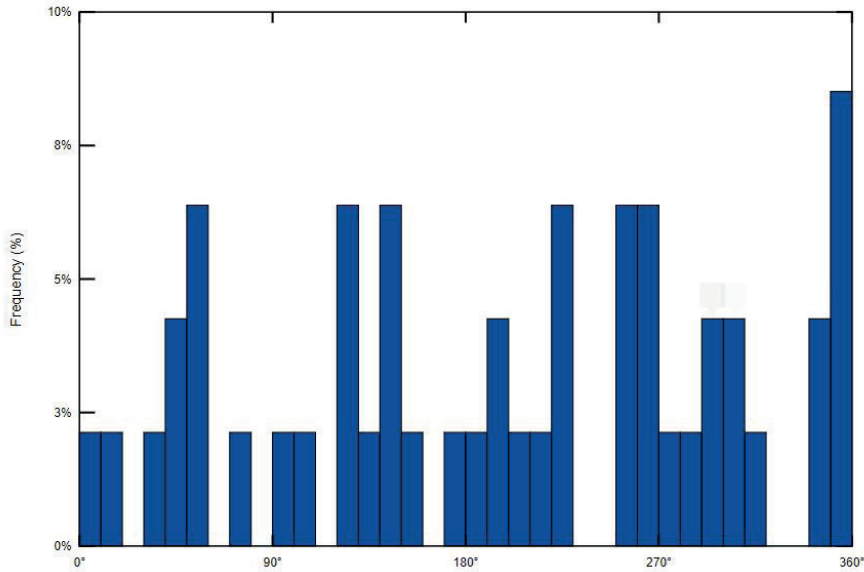
A

სურ. 10. ASTER VNIR B3, ტექტონიკური სტრუქტურების გავრცელება საკვლევ ტერიტორიის ფარგლებში



B

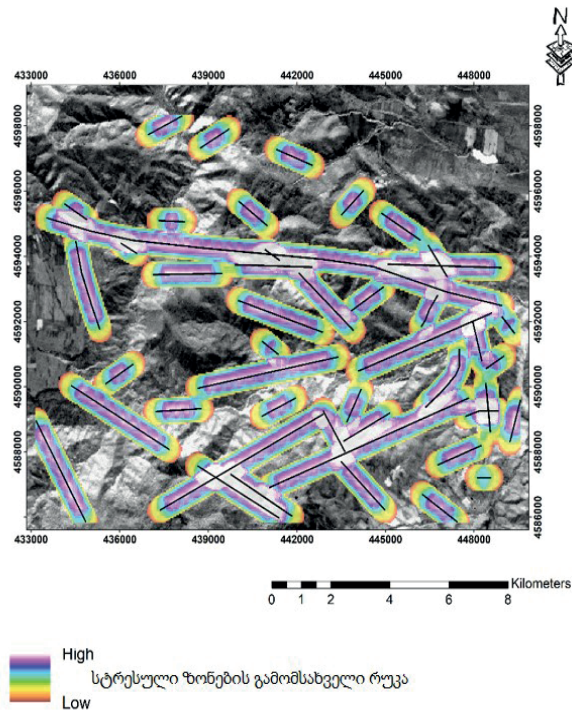
საკვლევ ტერიტორიის ტექტონიკური სტრუქტურები ვარდის დიაგრამაზე



C

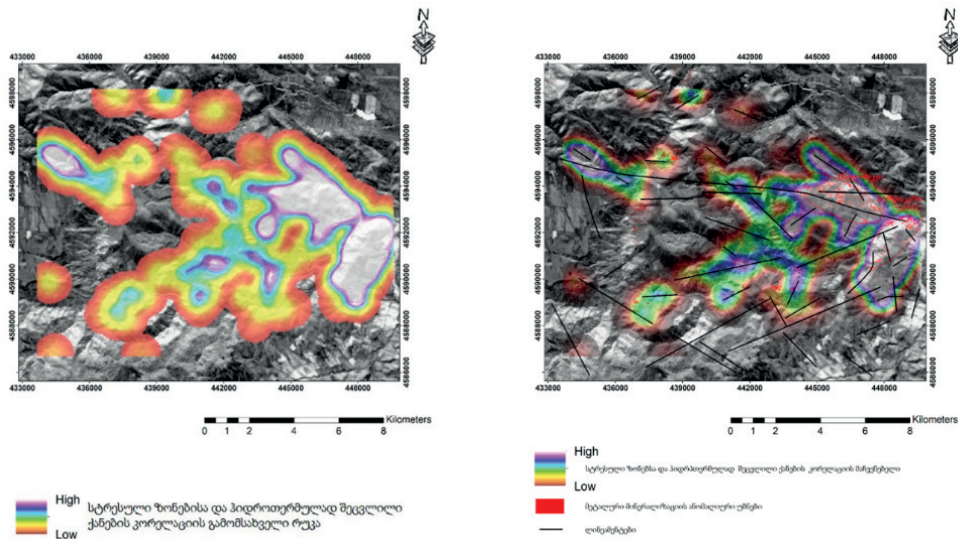
საკვლევი ტერიტორიის ტექტონიკური სტრუქტურები ჰისტოგრამაზე.

სტრესული ზონების რუკა (სურ.11) გამოხატავს საკვლევ ტერიტორიაზე იმ ზონებს, რომლებმაც სხვადასხვა ტიპის ტექტონიკური ზემოქმედების შედეგად განიცადეს დეფორმაცია. გამაძნეების თვალსაზრისით მსგავსი ტიპის უბნების გამოვლენა ძალზედ მნიშვნელოვანია. როგორც წესი შესაბამისი ტექტონიკური გარემო გამაძნეებისთვის ქმნის ხელსაყრელ პირობებს რაც გულისხმობს როგორც მადანმომყვანი, ისე მადანგამანაწილებელი, მადანმაკონტრლებელი და საკუთრივ მადანშემცველი სტრუქტურების არსებობას. აგრეთვე ხშირად მსხვრევის ზონები ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებიდან გამომდინარე ადვილად ექვემდებარებიან გამაძნებას [18].



სურ. 11. საკვლევი ტერიტორიის მსხვრევითი ზონების გამომსახველი რუკა

ბექთაკარი-ბნელიხევის საბადოების და მიმდებარე ტერიტორიაზე არსებული მადანგამოვლინებების გამაძნეების ლოკალიზაციაში და ფორმირებაში მნიშვნელოვანი როლი უნდა ეთამაშა ტექტონიკური პროცესებისა და ჰიდროთერმული რეჟიმის თანხვედრას შესაბამის გეოდინამიკურ და თერმოხალურ რეჟიმებთან ერთად, რაზეც მეტყველებს საკვლევ ტერიტორიაზე გამოვლენილი ტექტონიკური სტრუქტურების და ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანების მაღალი კორელაციის მაჩვენებელი (სურ.12). აღნიშნული კორელაციის მაჩვენებელი, რომლის ვექტორიც ემთხვევა დადებითს, მეტყველებს გამაძნეებისათვის ხელსაყრელ ფიზიკურ-ქიმიურ გარემოზე, რომელსაც ერთის მხრივ ქმნის საკვლევ ტერიტორიაზე არსებული ლითოლოგიური გარემო ხოლო მეორე მხრივ სტრუქტურული თავისებურებები.



სურ. 12. კორელაცია ტექტონიკურ სტრუქტურებსა და ჰიდროთერმულად შეცვლილ ქანებს შორის

დასკვნა

ASTER-ის მულტისპექტრული მონაცემების დამუშავებით და მათი შემდგომი გეოლოგიური ინტერპრეტაციების შედეგად ბექთაკარი-ბნელიხევის მიმდებარე ტერიტორიაზე გამოვლინდა: საკვლევ ტერიტორიის ლითოლოგიური მახასიათებლები, მინერალური ინდექსები და ინდიკატორები, ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონები, მადნიანი მინერალიზაციის ანომალიური უბნები, გეოლოგიური სტრუქტურების კონტაქტების და ტექტონიკურად დეფორმირებული ზონების გავრცელების არეალები. კორელაცია ლითოლოგიურ შემადგენლობასა და საკვლევ ტერიტორიაზე გამოვლენილ მინერალების განაწილებას შორის ხაზს უსვამს გეოლოგიური წარმონაქმნების ურთიერთკავშირს მადნიან მინერალიზაციასთან. ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონებისა და ცალკეული სტრუქტურულ-გეოლოგიური წარმონაქმნების იდენტიფიკაცია, აგრეთვე სტრუქტურული ზონების განსაზღვრა წარმოადგენს ღირებულ ნიშანს პოტენციური მადნიანი ტერიტორიების თუ საბადოების ძებნა-ძიებისათვის. დისტანციური ზონდირების მეთოდებით კვლევის შედეგად საკვლევ ტერიტორიაზე მადნიანი მინერალიზაციის ანომალიების გამოკვეთა იწვევს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ ინტერესს. კვლევის შედეგები ხელს უწყობს არა მხოლოდ რაიონის გეოლოგიური თავისებურებების გაგებას, არამედ უზარმაზარ შესაძლებლობებს იძლევა რეგიონში სამომავლო ძებნა-ძიებითი და ძებნა-

შეფასებითი სამუშაოების წარმართვისათვის. გამოვლენილი ცალკეული ანომალიების და მათი გეოლოგიური მნიშვნელობების შემდგომმა შესწავლამ შეიძლება უფრო ღრმა ხედვა მოგვცეს ტერიტორიის მინერალური რესურსების პოტენციალის შესახებ.

ლიტერატურა

1. Abramovitz, M. Remote Sensing in Geological Applications. Springer. 2017
2. Gupta, R.P., & Roy, P.S. Applications of Satellite Remote Sensing in Geological Exploration and Education in India. *Geoscience Frontiers*, 3(2), 2012. 245-253.
3. Sabins Jr, F.F. Remote Sensing: Principles and Interpretation. W. H. Freeman. 1996. 494 p.
4. Pour, A.B., Hashim, M., Marghany, M., & Hazini, S. Geological Remote Sensing Application for Lithological Mapping in Tropical Region: A Case Study from Cameron Highland, Malaysia. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(17), 2011, 4179-4185.
5. Lu, Y., Weng, Q., & Zhang, Y. Applications of remote sensing and GIS in urban environmental studies: a case study of Beijing, China. In *Remote Sensing of Urban and Suburban Areas*. Springer. 2004. pp. 123-139.
6. Singh, A. Review article on digital change detection techniques using remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 10(6), 1989. pp. 989-1003.
7. Wadge, G. Remote sensing of volcanoes and volcanic processes: Integrating observation and modeling. *Bulletin of Volcanology*, 60(5), 1998. pp.361-381.
8. Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., & Chipman, J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons. 2014.736 p.
9. Campbell, J. B. Introduction to Remote Sensing. Guilford Press. 2011. 667 p.
10. Chavez Jr, P.S. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9), 1996. pp.1025-1036.
11. Green, R. O., & Boardman, J. W. Mapping the "color" of the California desert with AVIRIS data. In *Summaries of the Seventh JPL Airborne Earth Science Workshop*. Jet Propulsion Laboratory, 2003. pp. 12-15.
12. Markham, B. L., & Barker, J. L. Thematic Mapper band-pass filter selection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, (3), 1986. pp.373-379.
13. Mukaka, M. M. Statistics Corner: A guide to the appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Medical Journal*, 24(3), 2012. pp.69-71.
14. Richards, J. A., & Jia, X. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction (4th ed.). Springer. 2006.
15. Jia, X., Zhang, J., & Richards, J. A. Integration of pixel-based and object-oriented classification for multiscale land cover mapping with MODIS imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(6), 2006. pp.688-699.
16. Mather, P. M. Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction. John Wiley & Sons. 2010. 434 p.
17. Rowan, L. C., & Wetmore, P. H. Reflectance spectroscopy: Quantitative analysis techniques for remote sensing applications. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 103(B10), 1998. Pp. 23057-23081.
18. Twiss, R. J., & Moores, E. M. Structural Geology. New York: W. H. Freeman. 2007. 736 pp.

MINDIASHVILI GIORGI, YOBIDZE GIORGI, LIPARTIA TORNIKE, JAPARIDZE NINO, BENASHVILI KETI, BLUASHVILI ILIA, KVIRKVELIA MATE, MEKOKISHVILI DAVIT, BLUASHVILI DAVIT

IDENTIFICATION OF THE DATA OBTAINED BY THE REMOTE SENSING METHOD WITHIN THE BEKTAKARI- BNELIKHEVI ORE KNOT

ANNOTATION. Data obtained by the Remote Sensing method is widely used in many filed of Geology, including in the case of mineral resources research. Our research is dedicated to the study of Bektakari-Bnelikhevi deposits and their surrounding areas, which is expressed in the determination of lithological characteristics in the study area, the detection of mineral indices and indicators, the study of structural features, the determination of hydrothermally altered areas and the detection of metallic mineralized areas within them. The ratio composites of the FCC and CRC algorithms were used to create the lithological maps. PCA technique of principal component analysis was also used. We obtained the altered zones by the method of the ratio of spectral indices. In the research, we also used the controlled SAM and SID methods of spectral designations, as well as the limited energy minimization CEM technology. The obtained data, the main purpose of processing of which was the detection of hydrothermally altered areas, are integrated with structural units. The research was carried out using Google Earth Engine, QGIS, image visualization environment software packages and Python programming language.

KEYWORDS: remote sensing; spectral indices; mineral resources; structural features; spectral mapping and spectral divergence.