



ა.ოქროსცვარიძე, კ. აქიმიძე, დ. ბლუაშვილი
ს. გოგოლაძე, გ. ბოიჩენკო, რ. გაბრიელაშვილი

A. Okrostsvaridze, K. Akimidze, D. Bluashvili,
S. Gogoladze, G. Boichenko, R. Gabrielashvili

თორიუმი - მომავლის ენერჯია
და მისი მადანგამოვლინებები საქართველოში



THORIUM - THE ENERGY SOURCE OF THE FUTURE
AND ITS ORE OCCURRENCES IN GEORGIA

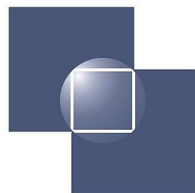


ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
ალექსანდრე ჯანელიძის სახ. გეოლოგიის ინსტიტუტის შრომები
ახალი სერია, 133

ა. ოქროსცვარიძე, კ. აქიმიძე, დ. ბლუაშვილი,
ს. გოგოლაძე, გ. ბოიჩენკო, რ. გაბრიელაშვილი

თორიუმი - მომავლის ენერჯია და მისი მადანგამოვლინებები საქართველოში

ნაშრომი მომზადდა შოთა რუსთაველის ეროვნული
სამეცნიერო ფონდის FR-18-8122 გრანტის მეშვეობით



შოთა რუსთაველის ეროვნული
სამეცნიერო ფონდი
SHOTA RUSTAVELI NATIONAL
SCIENCE FOUNDATION



გამომცემლობა „ჯინჯასალი“
თბილისი 2022

© ა. ოქროსცვარიძე, კ. აქიმიძე, დ. ბლუაშვილი,
ს. გოგოლაძე, გ. ბოიჩენკო, რ. გაბრიელაშვილი

თორიუმი - მომავლის ენერჯია და მისი მადანგამოვლინებები საქართველოში

ნაშრომის პირველ ნაწილში განხილულია თორიუმის ენერგოშესაძლებლობები და მისი პერსპექტივები. მკვლევართა დიდ ნაწილს მიაჩნია, რომ თორიუმი ის ბირთვული ენერგორესურსია, რომელსაც მომავალში შეუძლია CO₂ ემისიის გარეშე შეავსოს ნახშირ-წყალბადების ამოწურვით შექმნილი ენერგოდეფიციტი. აღნიშნულის გამო, თორიუმზე მომუშავე ენერგოგენერატორების შექმნასა და მათი მარაგების გაზრდაზე ამჟამად მსოფლიოს თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყანა მუშაობს. რიგი მიზეზების გამო, ჯერჯერობით ეს მნიშვნელოვანი საკითხი საქართველოში სახელმწიფოებრივ დონეზე არ განიხილება, რის გამოც, შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით, შევეცადეთ საქართველოში გამოგვეკვლია თორიუმის მადანგამოვლინებები და შეგვეფასებინა მათი მარაგების პოტენციალი. ამ კვლევის შედეგები დეტალურადაა განხილული ნაშრომის მეორე ნაწილში.

რედაქტორი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი **ნ. ფოფორაძე**
რეცენზენტი: ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორი **ზ. ჯავახიშვილი**

© A. Okrostsvaridze, K. Akimidze, D. Bluashvili,
S. Gogoladze, G. Boichenko, R. Gabrielashvili

Thorium - the Energy Source of the Future and its Ore Occurrences in Georgia

The first part of the book discusses the energy potential of thorium and future prospects. Many researchers believe that thorium is the nuclear energy source that, without CO₂ emissions, can fill the energy shortfall caused by the depletion of hydrocarbons in the future. Therefore almost all developed countries in the world are currently working on the creation of thorium-powered generators and increasing its reserves. For a number of reasons, this important global issue has not yet been discussed at the state level in Georgia. Hence, for the first time in Georgia, we tried to explore thorium ore occurrences and evaluate the potential of its resources. The second part of the book discusses the results of this research in detail.

Editor: Professor of Georgian Technical University **N. Poporadze**

Reviewer: Professor of Ilia State University **Z. Javakhishvili**

წიგნი დამტკიცებულია თსუ-ს ალექსანდრე ჯანელიძის სახ. გეოლოგიური ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ

გამომცემლობა „**უნივერსალი**“, 2022

თბილისი, 0186, ა. პოლიბაჰვაძის №4, ☎: 5(99) 17 22 30; 5(99) 33 52 02
E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversali@gmail.com

ISBN 978-9941-33-308-8

მადლობები

ამ კვლევის განხორციელება შესაძლებელი გახდა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტის „თორიუმი - მომავლის ენერჯია: მისი მადანგამოვლინებებისა და ფორმირების ფაქტორების კვლევა საქართველოში“ მეშვეობით, რისთვისაც ავტორთა კოლექტივი დიდ მადლობას ვუხდით აღნიშნულ ფონდს. გულწრფელ მადლობას ვუხდით ამ ფონდის ახალგაზრდა თანამშრომელს, ბაგრატ რაზმაძეს იმ პროფესიონალიზმისა და გულისხმიერებისათვის, რომელიც მან გამოიჩინა ამ პროექტის ესოდენ რთული ადმინისტრირების პროცესში.

მადლობას ვუხდით ამ პროექტის სამეცნიერო კონსულტანტს, ამერიკის შეერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახურის, დენვერის ფედერალური ცენტრის მკვლევარ, ბრედლი ვან გოსენს, მნიშვნელოვანი გამოცდილების გაზიარებისა და რჩევებისათვის; ტაივანის მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიური ინსტიტუტის დირექტორს, პროფესორ სან-ლი ჩანგს, ქანების იზოტოპური დათარიღებისათვის; ბრიტანეთის კოლუმბიის უნივერსიტეტის (კანადა) მინერალური რესურსების კვლევის განყოფილების მკვლევარ, ფაბიენ რაზაიროლს, ქანების გეოქიმიურ კვლევაში დახმარებისათვის; გერმანიის პოტსდამის გეომეცნიერების ცენტრის ელექტრონული მიკროანალიზის ლაბორატორიის ხელმძღვანელს, დოქტორ ფრანცისკა ვილკეს, შხარის ურანიუმის ძარღვების ქიმიზმის განსაზღვრისათვის და დათარიღებისათვის; გერმანელ რადიოფიზიკოსს, რუდოლფ გეიპელს, რომელმაც გვაჩუქა რადიაციული დოზიმეტრი FAG-FH40F2; ყველა პიროვნებას ვინც გვეხმარებოდა პროექტის ადმინისტრირებაში, საველე თუ ლაბორატორიულ სამუშაოებში და ნაშრომის პუბლიკაციაში; ამ წიგნის რედაქტორს, ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორ ნოდარ ფოფორაძეს და რეცენზენტს, ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორ ზურაბ ჯავახიშვილს.

დაბოლოს, ამ წიგნზე მუშაობის პროცესში გაწეული კონსულტაციებისათვის და მისი კრიტიკული განხილვისათვის, უღრმეს მადლობას ვუხდით საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსს, ბატონ ერეკლე გამყრელიძეს.

შინაარსი

წინასიტყვაობა	6
შესავალი	7
1. ზოგადი ცნობები თორიუმის შესახებ	12
1.1. ქიმიური ელემენტი თორიუმი	12
1.2. თორიუმის მინერალები	14
1.3. თორიუმის საბადოები	16
1.4. თორიუმის მოპოვება, მარაგები და ფასები	21
2. ზოგადი ცნობები ურანის შესახებ	25
2.1. ქიმიური ელემენტი ურანი	25
2.2. ურანის მინერალები	25
2.3. ურანის საბადოები	26
2.4. ურანის მოპოვება, მარაგები და ფასები	29
3. თორიუმის რეაქტორები: ამბიციური ახალი ბირთვული ენერჯეტიკა?	31
4. საქართველოს გეოლოგიური აგებულების მოკლე მიმოხილვა	39
5. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებებზე არსებული ინფორმაციის ანალიზი	45
6. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევის შედეგები	55
6.1. შხარის პლუტონის U და Th მინერალიზაცია	56
6.1.1. კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტი	57
6.1.2. შხარის ვარისკული გრანიტოიდული პლუტონი	59
6.1.3. კვლევის მეთოდები და მოპოვებული მასალა	62
6.1.4. კვლევის შედეგები	63
6.1.4.1. რადიაციული ფონი	63
6.1.4.2. პეტროგრაფია	65
6.1.4.3. პეტროქიმია და გეოქიმია	66
6.1.4.4. ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგია	69
6.1.4.5. U და Th მინერალიზაციის ქიმიზმი და ასაკი	72
6.1.4.6. დისკუსია და დასკვნა	74
6.2. თორიუმის კვლევის შედეგები კავკასიონის კახეთის სეგმენტში	79
6.2.1. ზოგადი გეოლოგიური დახასიათება	79
6.2.1.1. დანალექი საფარი	81
6.2.1.2. მაგმატიზმი	83
6.2.1.3. ჰიდროთერმული გამადნებები	91

6.2.2. მადანგამოვლინებები	94
6.2.2.1. სტორისა და მახვალის თორიუმის მადანგამოვლინებები...	104
6.2.2.2. დისკუსია და დასკვნა	108
6.3. თორიუმის კვლევის შედეგები ძირულის კრისტალურ მასივში	110
6.3.1. ძირულის კრისტალური მასივი	110
6.3.2. ნადაბურის თორიუმის მინერალიზაცია	113
6.3.3. მდინარე ბუჯას პეგმატიტების კობალტის ანომალია	113
6.4. თორიუმის კვლევის შედეგები აჭარა-თრიალეთის	
ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელში	125
6.4.1. ზოგადი ცნობები აჭარა-თრიალეთის სარტყელზე	125
6.4.1.1. პლუტონური მაგმატიზმი	129
6.4.1.2. პლუტონების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგია	133
6.4.1.3. პლუტონების ჩანართების ცირკონების U-Pb	
გეოქრონოლოგია	137
6.4.2. აჭარა-თრიალეთის სარტყელის მადანგამომოვლინებები	148
6.4.2.1. ვაკეჯვრის მადნიანი ველი	149
6.4.2.1.1. ჩხიკვას - ლელეს თორიუმის რკინის მადანგამოვლინება ...	155
6.4.2.1.2. ჭაჭუას-ლელეს თორიუმის რკინის მადანგამოვლინება	158
6.4.2.1.3. ნასახლების თორიუმის მადანგამოვლინება	161
6.4.2.1.4. შავი ზღვის გურიის სანაპიროს მაგნეტიტის ქვიშები	164
6.4.2.2. მერისის მადნიანი ველი	166
6.4.2.2.1. მერისის თორიუმის მადანგამოვლინება	167
6.5. წყალტუბოს რადონიანი წყლის გენეზისი	171
6.5.1. წყალტუბოს რაიონის მოკლე გეოლოგიური დახასიათება	171
6.5.2. ძეძილეთის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინებები	173
6.5.3. წყალტუბოს რადონიანი წყლის დახასიათება	174
6.5.4. რადონის ზოგადი დახასიათება	176
6.5.5. დისკუსია და დასკვნა	177
7. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევის შედეგების	
შეჯამება	181
8. Thorium - the Energy Source of the Future and its Ore Occurrences in Georgia	
(summary)	192
გამოყენებული ლიტერატურა	206

წინასიტყვაობა

თანამედროვე მსოფლიოს უდიდეს პრობლემას CO₂ ემისიით განპირობებული კლიმატის ცვლილებები და რაოდენ პარადოქსულიც არ უნდა იყოს, ამ ემისიის მიზეზის, ნახშირწყალბადების მარაგების ამოწურვა წარმოადგენს. ამჟამად, ჩვენი ცივილიზაცია დგას უდიდესი გამოწვევის წინაშე, მიაკვლიოს ისეთ ენერგორესურსს, რომელიც იქნება ეკოლოგიურად სუფთა და ამავე დროს მისი მარაგები იქნება საკმარისი ხანგრძლივი სარგებლობისათვის. დღეს ერთ-ერთ ასეთ რესურსად მეცნიერები რადიაქტიურ ქიმიურ ელემენტ თორიუმს განიხილავენ. ამ ელემენტს გააჩნია უდიდესი ენერგომესაძლებლობები და მარაგები და ამავე დროს, ენერგეტიკული თვალსაზრისით, ეკოლოგიურად გაცილებით სუფთაა ვიდრე ურანი. აღნიშნული მახასიათებლების გამო, სწავლულები მას მომავლის მწვანე ენერგეტიკადაც კი განიხილავენ.

აღნიშნული მახასიათებლების გამო, თორიუმზე მომუშავე ენერგოგენერატორების შექმნასა და მისი მარაგის გაზრდაზე, ამჟამად მსოფლიოს თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყანა მუშაობს, მათ შორის პატარა ქვეყნებიც. გასაგები მიზეზების გამო, ჯერჯერობით ეს მნიშვნელოვანი საკითხი საქართველოში სახელმწიფოებრივ დონეზე არ განიხილება. ამიტომაც ჩვენ მიერ საქართველოში თორიუმის კვლევის პროექტი ინიცირებულ იქნა რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდში, რომელმაც დააფინანსა იგი და რომლის კვლევის შედეგებიც ამ წიგნშია განხილული.

წიგნი გამიზნულია საქართველოს გეოლოგიისა და მადნიანი საბადოების მკვლევართათვის და ამ დარგის სტუდენტებისათვის. გარდა აღნიშნულისა, ვფიქრობთ ამ წიგნით დაინტერესდება ფართო საზოგადოებაც, განსაკუთრებით ახალგაზრდობა, ვისაც შესაძლოა თორიუმის ეპოქაში მოუწიოს ცხოვრება.

შესავალი

როგორც ცნობილია, თანამედროვე ცივილიზაციის ძირითად ენერგორესურსებს ნახშირწყალბადები წარმოადგენს, რომელთა გამოყენება გარემოში CO₂ ემისიას და სათბურის ეფექტს იწვევს. ეს კი განაპირობებს კლიმატის სწრაფ ცვლილებას, რაც დამლუპველად მოქმედებს ჩვენი პლანეტის ექოსისტემაზე და მათ შორის, ჩვენს ცივილიზაციაზეც. დედამიწის პერმანენტული დაბინძურებისა და ნახშირწყალბადების მარაგების ამოწურვის ფონზე, ბუნებრივია, გადაუდებელ ამოცანას ეკოლოგიურად სუფთა, CO₂ ემისიის არმქონე, დიდი რეზერვების მქონე ენერგორესურსების ძიება წარმოადგენს. ამ გლობალური გამოწვევის დასაძლევად ექსპერტები მომავლის ძირითად ენერგორესურსებად **განახლებად და ბირთვულ ენერგეტიკას განიხილავენ**. თუ გავითვალისწინებთ საერთო მოხმარებულ ენერგიაში განახლებადი ენერგეტიკის დღევანდელ წილს 18-20% და მის მაქსიმალურ პოტენციალს 23–27%, მაშინ უდავოა, რომ ჩვენი ცივილიზაციის ენერგეტიკულ უზრუნველყოფაში **ბირთვული ენერგეტიკა მომავლის იმედია**.

როგორც ცნობილია, ბირთვული ენერგეტიკის ძირითადი დანიშნულება ელექტროენერჯის გამომუშავებაა, რომლის კომერციული წარმოება მე-20 საუკუნის 80-იანი წლებიდან იღებს სათავეს. მას შემდეგ პროგრესულად იზრდება დედამიწის მოსახლეობა და შესაბამისად, პროგრესულად მატულობს ელექტროენერჯის მოხმარებაც. თანამედროვე რეალობის გათვალისწინებით, უდავოა, რომ მომავალშიც პროგრესულად გაიზრდება ამ ენერგიაზე მოთხოვნილება. ბუნებრივია ჩვენი ცივილიზაციის შემდგომი მდგრადი, უსაფრთხო და წარმატებული განვითარება პირდაპირ დამოკიდებული იქნება ელექტროენერჯის იაფ და ეკოლოგიურად სუფთა წარმოებაზე. ექსპერტები ამ ენერჯის ასეთი წარმოების ერთ-ერთ ძირითად რესურსად, დაახლოებით 50-100 წლის შემდეგ, ბირთვულ ენერგეტიკას მიიჩნევენ. თუმცა, ბირთვულ საწვავად არა ურანს არამედ **თორიუმს განიხილავენ**.

რადიაქტიური ქიმიური ელემენტი **თორიუმი** ბუნებრივ პირობებში წარმოდგენილია ^{232}Th მყარი ფაზით და იგი ურანის მსგავსად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს, როგორც საწვავი ბირთვულ რეაქტორებში. ამასთან, ურანთან შედარებით, მას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობები: დედამიწის ქერქში მისი მარაგები 4-5-ჯერ მეტია; მოპოვება და გამდიდრება გაცილებით იაფია; ნაკლებად რადიაქტიურია; შესაძლებელია მისი ნარჩენების სრული უტილიზაცია; გაცილებით მეტ ენერგიას გამოიმუშავებს და სხვ. ამ თვისებების გამო, მკვლევართა დიდი ნაწილი სწორედ მას მიიჩნევს ჩვენი ცივილიზაციის მე-3 ათასწლეულის უმთავრეს, მწვანე ენერგორესურსად.

ამჟამად მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნები წარმატებულად მუშაობენ თორიუმის ბირთვული რეაქტორების ტექნოლოგიურ გაუმჯობესებაზე და ინტენსიურად იკვლევენ მის მარაგებს დედამიწის ქერქში. ამ მიმართულებით ყველაზე დიდი მიღწევები გააჩნია ინდოეთს, რომელიც თორიუმის მსოფლიო მარაგების დაახლოებით 25%-ს ფლობს. ეს ქვეყანა 2050 წლისათვის გეგმავს ქვეყნის ელექტროენერჯის 30% გამოიმუშაოს თორიუმის ბირთვულ რეაქტორებში.

საქართველოში თორიუმის მარაგების შესასწავლად სპეციალიზებული გეოლოგიური კვლევა არასდროს ჩატარებულა. ამ ელემენტის მინერალიზაციის შესწავლა ხორციელდებოდა გეოლოგიური სამმართველოს მიერ, გასული საუკუნის მეორე ნახევარში, ურანის ძებნა-ძიების პარალელურად. თუმცა, ამ ელემენტის მარაგების გამოვლენაში კონკრეტული შედეგი ვერ იქნა მიღწეული, ხოლო ვინაიდან მაშინ თორიუმზე მოთხოვნილება პრაქტიკულად არ არსებობდა, ამიტომ, მის კვლევას ნაკლები ყურადღება ექცეოდა. სპეციალური გეოლოგიური პარტიების არსებულ „გასაიდუმლოებულ“ ანგარიშებში, მხოლოდ ლოკალურ რადიაციულ ანომალიებზეა საუბარი, ხოლო ურანისა და თორიუმის კონკრეტული, ქიმიური ანალიზის შედეგები ძალიან მწირია.

რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფუნდამენტური პროექტის **FR-18-8122** (*თორიუმი-თანამედროვე ცივილიზაციის მომავლის ენერჯია და მისი მადანგამოვლინებების კვლევა საქართველოში*) დაფინანსებამ, საშუალება მისცა

ჩვენს ჯგუფს, პირველად საქართველოში დეტალურად შეესწავლა ის რეგიონები, სადაც გეოლოგიური აგებულებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია თორიუმის მადანგამოვლინებების არსებობა. ამასთან ერთად, ვინაიდან თორიუმის მადნიანი მინერალიზაცია გენეტურ კავშირშია იშვიათი ელემენტების მინერალიზაციებთან, ჩვენ, ფაქტობრივად განვახორციელეთ ამ ტიპის მინერალიზაციის კვლევა. გარდა აღნიშნული გეოლოგიური სამუშაოებისა, ამ წიგნში განხილულია, აგრეთვე, თორიუმის ენერგეტიკის დადებითი და უარყოფითი მხარეები, ამ საწვავზე მომუშავე გენერატორების დამუშავების პროცესები და მისი მსოფლიო მარაგებიც. ასევე, მოკლედაა განხილული აგრეთვე მისტერიები თორიუმის სხვადასხვა შესაძლებლობების შესახებ.

პროექტის ამოცანების შესასრულებლად დეტალურად გავეცანიტ და დავამუშავეთ საქართველოში თორიუმისა და ურანის მინერალიზაციაზე არსებული მონაცემები. ეს მონაცემები, ძირითადად, მხოლოდ საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ფონდებშია დაცული, ისიც არასრულად, ვინაიდან ზოგიერთი მათგანი დაკარგულია. გარდა ამისა, არსებობს რამდენიმე პუბლიკაცია, რომელიც ეხება ურანისა და თორიუმის ამაღლებულ კონცენტრაციებს საქართველოში.

საველე სამუშაოები ჩავატარეთ ყველა იმ ობიექტზე, რომლებიც პერსპექტიულადაა მიჩნეული შესწავლილ ანგარიშებსა და პუბლიკაციებში. გარდა აღნიშნულისა, საველე სამუშაოები ჩავატარეთ, აგრეთვე, ისეთ ობიექტებზეც, რომლებიც გეოლოგიური აგებულებიდან გამომდინარე შესაძლებელია თორიუმისა და ურანის შემცველი არის.

საველე სამუშაოების დროს ქანების რადიაციულ დოზებს ვიკვლევდით გერმანული (FAG-FH40F2) და ამერიკული (POLIMASTER) წარმოების რადიაციული დოზიმეტრით. აღნიშნული დოზიმეტრები რადიაციას ზომავს სივერტებში (**The sievert - სიმბოლო Sv**), რომელიც არის იონიზირებული გამოსხივების დოზის ერთეული საერთაშორისო სისტემის სკალაში (**SI**). ეს პარამეტრი ფასდება

მიკროსივერტი/საათებში ($\mu\text{Sv/h}$), რომლის მიხედვითაც ადამიანის ჯანმრთელობისათვის უსაფრთხო ნორმული ზედა ზღვარი მიჩნეულია - 0.17 მიკროსივერტი/საათში ($\mu\text{Sv/h}$).

საველე სამუშაოების დროს, გეოქიმიური კვლევის მიზნით, წერტილოვანი მეთოდით ავიღეთ 300-ზე მეტი სინჯი. მათი გეოქიმიური და სრული სილიკატური ანალიზი ჩავატარეთ სხვადასხვა ლაბორატორიებში, სხვადასხვა ულტრათანამედროვე დანადგარებზე და სხვადასხვა მეთოდით. ეს ანალიტიკური სამუშაოები ჩატარდა: 1. კანადის ანალიტიკურ ლაბორატორიაში (MSALABS), ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულ პლაზმურ მას-სპექტრომეტრზე (LA-ICP-MS-ზე), IMS-230 მეთოდით; 2. ამერიკის შეერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახურის დენვერის რეგიონული ცენტრის ლაბორატორიაში, ასევე ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულ პლაზმურ მას-სპექტრომეტრზე, ICP-ES მეთოდით; 3. ალ. ჯანელიძის გეოლოგიური ინსტიტუტის ლაბორატორიაში, რენტგენოფლოუორესენციურ სპექტრომეტრზე (XRF 2000), სადაც განისაზღვრა როგორც ქანების სრული სილიკატური ანალიზი, ასევე იშვიათი ელემენტების კონცენტრაციებიც.

გარდა ქანების ქიმიური ანალიზებისა, ამ პროექტის ფარგლებში განვახორციელეთ მადანმატარებელი პლუტონებისა და მათი ჩანართების ცირკონის LA-ICP-MS გეოქრონოლოგიური კვლევა. სულ 18 ნიმუშიდან გამორჩეულ და დათარიღებულ იქნა 340-ზე მეტი ცირკონის კრისტალი. ეს ანალიტიკური სამუშაოები ჩატარდა ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულ პლაზმურ მას-სპექტრომეტრებზე (LA-ICP-MS): 1. ტაივანის ნაციონალური უნივერსიტეტის (ტაიპეი) გეოქრონოლოგიურ ლაბორატორიაში; 2. ჩუნგ-ჩენგის ნაციონალურ უნივერსიტეტის (ტაივანი) დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა განყოფილებასა და 3. ბრიტანეთის კოლუმბიის უნივერსიტეტის (კანადა) მინერალური რესურსების კვლევის განყოფილების იზოტოპურ ლაბორატორიაში. გარდა აღნიშნულისა, შხარის ურანის მადანგამოვლინებაში ურანიუმის დარღვევის ქიმიური შედგენილობა და ასაკი განისაზღვრა პოტსდამის (გერმანია)

გომეცნიერების ცენტრის ელექტრონული მიკროანალიზის ლაბორატორიაში, მიკროზონდ JEOL-JXA-8230-ზე.

აღსანიშნავია, რომ ამ პროექტის სამეცნიერო კონსულტანტი იყო ამერიკის შერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახურის თორიუმისა და ურანის რესურსების ცნობილი სპეციალისტი, დოქტორი ბრედლი ვან გოსენი, რომელიც საქართველოში საველე სამუშაოებშიც იღებდა მონაწილეობას. იგი არის აშშ-ს გეოლოგიური სამსახურის ატომური საწვავების (ურანისა და თორიუმის) პროგრამის ექსპერტი და აგრეთვე საერთაშორისო ატომური ენერგეტიკის სააგენტოს (IAEA) კონსულტანტი.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევებიდან გამომდინარე მიგვაჩნია, რომ საქართველოში თორიუმის საბადოების აღმოჩენა და მის ენერგიაზე დაფუძნებული სუფთა და იაფი ელექტროენერჯის წარმოება, შესაძლებელია ქვეყნის ეკონომიკის მომავალი აღმავლობის ერთ-ერთ წინაპირობად განვიხილოთ. ეს კი, ბუნებრივია, მოსახლეობის კეთილდღეობის ამაღლებას შეუწყობს ხელს. შესაბამისად, მიგვაჩნია, რომ ეს საკითხი ჩვენი სახელმწიფოს სტრატეგიული ინტერესების სფეროში უნდა მოექცეს სხვა ქვეყნების მსგავსად. მაგალითად კი შეიძლება მოვიყვანოთ ნორვეგია, რომელმაც მიუხედავად უზარმაზარი ჰიდრო და ნახშირწყალბადების რესურსებისა, დეტალურად დაიძია თავისი თორიუმის რეზერვები და დიდ წარმატებასაც მიაღწია ამ საწვავზე მომუშავე ბირთვული ელექტროგენერატორების შექმნაში.

დასასრულს დავსძენთ, რომ არსებობენ ადამიანები, რომლებიც სკეპტიკურად უყურებენ თორიუმის ენერგეტიკულ მომავალს. თუმცა, როგორც ცნობილია, მეცნიერული მიღწევები ყოველთვის წინ უსწრებდა არსებულ აღქმებს და უდავოა, რომ ასეთი თამამი იდეების განხორციელების გარეშე, შეუძლებელი იქნებოდა ჩვენი ცივილიზაციის ესოდენ შთამბეჭდავი წარმატებები.

1. ზოგადი ცნობები თორიუმის შესახებ

თორიუმის რეაქტორები მომავალში საშუალებას მოგვცემს მივიღოთ წყალბადის საწვავი ავტომობილებისათვის, სითბო მრეწველობისათვის და ელექტროენერგია ენერგოუსრუნველყოფისათვის.

დოქტორი ძიან მინგი

ჩინეთის თორიუმის ენერგეტიკის პროგრამის ხელმძღვანელი

1.1. ქიმიური ელემენტი თორიუმი

თორიუმი წარმოადგენს სუსტი რადიაციის მქონე ქიმიურ ელემენტს, რომლის სიმბოლოა Th, ატომური ნომრით 90. სუფთა მდგომარეობაში მას გააჩნია ვერცხლისფერი შეფერილობა, თუმცა დედამიწის ზედაპირზე ის უერთდება ჟანგბადს, გადადის თორიუმის ორჟანგში (ThO_2) და იძენს მუქ შეფერილობას (ნახ. 1.1). ეს ელემენტი მიეკუთვნება აქტივობების ჯგუფს, მას გააჩნია რამდენიმე იზოტოპი და ბუნებრივ პირობებში წარმოდგენილია ^{232}Th მყარი ფაზით, რომელიც ალფა გამოსხივებით იშლება (Albarède, 2003).



ნახ. 1.1. სუფთა მეტალური თორიუმი მყარ ფაზაში (Gray, 2003).

თორიუმი აღმოაჩინა ნორვეგიელმა მინერალოგმა მორტონ ესმარკმა 1828 წელს. როგორც დამოუკიდებელი ქიმიური ელემენტი ის მოგვიანებით განსაზღვრა შვედმა ქიმიკოსმა იაკობ ბერცელიუსმა და მას სკანდინავიური ჭექა-ქუხილის ღმერთის თორის საპატივცემულოდ თორიუმი უწოდა.

დედამიწის ქერქში გავრცელების თვალსაზრისით, ქიმიურ ელემენტთა შორის, თორიუმს 41-ე ადგილი უკავია. მისი ყველა იზოტოპი არასტაბილურია, მათ შორის ყველაზე მდგრადია ^{232}Th , რომლის ნახევარდაშლის პერიოდი 14.05 მილიარდ წელს შეადგენს. ეს იზოტოპი ძალიან ნელა, ალფა-გამოსხივების გზით იშლება, რომლის საბოლოო პროდუქტს ^{208}Pb წარმოადგენს. სწორედ თორიუმის რადიაქტიური დაშლის შედეგად გამოთავისუფლებული სითბო წარმოადგენს დედამიწის შინაგანი ენერჯის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან წყაროს.

თორიუმი დედამიწის ქერქში ერთ მილიონ გრამზე 8.1 გრამს შეადგენს და ის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მძიმე ელემენტია. მას თითქმის ისეთივე გავრცელება გააჩნია, როგორც ტყვიას (13 გრამი მილიონ გრამზე) და უფრო ფართოდაა გავრცელებული ვიდრე კალა (2.1 გრამი მილიონ გრამზე) (მაგ., **Wickleder et al., 2006**). როგორც ჩანს, ეს იმითაა განპირობებული, რომ თორიუმი ქმნის ჟანგეულ მინერალებს, რომლებიც სიმსუბუქის გამო, დედამიწის სიღრმისკენ არ იძირება. ამ თვისების გამო, თორიუმი დედამიწის ქერქში უფრო გავრცელებულ ქიმიურ ელემენტს წარმოადგენს, ვიდრე მაგალითად, პლატინის ჯგუფის მძიმე მეტალები (**Albarède, 2003**).

თორიუმს დედამიწაზე არსებულ ქიმიურ ელემენტთა შორის ერთ-ერთი ყველაზე მაღალი დნობის (1750°C) და დუღილის (4787°C) ტემპერატურა გააჩნია. აღნიშნულის გამო, ამჟამად მას ძირითადად იყენებენ მაღალტემპერატურული ხელსაწყოებისა და ცეცხლგამძლე კერამიკის წარმოებაში, თუმცა თორიუმის ყველაზე მნიშვნელოვანი თვისება ისაა, რომ იგი ურანის მსგავსად შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს, როგორც საწვავი ბირთვულ რეაქტორებში. ურან-238-ის მსგავსად, თორიუმ-232 არ იშლება თავისთავად, მაგრამ თერმობირთვული

რეაქციის პროცესში ის გაცილებით მეტ ენერგიას გამოჰყოფს ვიდრე ურან-238. თუმცა, ის სველი ხესავითაა, რომელიც უნდა გამოაშრო, ვიდრე ბუხარში დაწვავ, ესაა მისი ნაკლი (Martin, 2009).

მიუხედავად აღნიშნულისა, თორიუმს ურანთან შედარებით გააჩნია მთელი რიგი სხვა უპირატესობები, კერძოდ: დედამიწის ქერქში იგი 4–5 ჯერ უფრო მეტია; მოპოვება და გამდიდრება გაცილებით იაფია; ნაკლებად რადიაქტიურია; შესაძლებელია მისი ნარჩენების სრული უტილიზაცია; გაცილებით მეტ ენერგიას გამოიმუშავებს (თუმცა მისი იზოტოპური ნარჩენებისგან ატომური ბომბის დამზადება შეუძლებელია). ყველა ამ მახასიათებლის გამო, თორიუმს მკვლევრები ჩვენი ცივილიზაციის მე-3 ათასწლეულის იაფ, ეკოლოგიურად სუფთა, მწვანე ენერგეტიკადაც კი მიიჩნევენ. მეცნიერები ზოგჯერ თორიუმს დავიწყებულ საწვავსაც უწოდებენ, რომელსაც შეუძლია შეცვალოს მსოფლიო (Martin, 2009).

1.2. თორიუმის მინერალები

თორიუმის პირველადი მინერალების კრისტალიზაცია დაკავშირებულია, როგორც მჟავე სილიკატურ, ასევე ტუტე და კარბონატულ მაგმებთან. ამიტომ ეს ელემენტი დედამიწის ქერქში ქმნის 100-ზე მეტ ბუნებრივ მინერალს ჟანგბადთან, წყალბადთან, სილიციუმთან, კალციუმთან, ტიტანთან, იტრიუმთან და სხვა ქიმიურ ელემენტებთან კავშირით. მიუხედავად მინერალთა ასეთი დიდი რაოდენობისა, დედამიწის ქერქში თორიუმი ძირითადად რამდენიმე მინერალითაა წარმოდგენილი. ეს მინერალებია: მონაციტი $(\text{Ce,La,Y,Th})\text{PO}_4$, რომელიც, იშვიათ ელემენტებიანი, გრანიტოიდების აქცესორულ მინერალს წარმოადგენს თორიტი (ThSiO_4) , რომელიც ასევე გრანიტოიდების სილიკატური აქცესორული მინერალია (ნახ. 1. 2). ზოგჯერ ეს მინერალი შეიცავს ურანსაც, და მაშინ მისი ფორმულა ასეთ სახეს ღებულობს - $[(\text{Th,U})\text{SiO}_4]$. დედამიწის ზედაპირზე თორიტი წყალთან ურთიერთქმედებისას გადადის მის წყლიან სახესხვაობა - თორიგუმიტში

[Th(SiO₄)_{1-x}(OH)], რომელიც უკვე შავ ფხვიერ მასას წარმოადგენს. თორიუმის ერთ-ერთ ძალიან იშვიათ მინერალს წარმოადგენს თორიანიტი (ThO₂), რომელიც ასევე შეიცავს ლანთანს, ცერიუმს, პრაზედიუმს და ნეოდიუმს. ეს მინერალი კუბური კრისტალების სახით გვხვდება შრი-ლანკაში, სადაც მათი სიგრძე 1.5 სმ-ს არ აჭარბებს. თორიანიტის ყველაზე დიდი კრისტალი - 6 სმ სიგრძის, აღწერილია კუნძულ მადაგასკარზე. თორიუმის მინერალებიდან საკმაოდ ფართოდაა გავრცელებული მინერალი ბასტნაზიტი [(Ce,La)CO₃F], რომელიც გენეტურად კარბონატულ მაგმებთანაა დაკავშირებული. კარბონატულ მაგმებთანაა დაკავშირებული აგრეთვე მინერალები პარიზიტი [CaREE₂(CO₃)₃(F,OH)₂], რომელშიც ThO₂ შემცველობა 4,0%-ს აღწევს და სინქიზიტი [CaREE(CO₃)₂(F,OH)], რომელშიც ThO₂ შემცველობა 5,0%-ს აღწევს. თორიუმი მცირე რაოდენობით გვხვდება ისეთ მინერალებში, როგორცაა ალანიტი, ქსენოტიმი, ცირკონი და ურანიინიტი.



ნახ. 1.2. თორიტის კრისტალების დრუზა. ჰალიბერტონის ოლქი, კანადა (Grice, 1989).

მიუხედავად თორიუმის მინერალთა ასეთი დიდი რაოდენობისა, მისი სამრეწველო რესურსების უდიდესი ნაწილი დაკავშირებულია მონაციტთან და ბასტნაზიტთან. ამჟამად, თორიუმის მოპოვება ძირითადად ხორციელდება მონაციტიანი ზღვიური ქვიშრობებიდან ინდოეთში, ბრაზილიაში, აშშ-ში, მალაიზიაში, კორეასა და შრი-ლანკაში. ამ ქვიშრობების დამუშავების ძირითადი დანიშნულებაა იშვიათი მიწაელემენტების მოპოვება, ხოლო ამ პროცესში თორიუმი მეორად პროდუქტს წარმოადგენს. ზოგადად მონაციტი შეიცავს თორიუმის ჟანგის 3,1–14,32 მას.%, ხოლო იშვიათი მიწაელემენტების - 40,7–65,0 მას.% (Rene, 2017).

1.3. თორიუმის საბადოები

თორიუმის პირველადი საბადოები დაკავშირებულია ტუტე, კარბონატულ და მჟავე ქანებთან და აგრეთვე სილიკატურ ჰიდროთერმულ ძარღვებთან, ხოლო მეორადი - როგორც ალუვიურ, ასევე სანაპიროს ქვიშრობებთან (მაგ., Barthel, Tulsidas, 2014). ენდოგენური საბადოებიდან შესაძლებელია გამოვყოთ: მაგმური, პეგმატიტური, სკარნული და მაღალტემპერატურულ-ჰიდროთერმული. ვინაიდან თორიუმის ატომი იზომორფულად ადვილად ანაცვლებს კალციუმს, ამიტომ მისი დაგროვებები ხშირად გვხვდება ჰიდროთერმულად შეცვლილ კარბონატებში. ასეთი ტიპის გამადნებებში თორიუმის კონცენტრაცია იცვლება ფართო სპექტრით (0.02-0.2%).

ქვიშრობულ საბადოებში, თორიუმის წყაროს წარმოადგენს მონაციტი. ზღვიური ქვიშრობული საბადოები ძირითადად თავმოყრილია ავსტრალიის, ინდოეთის, ბრაზილიის, ვენესუელის, აშშ-სა და ეგვიპტის სანაპიროებთან. ეს საბადოები, გარდა მონაციტისა, შეიცავს აგრეთვე ილმენიტს, მაგნეტიტს, რუტილს, ქსენოტიმს, ცირკონსა და კასიტერიტს. ამ საბადოებში მონაციტთან ერთად სასარგებლო კომპონენტს წარმოადგენს ილმენიტი, რუტილი, კასიტერიტი

და ცირკონი. ასეთი ქვიშრობული საბადოები შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს, როგორც თანამედროვე ზღვიურ სანაპიროებზე, ასევე ძველ სანაპირო ზოლებში, რომლებიც მეოთხეულ რელიეფში ტერასების სახით არის წარმოდგენილი.

აღსანიშნავია, რომ კონკრეტულ ქვიშრობებში მონაციტის არსებობა იმას არ ნიშნავს, რომ იგი საბადოს მოთხოვნილებას აკმაყოფილებს. მაგალითად, მიუხედავად იმისა, რომ თითქმის მთელი ინდოეთის ნახევარკუნძულის სანაპირო ზოლის ქვიშრობები შეიცავენ მონაციტს და ასევე სხვა მძიმე სასარგებლო მინერალებს, მხოლოდ რამდენიმე რაიონში აღინიშნება მათი სამრეწველო დაგროვებები. ინდოეთის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ქვიშრობულ საბადოს წარმოადგენს მადრასის პროვინციის ქვიშრობები, რომელებიც მის აღმოსავლეთ სანაპიროზე მდებარეობს. ამ ქვიშრობებში მთელი ქვიშრობული მასის 20% მძიმე მინერალებია, საიდანაც მონაციტის წილი 0.5% შეადგენს (ნახ. 1. 3).



ნახ. 1.3. მონაციტიანი ქვიშრობები. ინდოეთის აღმოსავლეთ სანაპირო, მადრასის პროვინცია (**World Thorium occurrence, 2019**).

ავსტრალიის ქვიშრობული საბადოებიდან მოიპოვებენ ილმენიტს, რუტილს და ცირკონს. ამ კონტინენტის ყველაზე მნიშვნელოვან ქვიშრობულ საბადოს ქმნის მის სამხრეთ-დასავლეთით მდებარე მდ. მურეის მიერ გამოტანილი ტერიგენული მასალა. ამ ქვიშრობებში მონაციტის რაოდენობა 1.2 - 1.5 მას.% აღწევს.

აშშ-ში მონაციტის ალუვიური საბადო გვხვდება აიდაჰოს მთათაშუა დეპრესიასა და აგრეთვე ფლორიდისა და ჯორჯიას შტატების სანაპირო ზოლებში. ამ ქვიშრობებიდან მოიპოვებდნენ ძირითადად ილმენიტს, თუმცა, 1978 წლიდან გარემოს დაცვითი კანონმდებლობის გამკაცრების შედეგად, აქ მოპოვებითი სამუშაოები შეწყდა. ამ ქვიშრობებში მონაციტის შემცველობა მაღალი არ არის და არ სცილდება 1 მას.% (Van Gosen et al., 2009).

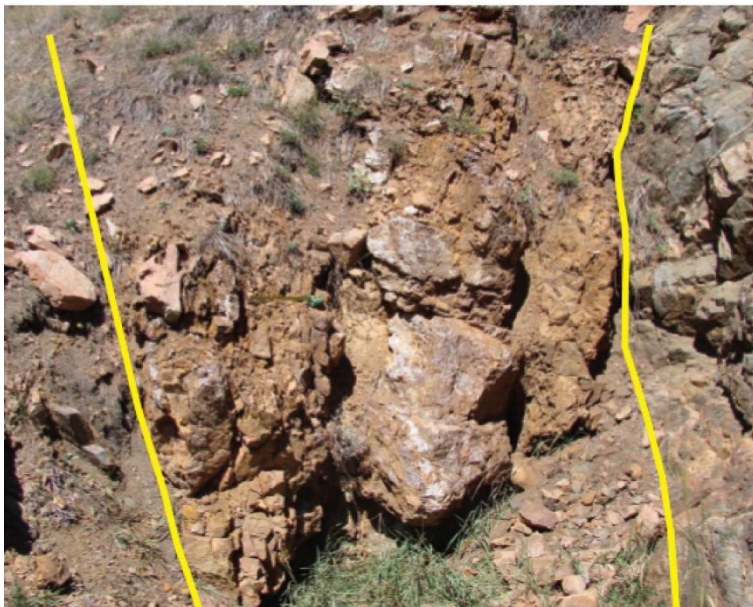
როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, თორიუმის პირველადი საბადოებიდან ამ ელემენტის ძირითად წყაროს წარმოადგენს ტუტე და სუბტუტე მაგმური ქანები, რომლებთანაც ხშირად დაკავშირებულია იშვიათი მიწაელემენტების მინერალიზაცია. ასეთი საბადოების კარგ მაგალითს წარმოადგენს ილიმაუსაკის ტუტე ინტრუზივი გრენლანდიაში, ხიბინების ტუტე მასივი კოლის ნახევარკუნძულზე, ტუტე პროვინცია რედ ვაინ ლეტიცია კანადაში და სხვ. ყველა ეს მაგმური კომპლექსი ზონალურია, გამდიდრებულია ნატრიუმითა და კალიუმით და შეიცავს თორიტს, მონაციტს, ცირკონს და სხვა აქცესორულ მინერალებს. ამ ინტრუზივების კონკრეტულ უბნებში Th შემცველობამ შესაძლებელია მიაღწიოს 1500 გ/ტ-ს, თუმცა მთლიან მასაში მისი შემცველობა იშვიათად აჭარბებს 50 გ/ტ-ს. (მაგ., Rene, 2017).

დეტალური კვლევები აჩვენებს, რომ ტუტე მაგმური აქტივობის დროს კარბონატულ ძარღვებში შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს თორიუმის მინერალიზაცია. ასეთი ტიპის დიდი ძარღვული საბადო არსებობს ლეჰის უღელტეხილის რაიონში, აშშ-ს კოლორადოს შტატში. ამ საბადოს დაახლოებით 140 კმ² ფართობი უკავია და მასში აშშ-ს თორიუმის რეზერვების უდიდესი ნაწილია თავმოყრილი.

ზოგადი შეფასების მიხედვით, ეს საბადო 160 000 ტონა თორიუმს შეიცავს, ხოლო აქედან დათვლილი მარაგები 56 000 ტონას შეადგენს (Van Gosen et al., 2009).

კარბონატული თორიუმისანი შტოკვერკული გამადნება აღინიშნება კოლორადოს შტატის აირონ ჰილის რაიონში. აქ კარბონატულ შტოკებში Th შემცველობა დაბალია და 30-40 გ/ტ ფარგლებში მერყეობს, თუმცა მათთან დაკავშირებულია ნიობიუმის მაღალი შემცველობები, რაც ამ შტოკებს დიდ ეკონომიკურ მნიშვნელობას ანიჭებს. ამ გამადნებაში თორიუმის მარაგები შეფასებულია 21000 ტონით.

აღნიშნული გამადნებების გარდა, აღსანიშნავია დასავლეთ მონტანაში კარბონატული მარღვები, რომლებიც წარმოადგენს იშვიათი მიწაელემენტებისა და თორიუმის მინერალიზაციის თანაარსებობის კარგ მაგალითს (ნახ. 1.4). ამჟამად, ამ საბადოს ამუშავებენ და მოიპოვებენ იშვიათ მიწაელემენტებს, ხოლო ნარჩენებს ასაწყობებენ, როგორც თორიუმის მარაგებს. ამ საბადოში თორიუმის კონცენტრაცია 0.025%-ის ფარგლებშია, ხოლო მისი მარაგები შეფასებულია 4200 ტონით (Lomg et al., 2010).



ნახ. 1.4. სველ რენჩის თორიუმის შემცველი კვარც-ბარიტ-ლიმონიტის კარბონატული მარღვი (ხაზებს შორის), დასავლეთ მონტანა, კოლორადოს შტატი, აშშ (Lomg et al., 2010).

გარდა ტუტე მაგმური ქანებისა, Th მინერალიზაცია აღინიშნება გრანიტებსა და გრანიტულ პეგმატიტებშიც, რომლებიც ბევრ რეგიონშია ცნობილი. ასეთ ქანებში თორიუმი ძირითადად ურანთანაა დაკავშირებული და მადნიან მინერალებს წარმოადგენს ურანიინიტი, ურანოთორიტი, მონაციტი და სხვა Th და U შემცველი მინერალები.

ამჟამად, Th შემცველ გრანიტებისა და პეგმატიტების დიდ ნაწილს არ გააჩნია სამრეწველო პოტენციალი, თუმცა, მნიშვნელოვან მარაგებს წარმოადგენს მომავლისათვის. თორიუმის შემცველი გრანიტებისა და პეგმატიტების გამადნებებიდან შეიძლება აღინიშნოს ბენკფორტი (კანადა), როსსინგი (ნამიბია), გრინბუში (ავსტრალია) და სხვა. ასეთი ტიპის გამადნებებში Th კონცენტრაცია 5-25 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს, თუმცა ასეთ გამადნებებში მაღალია U კონცენტრაცია და მათში თორიუმი მეორად პროდუქტად უნდა განვიხილოთ.

აღნიშნულის კარგ მაგალითს წარმოადგენს ბენკფორტის ურანის გამადნება აშშ-ში, რომელიც ფორმირებულია ანატექტურ პეგმატიტებსა და მიგმატიტებში. ამ გამადნებაში ძირითად მადნიან მინერალს წარმოადგენს ურანიინიტი, რომელშიც ThO₂ შემცველობა 10 მას.%-ს არ სცილდება. ამ საბადოდან, 1956 წლიდან 1982 წლამდე პერიოდში ამოღებულ იქნა 5700 ტონა ურანი, თუმცა თორიუმის მოპოვება არ ხორციელდებოდა. მეორე ასეთ მაგალითად შეიძლება განვიხილოთ როსსინგის ურანის გამადნება ნამიბიაში, რომელიც ჩამოყალიბდა ურანის შემცველი დანალექი ქანების გადაღობის შედეგად. ამ საბადოში ურანის ძირითად შემცველ მინერალს წარმოადგენს ურანიინიტი, რომელშიც ThO₂ შემცველობა 3.3-8.0 მას.%-ის ფარგლებში მერყეობს. ეს საბადო მუშავდება 1976 წლიდან და 2007 წლის ბოლოსათვის მოპოვებულ იქნა 90 000 ტონაზე მეტი ურანი (Rene, 2019).

თორიუმის შემცველი მჟავე მარღვული გამადნებები იშვიათია, თუმცა მსოფლიოში ბევრ რეგიონში აღინიშნება. ასეთი მარღვები ლოკალიზებულია ბრექჩირებული და ტექტონიკური რღვევების ზონებში და მათში მადნიანი მინერალები წარმოადგენილა თორიტიტით, თორიგუმიტიტით, მონაციტიტით, ალანიტიტით,

ბასტნაზიტით და ქსენოტიმით. ასეთი გამადნებების მაგალითად შესაძლებელია დავასახელოთ ვანპინსდორი სამხრეთ აფრიკაში, ესკიშეხირი თურქეთში და ნოლას-ბორი ავსტრალიაში (**World Thorium Occurrence, 2019**).

1.4. თორიუმის მოპოვება, მარაგები და ფასები

თორიუმის მოპოვება. ამჟამად, როგორც მეორადი პროდუქტი, თორიუმის მოპოვება მიმდინარეობს მსოფლიოს მხოლოდ ხუთ ქვეყანაში. ეს ქვეყნებია: ინდოეთი, ბრაზილია, მალაიზია, ტაილანდი და ვიეტნამი. ამ ქვეყნებში მონაციტური ქვიშრობებიდან ხდება იშვიათი მიწაელემენტების ექსტრაქცია, ხოლო თორიუმი რჩება, როგორც გვერდითი პროდუქტი. ამასთან ერთად, თორიუმს მოიპოვებს ჩინეთიც, ადგილობრივი და იმპორტული ნედლეულიდან, იშვიათი მიწაელემენტების წარმოების პარალელურად, თუმცა, უცნობია მისი რაოდენობა (**World Thorium Occurrence, 2019**).

როგორც ცნობილია, ამჟამად მთელს მსოფლიოში ინტერსიურად მიმდინარეობს თორიუმის ელექტროგენერატორების სრულყოფაზე მუშაობა. მიუხედავად ამისა, დღესდღეობით, არ არსებობს თორიუმის კომერციული ელექტროგენერაცია, რის გამოც, ამ რესურსზე მოთხოვნილება გლობალურ ბაზარზე დიდი არ არის. აღნიშნულის გამო, ThO_2 მთელს მსოფლიოში ყოველწლიურად მხოლოდ მცირე რაოდენობით მოიხმარენ. მას იყენებენ ქიმიურ კატალიზატორებში, განათებებში, შედუღების ელექტროდებში და ცეცხლგამძლე კერამიკის წარმოებაში (მაგ., **Rene, 2019**).

თორიუმის მარაგები. ინფორმაციას თორიუმის გლობალურ მარაგებზე აგროვებს და აქვეყნებს საერთაშორისო ატომური ენერგეტიკის სააგენტო (**IAEA**), რომელიც დაფუძნდა 1957 წელს და რომლის შტაბ-ბინაც მდებარეობს ქალაქ ვენაში. პირველი ცნობები თორიუმის გლობალური მარაგების შესახებ ამ ორგანიზაციამ გამოაქვეყნა 2003 წელს „წითელ წიგნში“ და იგი განისაზღვრა 4.5 მილიონი ტონით (**Thorium Resource Estimates, 2003**). ეს მონაცემები განახლდა 2009 წელს და

თორიუმის გლობალური მარაგები შეფასდა დაახლოებით 6.2 მილიონი ტონით, თუმცა ამ მარაგებში შეიტანეს დაუძიებელი საბადოების მონაცემებიც. 2011 და 2013 წლებში საერთაშორისო ატომური ენერგეტიკის სააგენტომ ტექნიკურად გააუმჯობესა თორიუმის მარაგების დათვლა და 16 ქვეყნისთვის გამოაქვეყნა უფრო სრულყოფილი მონაცემები (**World Nuclear Association, Thorium, 2014**). ამ მონაცემების მიხედვით, ეს მარაგები ასე შეფასდა:

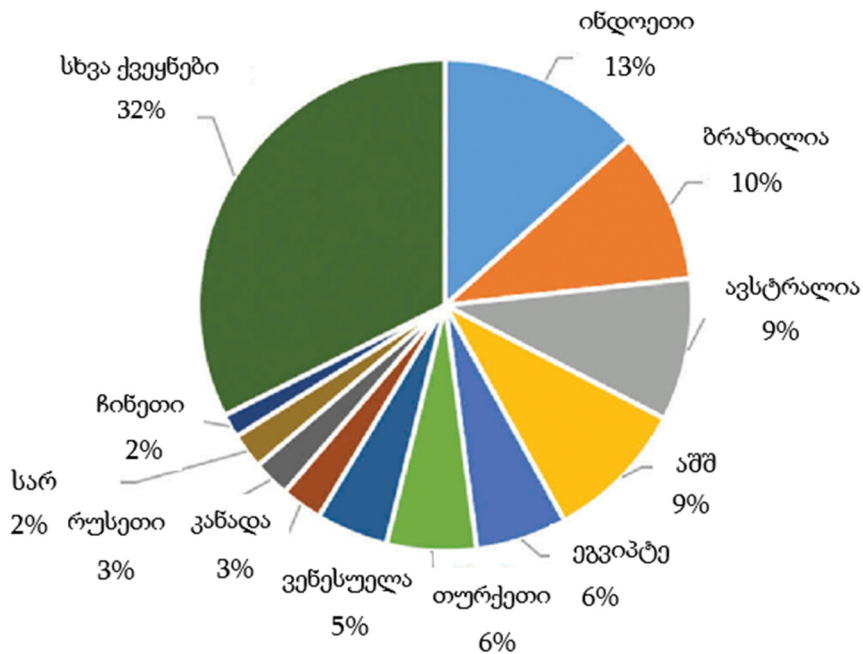
ქვეყნები	თორიუმი ტონებში
ინდოეთი	846 000
ბრაზილია	632 000
ავსტრალია	595 000
აშშ	595 000
ეგვიპტე	380 000
თურქეთი	374 000
ვენესუელა	300 000
კანადა	172 000
რუსეთი	155 000
სამხრეთ აფრიკა	148 000
ჩინეთი	100 000
ნორვეგია	87000
გრენლანდია	86 000
ფინეთი	60 000
შვედეთი	50 000
ყაზახეთი	50 000
სხვა ქვეყნები	1 725 000
მთელს მსოფლიოში	6 355 000

ამ ცხრილში მოყვანილი თორიუმის ძირითადი რესურსები დაკავშირებულია მონაციტის ქვიშრობულ საბადოებთან ინდოეთში, ბრაზილიაში, ავსტრალიაში, აშშ-ში, ეგვიპტესა და ვენესუელაში. თორიუმის მეორე ძირითადი რესურსები შესაძლებელია მოპოვებულ იქნეს როგორც მეორადი პროდუქტები კარბონატიტებიდან, იშვიათი მიწაელემენტების ექსტრაქციის დროს. ასეთ მოპოვებას

ახორციელებს მაგალითად ჩინეთი, გრენლანდია, ნორვეგია, ფინეთი და შვედეთი.

თორიუმის სხვა მნიშვნელოვანი რესურსები დაკავშირებულია ურანის საბადოებთან. მაგალითად კანადაში, აშშ-ში, სამხრეთ აფრიკასა და ყაზახეთში. აღსანიშნავია ყაზახეთის მაგალითი, სადაც ურანის საბადოში არის, როგორც ურანის, ასევე იშვიათი მიწაელემენტებისა და თორიუმის მადნები.

გარდა ამ ცხრილში მოყვანილი თორიუმის მარაგებისა, ბუნებრივია არსებობს ის მარაგებიც, რომლებიც პატარა ქვეყნებს გააჩნია მთელს მსოფლიოში. ბოლო შეფასების მიხედვით, ეს მარაგები საშუალოდ 32% შეადგენს (ნახ. 1. 5). ამასთან ერთად, არსებობს ის მარაგებიც, რომლებიც ჯერ კიდევ არაა გამოვლენილი და დაძიებული. თუ ამ არგუმენტებს გავითვალისწინებთ, მაშინ მთელი მსოფლიოს თორიუმის მარაგები ზოგადად შეიძლება შეფასდეს დაახლოებით 10 მილიონი ტონით.



ნახ. 1.5. მსოფლიო ქვეყნების თორიუმის მარაგები 2018 წლის სტატისტიკა.)

თორიუმის ფასები. ზემოთ აღნიშნული მიზეზების გამო, თორიუმისა და მისი შენაერთებით ვაჭრობა ხდება მხოლოდ მცირე გარიგებებით. ურანისგან განსხვავებით, არ არსებობს თორიუმის საერთაშორისო ბაზარი, სადაც მოხდებოდა მისი ფასების განსაზღვრა. ამიტომ, თორიუმის ყიდვა-გაყიდვა ხორციელდება მხოლოდ მყიდველსა და გამყიდველს შორის შეთანხმებული ფასებით (მაგ., **Rognvald, 2013**).

გასული საუკუნის 70-იანი წლებში თორიუმზე და მის შენაერთებზე ფასები ძალიან ნელა იზრდებოდა. ამ პერიოდში თორიუმის ნიტრატის ფასი, რომელსაც შესადუღებელ აპარატურებში იყენებენ, კილოგრამზე მერყეობდა 6-7 აშშ-ს დოლარის ფარგლებში. 80-იან წლებში წლებში ამ შენაერთის ფასი ნელნელა იზრდებოდა და ~14 აშშ დოლარს მიაღწია 90-იანი წლების დასაწყისისათვის. 2000 წლიდან 2013 წლამდე თორიუმის ნიტრატის ფასი საგრძნობლად გაიზარდა გახდა ~27 აშშ დოლარი. თუმცა ერთი კილოგრამი სუფთა ThO_2 ფასი 2000-2005 წლებში შეადგენდა ~107 აშშ დოლარს, ხოლო 2009 წელს მკვეთრად გაიზარდა და კილოგრამი გახდა ~300 აშშ დოლარი (**Rognvald, 2013**). სამწუხაროდ, თორიუმის ამჟამინდელი ფასების შესახებ ინფორმაცია არ იძებნება, თუმცა თუ ამ ელემენტზე მომუშავე ბირთვული ელექტროსადგურების კომერციალიზაციის პროგრამა განხორციელდა, ბუნებრივია, მისი ფასი გლობალურ ბაზარზე მკვეთრად გაიზრდება.

2. ზოგადი ცნობები ურანის შესახებ

2.1. ქიმიური ელემენტი ურანი

ურანი ვერცხლისფერი ქიმიური ელემენტია, სიმბოლოთი U და ნომრით 92. მას გააჩნია უამრავი იზოტოპი, თუმცა ყველაზე გავრცელებულია ^{238}U , რომელიც მთელი ურანის მასის ~99,27% შეადგენს. ურანის ყველა იზოტოპი რადიოაქტიურია, ხოლო იზოტოპ ^{235}U -ს გააჩნია უნარი, მისი ბირთვის ნეიტრონებით დაბომბვის შემთხვევაში, დაიშალოს და გამოჰყოს უზარმაზარი ენერგია. ამ თვისების აღმოჩენის შემდეგ დაიწყო ამ ელემენტის გამოყენება, როგორც სამხედრო საქმეში, ასევე ენერგეტიკაში.

ურანი დედამიწაზე ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული ქიმიური ელემენტია, რომლის საშუალო შემცველობა დედამიწის ქერქში 2.8 გ/ტ-ს შეადგენს. იგი მასში 40 ჯერ მეტია ვიდრე ვერცხლი და 500-ჯერ მეტია ვიდრე ოქრო. როგორც ყველა სხვა ელემენტი, რომელთაც ატომური წონა რკინაზე მეტი აქვს, ისიც ბუნებრივ პირობებში ფორმირდება ზეახალი ვარსკვლავების აფეთქებისას.

2.2. ურანის მინერალები

ურანის პირველად, ყველაზე გავრცელებულ მინერალს წარმოადგენს ურანიინიტი (UO_2), თუმცა იგი უფრო ცნობილია მისი დაჟანგული (U_3O_8) სახელწოდებით - პიჩბლენდი (ნახ. 2. 1). ეს ელემენტი ქმნის უამრავ სხვა მინერალსაც და მათ შორისაა კარნოტიტი [$\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \times 1-3 \text{H}_2\text{O}$], ურანის კალიუმის მინერალი, ურანის ტიტანიანი მინერალი ბრანერიტი (UTi_2O_6), ურანის ნიობიუმის მინერალი და სხვა. ცალკე შეიძლება გამოვყოს ბრანერიტი, რომელიც ოლიმპიკ დემის გამადნების 30% შეადგენს (ავსტრალია). ურანის მეორადი მინერალები უფრო მრავალფეროვნებით ხასიათდება, მკვეთრად შეფერილია და ზოგჯერ ლუმინესენციაც ახასიათებს. მათ შორის ყველაზე გავრცელებული მინერალი გუმბიტია (საერთო ტერმინია მეორადი ურანის წყლიანი მინერალების, ისევე როგორც

მაგალითად ლიმონიტის შემთხვევაში). აღსანიშნავია, აგრეთვე, ურანის ფოსფორიანი მინერალი ოტონიტი და ურანის წყლიანი სილიკატური მინერალი კოფინიტი და სხვ.



ნახ. 2.1. ურანიიტის კრისტალების დრუზა. ტოპშამის საბადო, აშშ (Lavinsky, 2010).

2.3. ურანის საბადოები

ურანი მაგმის კრისტალიზაციის დროს განიცდის ფრაქცირებას და ხშირად გროვდება ნარჩენ მდნარებში თორიუმთან და ტუტეებთან ერთად. ეს ქიმიური ელემენტი ზედაპირულ პირობებში ძალიან მობილურია, ადვილად იხსნება გრუნტის წყლებში, გადაიტანება და ილექება. შესაბამისად ურანი ქმნის მრავალრიცხოვან გამადნებებს, როგორც ენდოგენურ, ასევე ეგზოგენურ პირობებში.

ურანის გამადნებების ყველაზე თანამედროვე და სრულყოფილი კლასიფიკაცია მოცემულია საერთაშორისო ატომური ენერგეტიკის სააგენტოს 2014 წლის „წითელ წიგნში“ (Uranium, 2014). ამ პუბლიკაციაში ურანის 15 სხვადასხვა

გენეტური ტიპის და ქვეტიპის საბადოა აღწერილი. ჩვენი ნაშრომის მიზნებიდან გამომდინარე, აქ მხოლოდ რამდენიმე მათგანს დავახასიათებთ.

პლუტონებთან დაკავშირებული. ამ ტიპის საბადოები გენეტურად დაკავშირებულია პლუტონური ქანების ფართო სპექტრთან: გრანიტებთან, ალიასკიტებთან, პეგმატიტებთან, მონცონიტებთან და სიენიტებთან. მათთან მსოფლიოს ურანის საბადოების მარაგების თითქმის 30% ასოცირდება. მათ შორის უნდა აღინიშნოს როსსინგის საბადო ნამიბიაში, ლიმაუსინგის გრენლანდიაში და პალაბორასი სამხრეთ აფრიკაში.

პლუტონურ აქტივობებთან დაკავშირებული ურანის საბადოები ორ ქვეტიპად შეიძლება დაიყოს: უშუალოდ პლუტონებთან დაკავშირებული ურანიტიტის ჩანაწინწკლებით და შემცავ ქანებში განვითარებული ურანიტიტის მინერალიზაციით. შემცავ ქანებში ურანიტიტის მინერალიზაცია შესაძლებელია განვითარდეს მძლავრ ძარღვებში (მაგ. ჯახიმოვის საბადო ჩეხეთში), ან ნაპრალებში ფორმირებული მცირე ურანიტიტის ძარღვაკების სახით, ისეთი როგორიცაა ევროპის, კანადისა და ავსტრალიის ურანის საბადოებში. ურანის ასეთი საბადოები შესაძლებელია განვითარდეს კრისტალურ დეფორმირებულ ქანებში, რომლებიც განიცდის ნატრიუმთან ან კალიუმთან მეტასომეტიზმს. ამ ტიპის ურანის საბადოებია: ილკონი რუსეთში, ზელტია ვოდი უკრაინაში, ვალჰალა ავსტრალიაში, მიშელინი კანადაში და ლიანშანგუანი ჩინეთში.

ვულკანიზმთან დაკავშირებული. ამ ტიპის საბადოები ფორმირდება ვულკანების კალდერებთან ახლოს, მჟავე და შუალედური შედგენილობის ქანებში რღვევებისა და ნაწევების ზონებში. ამ შემთხვევაში ურანის მინერალიზაცია დაკავშირებულია ძარღვებთან და ძირითადად ასოციაციამია მოლიბდენტთან და ფტორთან. ამ ტიპის მნიშვნელოვანი საბადოებია ქსიანშანი ჩინეთში, დორნოდი ყაზახეთში, გურვანბულაგი მონღოლეთში, მაურინი ავსტრალიაში და სხვ.

პოლიმეტალურ რკინისჟანგთან ბრეკჩიულ კომპლექსებთან დაკავშირებული. ურანის ამ ტიპის გამადნებებიდან მსოფლიოში ყველაზე დიდია „ოლიმპიკ დამ“-ის საბადო ავსტრალიაში, თუმცა ურანი აქ მეორადი პროდუქტია, ისევე როგორც

ოქრო. ამ საბადოს ძირითად პროდუქტს წარმოადგენს სპილენძი და რკინა, რომლებიც სივრცობრივად გავლერის კრატონის გრანიტულ ბრექჩიულ კომპლექსთან არის დაკავშირებული. ეს საბადო გადაფარულია დაახლოებით სამასი მეტრი სიმძლავრის დანალექი ქანებით.

ქვიშრობებთან დაკავშირებული. ურანის ასეთი ტიპის გამადნებები დაკავშირებულია საშუალო და მსხვილმარცვლოვან ქვიშრობებთან, რომლებიც კონტინენტურ ფლუვიალურ ან სანაპირო ზღვიურ სედიმენტაციურ პირობებში ყალიბდება. ამ პირობებში ურანი ილექება დამსხვრეულ მცენარეულ ნარჩენებზე, ზღვიურ მცენარეებზე, ვულკანური ფერფლის შრეებზე, სულფიდებზე და სხვა ნალექებზე, რომელთა საგებები წყალგაუმტარი ფიქლები ან არგელიტებია. ურანის ქვიშრობული საბადოები ქმნის მსოფლიო ურანის დათვლილი მარაგების ~28%-ს, სავარაუდო მარაგების ~40%-ს და წარმოადგენს უზბეკეთის, ყაზახეთის, აშშ-ს ძირითად ურანის რესურსებს.

აშშ-ს ურანის ქვიშრობული საბადოები ძირითადად თავმოყრილია კოლორადოს შტატში (ნახ. 2.2) და აგრეთვე მექსიკის ყურის სანაპირო დაბლობზე, საიდანაც ეს ქვეყანა ურანის ძირითადი რესურსების მოპოვებას ახორციელებს.



ნახ. 2.2. ურანის გამადნების გაშიშვლება დაკოტას ქვიშაქვებში. კოლორადოს შტატი, ქალაქ დენვერთან ახლოს (Uranium, 2014).

ზედაპირული გამადნებები. ურანის ზედაპირული გამადნებები ძირითადად წარმოდგენილია კალციტის, გიპსის, დოლომიტის, ჰალიტის და რკინის ჟანგის შემაცემენტებელი მეორადი მინერალებით. აქ ურანის მადანი წარმოდგენილია კარნოტიტით (კალიუმის, ვანადიუმისა და ურანის ჰიდროჟანგი), რომელიც ფორმირდება იქ, სადაც ფუნდამენტი (გრანიტები, ქვიშაქვები და სხვ.) მდიდარია ურანით და განიცდის ინტენსიურ გამოფიტვას. ამ ტიპის ურანის გამადნებებიდან ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი, იელირის საბადოა დასავლეთ ავსტრალიაში. ურანის ამ ტიპის სხვა მნიშვნელოვანი საბადოები აღინიშნება აგრეთვე აფრიკის კონტინენტზეც.

2.4. ურანის მოპოვება, მარაგები და ფასები

მოპოვება. 2020 წელს მსოფლიო ურანის 2/3 მოპოვა ყაზახეთმა, ავსტრალიამ და ნამიბიამ ერთად: ყაზახეთმა - 41%, ავსტრალიამ 12%, ნამიბიამ 11%. ამ წლისათვის მოპოვებული ტონების მიხედვით, ქვეყნები ასე დალაგდნენ: 1. ყაზახეთი - 19477; 2. ავსტრალია - 6203; 3. ნამიბია - 5413; 4. კანადა - 3885; 5. რუსეთი - 2846; 6. ჩინეთი - 1885; 7. უკრაინა - 744; 8. ინდოეთი - 400; 9. სამხრეთ აფრიკა - 250; 10. ირანი - 71; 11. პაკისტანი - 45; 12. ბრაზილია - 15; 13. აშშ - 6 (**Uranium, 2020**). ამ მონაცემების მიხედვით 2020 წელს მსოფლიოში სულ მოპოვებული იქნა 47731 ტონა ურანი.

მარაგები. 2020 წლის მონაცემების მიხედვით ურანის (U_3O_8) მსოფლიო მარაგები ტონებში შეადგენს: 1. ავსტრალია - 1692700 (28%); 2. ყაზახეთი - 906800 (15%); 3. კანადა - 564900 (9%); 4. რუსეთი - 486000 (8%); 5. ნამიბია - 448000 (7%); 6. სამხრეთ აფრიკა - 320900 (5%); 7. ბრაზილია 273800 (5%); 8. ნიგერია - 276400 (4%); 9. ჩინეთი - 248900 - (4%); 10. მონღოლეთი - 143000 (2%); 11. უზბეკეთი - 132300 (2%) 12. უკრაინა - 108700 (2%); 13. ბოცვანა - 87200 (1%); 14. ტანზანია - 58200 (1%); 15. იორდანია - 52500 (1%); 16. აშშ - 47900 (1%); სხვა ქვეყნები - 295800 (5%) (**Uranium, 2020**). ამ მონაცემების მიხედვით, ურანის მთელი მსოფლიოს მარაგები 2020 წლის

ბოლოსათვის შეადგენდა 6147800 ტონას, რაც დაახლოებით იმდენივეა, რამდენიც თორიუმი იყო დათვლილი 2014 წლისათვის, კერძოდ 6 355 000 ტონა.

ფასები. თორიუმისგან განსხვავებით არსებობს ურანის გლობალური ბაზარი, სადაც ხდება მისი ფასების ყოველდღიური განსაზღვრა. მაგალითად, დღეს 2022 წლის 22 იანვარს, ურანის (U_3O_8) ერთი ტროას უნციის (31,1 გრამი) საერთაშორისო საბაზრო ფასი არის 46 აშშ დოლარი, ანუ ერთი კილოგრამი ღირს 1480 აშშ დოლარი. ეს ღირებულება დაახლოებით 5-ჯერ მეტია, ვიდრე თორიუმის ფასი ამ პერიოდისათვის. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებასაც, რომ თორიუმი ურანთან შედარებით 3-4-ჯერ მეტ ენერგიას გამოიმუშავებს და აგრეთვე მის სხვა მნიშვნელოვან უპირატესობებსაც, მაშინ გასაგები გახდება თუ რა დიდი პერსპექტივა გააჩნია ამ საწვავზე მომუშავე ენერგეტიკის განვითარებას ჩვენი ცივილიზაციისათვის.

3. თორიუმის რეაქტორები: ამბიციური ახალი ბირთვული ენერჯეტიკა?

თორიუმის, ისევე, როგორც ურანის ბირთვული რეაქტორების საწვავად გამოყენების იდეას მეორე მსოფლიო ომის შემდეგ ჩაეყარა საფუძველი. თორიუმზე მომუშავე პირველი ბირთვული რეაქტორი (MSRE) გასული საუკუნის 60-იან წლებში აშშ-ში, ოაკ-რიჯის ნაციონალურ ლაბორატორიაში შექმნეს. მან გამართულად იმუშავა 1965 წლიდან 1969 წლის ჩათვლით და მუდმივად გამოიმუშავებდა ელექტროენერგიას. 1968 წელს ნობელის პრემიის ლაურეატმა, პლუტონიუმის პირველად მომჩენმა გლენ სიბორგმა განაცხადა, რომ ამ რეაქტორმა წარმატებით გაიარა ტესტირება (Humphrey, Khandaker, 2018). მიუხედავად აღნიშნულისა, 1973 წელს აშშ-ის მთავრობამ ეს პროგრამა დახურა, რადგანაც გაირკვა, რომ გამომუშავებული თორიუმის ნარჩენებისგან ატომური ბომბის დამზადება შეუძლებელი იყო. თანამედროვე მეცნიერთა დიდ ნაწილს მიაჩნია, რომ თორიუმზე მომუშავე ბირთვული ელექტროსადგურების პროგრამის დახურვა კაცობრიობის გამოუსწორებელი შეცდომა იყო (მაგ., Moir, Teller, 2003; Jacoby, 2009).

მსოფლიოში შექმნილი ენერგოკრიზისის გამო, 1996 წელს, თორიუმის, როგორც ბირთვული საწვავის შესწავლა განაახლა საერთაშორისო ატომური ენერჯის სააგენტომ (IAEA), ხოლო 1997 წელს აშშ-ს ენერჯეტიკის დეპარტამენტმა. მას შემდეგ, რაც ცნობილი გახდა თორიუმის დიდი ენერგოშესაძლებლობები და რადიაციული დაბინძურების ნაკლები საშიშროება, მსოფლიოს განვითარებულმა ქვეყნებმა (გერმანია, აშშ, საფრანგეთი, ინგლისი, იაპონია და სხვ.) და მათ შორის ინდოეთმა და ჩინეთმაც, დაიწყეს ინტენსიური მუშაობა თორიუმის ბირთვული რეაქტორების შექმნაზე. წარმატება მნიშვნელოვანია და არაა გამორიცხული, რომ ამ რეაქტორებმა უახლოეს 30-50 წელიწადში მთლიანად ჩაანაცვლოს ურანზე მომუშავე ატომური ელექტროსადგურები აღნიშნულ ქვეყნებში (Wored magazine, 2009).

ამჟამად განვითარებული ქვეყნები დიდ იმედებს ამყარებენ თორიუმის ენერჯიაზე და შეიძლება ითქვას გარკვეული „მისტერიაცაა“ შექმნილი მისი შესაძლებლობების ირგვლივ. მაგალითად ავტოკონცერნი „კადილაკი“, ამჟამად, ამუშავებს თორიუმის საწვავზე მომუშავე ავტომობილის კონცეფციას. ამ კონცერნის ხელმძღვანელობის განცხადებით, ისინი ცდილობენ შექმნან თორიუმის ბირთვულ ენერჯიაზე მომუშავე ისეთი ავტომობილი, რომელის მუშაობასაც 100 წლის განმავლობაში უზრუნველყოფს 8 გრამი თორიუმი (**AutoBlog, January 13, 2009**). გარდა ამისა, როგორც სხვადასხვა წყაროებიდან გახდა ცნობილი **NASA** უკვე ქმნის კოსმოსური ხომალდებისთვის თორიუმზე მომუშავე ძრავების ახალ ტიპს. ამასთან ერთად, მეცნიერები ამუშავებენ თორიუმის პლაზმურ აკუმულატორების სრულიად ახალ ტიპს, რომელსაც შესაძლებლობა ექნება შეინახოს ელექტროენერჯიის უზარმაზარი რაოდენობა. მაგალითად თუ ასეთი აკუმულატორი ექნება ჩვენს მობილურს, მას არ დასჭირდება დატენვა ერთი წლის განმავლობაში. ასეთი აკუმულატორების შემთხვევაში ადვილი წარმოსადგენია თუ როგორ შეიცვლება ჩვენი ცხოვრება და როგორ ამაღლდება ადამიანთა კეთილდღეობა.

აღსანიშნავია, რომ ეს სამუშაოები მკაცრად გასაიდუმლოებულია და ყველა ქვეყანა თორიუმის გამოყენების ახალ ტექნოლოგიებს დამოუკიდებლად ამუშავებს. როგორც ჩანს, ამ ტექნოლოგიების სრულყოფას ჯერ კიდევ გარკვეული დრო დასჭირდება. მიუხედავად ამისა, თორიუმის უზარმაზარი ენერგეტიკული შესაძლებლობები უკვე ნათელია და მისი „მოთვინიერება“ მასში ჩადებულ ინვესტიციებზეა დამოკიდებული.

ამასთან ერთად, ატომური ენერგეტიკის ცნობილი ექსპერტი, საერთაშორისო ატომური ენერგეტიკის სააგენტოს (**IAEA**) ყოფილი ხელმძღვანელი, ჰანს ბლიკსი, მოუწოდებს სახელმწიფოებს, რომ გააფართოვონ თორიუმის ტექნოლოგიური კვლევა და აცხადებს: „თორიუმის ვარიანტი მსოფლიოს სთავაზობს არა მარტო ახალ მდგრად საწვავს, არამედ მას თუ როგორ გამოვიყენოთ ენერგეტიკული ფასეულობანი“ (**CERN conference, 2013**).

აღნიშნული თვისებების გამო, დღეს მსოფლიოს განვითარებული ქვეყნები, აშშ, დიდი ბრიტანეთი, გერმანია, საფრანგეთი, იაპონია და მათ შორის ჩინეთი და ინდოეთიც, ინტენსიურად მუშაობენ თორიუმის ბირთვული რეაქტორების ტექნოლოგიურ გაუმჯობესებაზე. საერთაშორისო ატომური ენერჯეტიკის სააგენტოს მონაცემებით, ამჟამად, თორიუმის შვიდი ტიპის ბირთვულ რეაქტორზე მიმდინარეობს მუშაობა. პირველ რიგში ესაა თხევადი ფტორიდულ-თორიუმის ბირთვული რეაქტორები (LFTR), რომლებიც დაბალტემპერატურული რეჟიმის პირობებში მუშაობს და რომლებიც უფრო საიმედოა სხვებთან შედარებით (მაგ., **Jacoby, 2009**). ვინაიდან ჩვენი პუბლიკაციის ძირითად მიზანს წარმოადგენს არა ბირთვული რეაქტორების გაცნობა, არამედ საქართველოს თორიუმის რესურსების შეფასება, ამიტომ, აქ დეტალურად არ დავახასიათებთ თორიუმზე მომუშავე რეაქტორებს და მხოლოდ მცირე ინფორმაციით შემოვიფარგლებით, რამდენიმე ქვეყნის მაგალითზე.

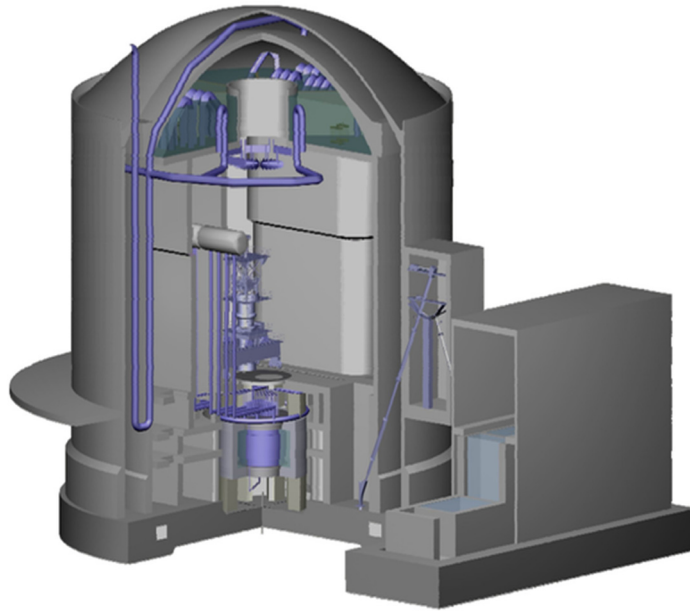
ჩინეთი. ამჟამად ჩინეთში მუშაობს ურანის ტრადიციულ საწვავზე მომუშავე 55 ბირთვული ელექტროსადგური, მათ შორის მსოფლიოში ყველაზე მძლავრი თაიშანის. მიუხედავად ამისა, 2011 წელს მეცნიერებათა აკადემიის წლიურ სხდომაზე ჩინეთმა განაცხადა რომ იწყებს თორიუმის ბირთვული რეაქტორების შექმნაზე მუშაობას. ამ პროგრამის განხორციელებისათვის მთავრობამ გამჰყოფა 400 მილიონი დოლარი და დაასაქმა 400 თანამშრომელი. ჩინეთმა დაიწყო თხევადი ფტორიდულ-თორიუმის ბირთვული რეაქტორების დახვეწა, რომლის ტექნოლოგიაც შეიძინა აშშ-ს ოაკ-რიჯის (**Oak Ridge**) ნაციონალური ლაბორატორიიდან.

ამ მიმართულებით ათი წლის შემდეგ, ჩინეთმა უდიდეს წარმატებას მიაღწია. 2021 წლის 24 ივნისს ამ ქვეყნის ხელისუფლებამ ოფიციალურად განაცხადა, რომ გობის უდაბნოში მშენებარე თორიუმის ატომური ელექტროსადგური დამთავრდება გრაფიკის მიხედვით, ხოლო გამოცდები დაიწყება სექტემბერში. ეს რეაქტორი წარმოადგენს იმ გეგმის პირველ ეტაპს, რომლის მიხედვითაც 2060 წლისათვის ჩინეთი უნდა გახდეს ნახშირორჟანგ-ნეიტრალური ქვეყანა (**Smriti,**

2021). ეს ქვეყანა იმედოვნებს, რომ 2030 წლისათვის ქვეყანაში დაამთავრებს თორიუმზე მომუშავე კომერციული ბირთვული ელექტროსადგურების მშენებლობას და ამავე დროს, ანალოგიური სადგურების შექმნას დაიწყებს იმ 30 ქვეყანაში, რომლებიც მონაწილეობენ ჩინურ ინიციატივაში „ერთი სარტყელი, ერთი გზა“ (Smriti, 2021).

ინდოეთი. როგორც წინა თავებში აღვნიშნეთ, ინდოეთს გააჩნია მსოფლიოში თორიუმის ყველაზე დიდი და ურანის შეზღუდული მარაგები. ინდოეთის ხელისუფლება იმედს გამოთქვამს, რომ 2050 წლისათვის ქვეყანაში გამომუშავებული ელექტროენერჯის 30% -ის გენერაცია განხორციელდება თორიუმზე მომუშავე ბირთვულ ელექტროსადგურებში.

2014 წლის თებერვალში ატომური კვლევების ცენტრში (BARC), მუმბაიში ინდოეთმა სატესტო რეჟიმში წარმოადგინა ახალი პროექტის „შემდგომი თაობის თორიუმის ატომური რეაქტორი“, ე.წ. მძიმე წყლის სრულყოფილი რეაქტორი (AHWR) (ნახ. 3.1). მისი მახასიათებლებია: ტიპი - ვერტიკალური, მაღალი წნევის, მილისებრი; სიმაღლე - 39 მ; მსუშბუქი წყლის ცირკულაცია 70 ატმოსფეროსა და 285⁰ C ტემპერატურის რეჟიმის პირობებში; სიმძლავრე - 920 MW; ამჟამად ელექტრო ენერჯის გამომუშავების რეჟიმი - 330 მეგავატია (MW); მუშაობის ხანგრძლივობა - 100 წელი. აღსანიშნავია, რომ ეს რეაქტორი წელიწადში მოიხმარს სულ 25 ტონა თორიუმს. კონსტრუქტორების ინფორმაციის მიხედვით, ამ რეაქტორს, ოპერატორის გარეშე, შეუძლია იმუშაოს 120 დღის განმავლობაში. საინტერესოა, რომ დოქტორ კ. სინხის განცხადებით ასეთი პროექტების განხორციელება შესაძლებელია ისეთ დასახლებულ პუნქტებშიც, როგორცაა, მაგალითად, მუმბაი და დელი (Marin, 2014).



ნახ. 3.1. ინდური კონსტრუქციის თორიუმის საწვავზე მომუშავე ე.წ. მძიმე წყლის სრულყოფილი რეაქტორის (AHWR) მოდელი (Edwards, 2014).

2020 წლის მონაცემებით, ინდოეთში ატომური ელექტროსადგურებიდან მიიღება ელექტროენერჯის მხოლოდ 2%, ხოლო დანარჩენი მოდის ქვანახშირზე (60%), ჰიდროელექტროსადგურებზე (16%), სხვა განახლებად ენერგეტიკაზე (12%) და ბუნებრივ აირზე (9%). 2015 წელს ამ ქვეყნის ატომური ენერგეტიკის კომისიის თავმჯდომარემ განაცხადა რომ „ინდოეთს გააჩნია ენერგეტიკული დამოუკიდებლობის ობიექტური ამბიცია, რომელიც დაფუძნებულია მის თორიუმის უზარმაზარ რეზერვებზე“ (Fuel for India's nuclear ambitions", 2017). ამჟამად, ინდოეთი აშენებს თორიუმზე მომუშავე 62 რეაქტორს, რომლებიც როგორც დაგეგმილია, ექსპლოატაციაში უნდა შევიდეს 2025 წლისათვის.

აშშ და კანადა. ეს ქვეყნები წარმატებით თანამშრომლობენ ატომური ინდუსტრიის სფეროში. აშშ-ს ენერგეტიკის სამინისტრო ინვესტიციებს ახორციელებს კანადური თხევადი ფტორიდულ-თორიუმის რეაქტორების შექმნასა

და დახვეწაში. ამასთან ერთად, ამ ტექნოლოგიის განვითარებისათვის კანადის ხელისუფლებამ, მარტო 2020 წელს, 20 მილიონი დოლარი გამოჰყო (**Cona, 2022**).

კანადა ფლობს CANDU-ს თანამედროვე ატომურ რეაქტორებს (CANDU-კანადა, U-ურანიუმი), რომლებიც ამ ქვეყნის ენერგეტიკის სიამაყეს წარმოადგენს. მსოფლიოს ატომური ენერგეტიკის ასოციაციის მონაცემებით, მსოფლიოში ასეთი ტიპის 48 ბირთვული ელექტროსადგური არსებობს, რომელიც მძიმე წყალზე მუშაობს (PHWR ტიპის). ამ სადგურებიდან 19 CANDU PHWR რეაქტორი მოქმედებს კანადაში, რომელიც საერთო ჯამში 14 მილიონ კილოვატ ელექტროენერჯიას გამოიმუშავებს. აღსანიშნავია, რომ საერთაშორისო ენერგეტიკის სააგენტოს მონაცემებით, ჰიდრო და ბირთვული ენერგეტიკების ერთობლიობის გამო, კანადის ელექტროენერჯიის სისტემა მსოფლიოში ყველაზე სუფთაა.

აღსანიშნავია, რომ კანადურ ატომურ რეაქტორებს გააჩნია CANDU/PHWR ურანიანი ბირთვული საწვავის 50 სმ სიგრძისა და 10 სმ დიამეტრის ზომის მაღალტექნოლოგიური ტიგელები (ნახ. 3.2). ამ ტიგელების უპირატესობა იმაშია, რომ მათში შესაძლებელია ურანი ნაწილობრივ ან მთლიანად ჩანაცვლდეს თორიუმით, ისე, რომ ატომურ რეაქტორებს რეკონსტრუქცია არ დასჭირდეს (**Sahin et al., 2006**). 2013 წელს კანადამ განაცხადა, რომ დაიწყებს ამ ტიგელებში ურანის თორიუმით ჩანაცვლების პროექტზე მუშაობას.



ნახ. 3.2. კანადური CANDU/PHWR რეაქტორის ბირთვული საწვავის ტიგელები, რომლებშიც შესაძლებელია ურანი ჩანაცვლდეს თორიუმით (**Whitlock, 2007**).

ასეთი საწვავის ტიგელები დამუშავდა აშშ-ში სუფთა თორიუმის ბირთვული ენერჯის კომპანიაში (**Clean Core Thorium Energy**), რომელთაც შეუძლია გაზარდოს ბირთვული რეაქტორების სიმძლავრე და ამავე დროს, მუშაობის შემდეგ, გაცილებით მცირე ნარჩენები მიიღოს. ასეთი ტიპის ტიგელებში (Advanced Nuclear Energy for Enriched Life-ANEEL) „მოწინავე ბირთვული ენერჯია გაუმჯობესებული სიცოცხლისთვის“, თორიუმი შერწყმულია დაბალგამდიდრებულ ურანთან. ვფიქრობთ, ასეთი ტიგელების შექმნა მნიშვნელოვანია, ვინაიდან მომავალში ხელს შეუწყობს თორიუმზე მომუშავე ბირთვული რეაქტორების განვითარებას. მაგალითისათვის, 2018 წელს ენერჯეტიკული გადაწყვეტილებების ნიუ ბრუნვიკის კორპორაციამ (New Brunswick Energy Solutions Corporation) დაიწყო მცირე ზომის კომერციული ბირთვული ელექტროსადგურების შექმნაზე მუშაობა, რომლებიც იმუშავენ ANEEL-ის ტიპის საწვავის ტიგელებზე. ექსპერტების საერთო აზრით, ასეთი ტიპის ბირთვულ ელექტროსადგურებს დიდი პერსპექტივა ექნება მომავალში.

ევროპაში ბირთვული ენერჯეტიკის განვითარების საკითხი დისკუსიურია. გერმანიამ, ფუკუშიმას ტრაგედიის შემდეგ თანდათან დაიწყო ატომური ელექტროსადგურების დახურვა. საფრანგეთი მხარს უჭერს თორიუმის ატომური ენერჯეტიკის განვითარებას, ვინაიდან, მისი ურანზე მომუშავე ბირთვული რეაქტორები ნახევარი საუკუნის არის და შესაბამისად უკვე მოძველდა. თურქეთში სულ ახლახანს აღმოაჩინეს თორიუმისა და იშვიათი ელემენტების უზარმაზარი საბადო და ეს ქვეყანა გეგმავს ააშენოს რამდენიმე ახალი ბირთვული ელექტროსადგური, რომლებიც თორიუმზე იმუშავენ. ჰოლანდიის მთავრობამ განაცხადა, რომ CO₂ ემისიის შესამცირებლად ქვეყანაში აუცილებელია თორიუმის ატომური ენერჯეტიკის განვითარება.

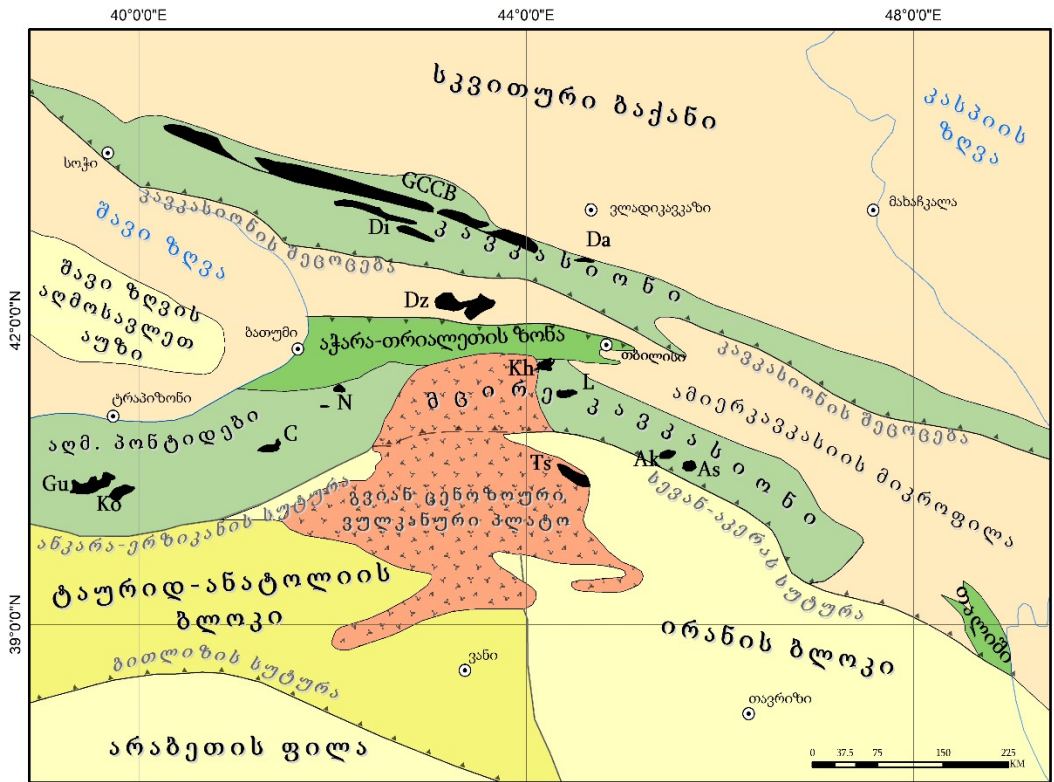
რაც შეეხება სხვა ქვეყნებს, თორიუმის ენერჯეტიკულ პროგრამაზე თითქმის ყველა განვითარებული ქვეყანა მუშაობს. თუმცა, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ასეთი სამუშაოები მკაცრადაა გასაიდუმლოებული, რის გამოც, სანდო ინფორმაციები არ არსებობს. ერთი კი ცხადია, რომ ამ პროგრამაზე მუშაობისას ქვეყნები

დაწვევით. მაგალითად, ინდოეთი და იაპონია, კანადა და აშშ, გერმანია და თურქეთი და ა. შ. როგორც სხვა სფეროებში, აქაც, დამოუკიდებლად მუშაობენ ჩინეთი და რუსეთი.

ამრიგად, თუ გავანალიზებთ თორიუმის ატომურ ენერგეტიკულ პროგრამაზე მუშაობის ტენდენციებს მსოფლიოში, მაშინ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სრულიად შესაძლებელია კომერციული ტექნოლოგიურად სრულყოფილი თორიუმის ატომური რეაქტორების შექმნა. ეს კი მოგვცემს იმის საშუალებას, რომ კაცობრიობა, დაახლოებით 40-50 წლის შემდეგ, შეძლებს ნახშირწყალბადების ენერგეტიკა ჩაანაცვლოს თორიუმის ენერგეტიკით. თუმცა, ამ გზაზე გარდა ტექნოლოგიური პრობლემებისა არსებობს სხვა მნიშვნელოვანი ბარიერებიც. პირველ რიგში, ეს არის ნავთობის, აირისა და ქვანახშირის ინდუსტრია, რომელთა მესვეურებიც, გასაგები მიზეზების გამო, არანაირად არ არიან დაინტერესებულნი თორიუმის საწვავზე დაფუძნებული ენერგეტიკის განვითარებით და ყველა საშუალებით ცდილობენ მის შეფერხებას.

4. საქართველოს გეოლოგიური აგებულების მოკლე მიმოხილვა

საქართველო მდებარეობს კავკასიის ოროგენში, რომელიც ჩამოყალიბდა არაბეთის ფილისა და სკვითური ბაქნის ფანეროზოული კოლიზიის შედეგად. ეს ოროგენი გაჭიმულია შავსა და კასპიის ზღვებს შორის და წარმოადგენს ალპურ-ჰიმალაური ოროგენული სისტემის ცენტრალური სეგმენტის ჩრდილოეთ შემადგენელ ნაწილს (ნახ. 4.1).



ნახ. 4.1. ალპურ-ჰიმალაური ოროგენული სისტემის არაბეთის ფილისა და სკვითეთის ბაქნის კოლიზიური სეგმენტის გამარტივებული სქემატური გეოლოგიური რუკა (მოდიფიცირებულია Philip et al., 1989; Gudjabidze et al., 2003; Yilmaz et al., 2000; Sosson et al., 2010, გეოლოგიური რუკების მიხედვით).

შავი ფერითი აღნიშნულია ურულისწინა კრისტალური ფუნდამენტები: GCCB-კავკასიონის; Da-დარიალის, Di-დიზის; Dz-ძირულის, Kh-ხრამის, L-ლოქის, Ak-ახუმის, As-ასკირჩაის, Ts-ცახუნიაცის, N-ნატრიკის, C-კამუკაოს; Ko-კოსეს და Gu-გუმუმანის.

კავკასიის ოროგენი რთული აგებულებით ხასიათდება, რადგანაც აქ თავს იყრის როგორც გონდვანური, ასევე ლავრაზიული ტერეინული წარმონაქმნები.

მის აგებულებაში ე. გამყრელიძე (**Gamkrelidze, 1997**) გამოჰყოფს ლავრაზიული წარმოშობის კავკასიონის, შავი ზღვა-ცენტრალურ ამიერკავკასიური და გონდვანური წარმოშობის ბეიბუთ-სევანისა და ირან-ავღანეთის ტერეინებს. ტრადიციული გეოლოგიური დარაიონების მიხედვით, კავკასიის ოროგენის აგებულებაში გამოიყოფა სამი დიდი სტრუქტურულ-ფორმაციული ერთეული: კავკასიონისა და მცირე კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცვებითი სარტყელები და მათ შორის არსებული ამიერკავკასიის მიკროფილა. საქართველოს ტერიტორია მოიცავს, როგორც კავკასიონის და მცირე კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცვებითი სარტყელების, ასევე ამიერკავკასიის მიკროფილის ნაწილებს.

კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცვებითი სარტყელი წარმოადგენს კავკასიის ოროგენის უკიდურეს ჩრდილოეთით ფორმირებულ სტრუქტურას, რომელიც შეზღუდულია კამბრიულისწინა სკვითეთის პლატფორმის სამხრეთ კიდეტან. ის ~1100 კმ მანძილზე კასპიის ზღვიდან შავ ზღვამდე, გაჭიმულია NW–SE მიმართულებით და თავის მაქსიმალურ სიმპლავრეს, ~200 კმ-ს აღწევს ცენტრალურ სეგმენტში.

კავკასიონის აგებულებაში ორი დიდი წარმონაქმნი გამოიყოფა: იურულისწინა კრისტალური ფუნდამენტი და მეზო-კაინოზოური ვულკანოგენურ-დანალექი საფარი და მათი გამკვეთი პლუტონები. კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტი წარმოადგენს რთულ, სეგმენტურ სტრუქტურას, რომელიც ძირითადად აგებულია პალეოზოური კრისტალური ფიქლებით, გნეისებით, მიგმატიტებით და გრანიტოიდებით. ის კავკასიონის მთავარი რღვევის გასწვრივ, სამხრეთით, შეცოცვებულია ქვედაიურულ თიხა-ფიქლებზე და ალპური ტექტოგენეზისის დროს დანაწევრდა რამდენიმე ტექტონიკურ ბლოკად. მიჩნეულია რომ ეს ფუნდამენტი პალეოზოურში წარმოადგენდა აქტიურ კონტინენტურ კიდეტ, რომლის ქვეშაც პალეოტეთისის ოკეანური ქერქი იძირებოდა ჩრდილოეთის მიმართულებით (მაგ., **Zaridze, Shengelia, 1978; Gamkrelidze, 1986; Гамк्रेლიძე, Шенгелия, 2005; Okrostsvavidze and Tormay, 2011; Gamkrelidze et al., 2020**).

მეზოზოურში და ადრეკაინოზოურში კავკასიონი ისევ წარმოდგენდა ჩრდილო ტეთისის აქტიურ კიდე, სადაც აკრეციული პროცესები მიმდინარეობდა სამხრეთიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით (მაგ., **Gamkrelidze, 1986**). ამ პერიოდის დანალექი საფარი ძირითადად წარმოდგენილია ქვედაიურული, მმლავრი შავი თიხა-ფიქლებისა და ქვიშაქვების სერიით, შუაიურული ვულკანოგენური ქანებითა და ქვედაცარცული კარბონატებით. ეს დანალექი საფარი შუაიურულ ეპოქაში დაისერა მმლავრი, მანტიურ-ქერქული გენერაციის პლუტონური სხეულებით (მაგ., **Дудаури, Тогоნიдзе, 2016**).

კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელს სამხრეთიდან ესაზღვრება ამიერკავკასიის მიკროფილა, რომელიც მეზო-სენოზოური საფარიდან შიშვლდება მხოლოდ კრისტალური მასივებისა და შვერილების სახით. კავკასიის ოროგენის თანამედროვე გეოდინამიკურ მოდელებში ამიერკავკასიის მიკროფილა ინტერპრეტირებულია როგორც ბლოკი, მასივი, კუნძულთა რკალი ან ტერეინი, რომელიც მდებარეობდა პალეო-ტეთისის სივრცეში (მაგ., **Gamkrelidze, 1986, 1997; Raumer et al., 2003**). ეს მიკროკოფილა მაქსიმალურადაა ამოზეგებული მის ცენტრალურ ნაწილში, სადაც ქმნის დაახლოებით 1200 კმ² ფართობის გამიშვლებას, რომელიც გეოლოგიურ ლიტერატურაში ძირულის მასივის სახელწოდებითაა ცნობილი (მაგ., **Гамкრелидзе, Шенгелиа, 2005; Okrostsvavidze and Tormay, 2013**).

ამიერკავკასიის მიკროფილას სამხრეთიდან ესაზღვრება მცირე კავკასიონის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი, რომელიც რთული სეგმენტური აგებულებით ხასიათდება. ამ სარტყელის ჩამოყალიბება განაპირობა ნეო-ტეთისური ოკენური ქერქის სუბდუქციამ ამიერკავკასიის მიკროფილის სამხრეთი კიდის გასწვრივ, შუაიურულ-ცარცული პერიოდის განმავლობაში (მაგ., **Şengör, 1984; Gamkrelidze, 1986; Rolland et al., 2010**). ამ ოკეანური აუზის პირველი ეტაპის დახურვის საზღვრები რეგიონის თანამედროვე სტრუქტურაში წარმოდგენილია იზმირ-ანკარა-ერზიკანისა და სევან-აკერას სუტურული ზონებით. ნეო-ტეთისი საბოლოოდ დაიხურა უფრო სამხრეთით, ბიტლიზ-ზაგროსის ზონის გასწვრივ გვიან-

ეოცენურისა და ადრეოლიგოცენურის განმავლობაში (მაგ., **Ballato et al., 2011; Rolland et al., 2012; McQuarrie and Hinsbergen, 2013**).

მცირე კავკასიონის მობილურ სარტყელში თავმოყრილია, როგორც ევრაზიული, ასევე გონდვანური წარმონაქმნები, რის გამოც, გართულებულია მისი სტრუქტურული ინტერპრეტაცია. მის ცენტრალურ ნაწილში, ჩრდილოეთიდან სამხრეთის მიმართულებით, გამოყოფენ სამ სტრუქტურულ-ტექტონიკურ ზონას: 1. ევრაზიული წარმოშობის სომხეთ-ყარაბახის; 2. სევან-აკერის ოფიოლიტების; 3. გონდვანური წარმოშობის სამხრეთ სომხეთის ბლოკის (მაგ., **Sosson et al., 2010; Mederer et al., 2013**). ცენტრალურ მცირე კავკასიონში სომხეთ-ყარაბახის ჩრდილოეთით არსებული გვიან-ცარცული კიდურა ნაწილი, რომელიც უშუალოდ ესაზღვრება ამიერკავკასიის მიკროფილას, გამოყოფილია ართვინ-ბოლნისის ბლოკის სახელწოდებით (**Gamkrelidze, 1986; Yilmaz et al., 2000**).

მცირე კავკასიონის უკიდურესი აღმოსავლეთი სეგმენტი წარმოდგენილია ტალიშის ზონით, რომელიც იძირება კასპის ზღვაში, ხოლო უკუდურესი დასავლეთი აჭარა-თრიალეთის, რომელიც იძირება შავ ზღვაში. მიჩნეულია, რომ ამ ზონებს მსგავსი გეოლოგიური ისტორია გააჩნიათ და ისინი ინტერპრეტირებულია, როგორც ზურგსუკანა რიფტოგენული ტროგები, რომლებიც განვითარდა გვიან ცარცულ-ეოცენურ პერიოდში ამიერკავკასიის მიკროფილის სამხრეთ კიდის გაჭიმვის შედეგად. ამ ორივე სტრუქტურაში ქერქის გაჭიმვის მაქსიმუმს ეოცენში მიაღწია. ამ პერიოდში ორივე მათგანში დაგროვდა მძლავრი ბაზალტური ვულკანურ-კლასტური მასალა, ტუფოგენური ტურბიდიტები და ტერიგენული ნალექები (**Адамия и др., 1974; Гамкრелидзе, 1974; Gamkrelidze, 1986; Lordkipanidze et al., 1989**).

რეგიონის სინკოლიზიური და პოსტკოლიზიური ევოლუციის შედეგად, ოლიგოცენ-ადრემიოცენში კავკასიის მთათაშუა ზონაში ჩამოყალიბდა დახურული და ნახევრად დახურული აუზები. ეს აუზები პარატეთისის ნაწილს წარმოადგენდა, სადაც ილექებოდა ძირითადად ტერიგენული ნალექები. არაბეთის ფილისა და სკვითური ბაქნის საბოლოო კოლიზია და კავკასიის ამოზევება

დაიწყო გვიან მოცენიდან (10-8 მლნ. წ.) და გრძელდება დღემდე (მაგ., **Gamkrelidze, 1986; Wang et al., 2015**). ამ პერიოდში ტრანსკავკასიური აზეგების ზონაში იწყება სუბაერალური ინტენსიური ვულკანური აქტივობა. უკანასკნელმა განსაკუთრებით ფართო არეალი მოიცვა სამხრეთ კავკასიაში, სადაც ჩამოყალიბდა მძლავრი ვულკანოგენურ-დანალექი საფარი ე.წ. გოდერძის ფორმაცია (მაგ., **Схиртладзе, 1959; Тутберидзе, 2004; Okrostsvardize et al., 2019**).

კავკასიაში მეოთხეული ნალექები გავრცელებულია არათანაბრად და თანამედროვე რელიეფში ძირითადად წარმოდგენილია მდინარეული და ზღვიური ტერასებით, მყინვარული მორენებით, ვულკანური ლავური ნაკადებით და პიროკლასტებით. აღსანიშნავია, აგრეთვე მთისწინეთის ფართო ტერიგენულ-აკუმულაციური წარმონაქმნები, რომლებიც ფორმირებულია როგორც კავკასიონის, ასევე მცირე კავკასიონის არეალებში (მაგ., **Цагарели, 1989**).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ამჟამადაც კავკასია ისევ კოლიზიურ რეჟიმშია, რაც განაპირობებს აქტიურ გეოლოგიურ პროცესებს: აზეგებას, მიწისძვრებს, ვულკანიზმს, მეწყრულ მოვლენებს, ინტენსიურ დენუდაციას, სედიმენტაციას და ა.შ. განხილული გეოლოგიური პროცესების შედეგად კავკასიის ოროგენში და მათ შორის საქართველოს ფარგლებშიც, ჩამოყალიბდა სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებიც.

საქართველოს ტერიტორია მდიდარია როგორც ლითონური, ასევე არალითონური სასარგებლო წიაღისეულით. მის ფარგლებში მიკვლეულია მარგანცის, ოქროს, სპილენძის, ტყვიის, თუთიის, რკინის, ალუმინის, დარიშხანის, ანთიმონიტის, ბარიტის, ცეოლითების, ბენტონიტური თიხების, დიატომიტების, ნავთობის, გაზის და სხვა სასარგებლო წიაღისეულის საბადოები (მაგ., **ოქროსცვარიძე, 2014**).

მიუხედავად საბადოების ასეთი ფართო სპექტრისა, საქართველოში რადიაქტიური და იშვიათი ელემენტების გამადნებები ჯერჯერობით მიკვლეული არაა. არსებობს მხოლოდ გასული საუკუნის 70-იან და 80-იან წლებში გეოლოგიური პარტიების მიერ ურანისა და თორიუმის ძებნაზე ჩატარებული

კვლევების ანგარიშები, რომლებშიც გამოყოფილია ამ ელემენტების მინერალიზებული უბნები. ამასთან ერთად, ეს უბნები ძირითადად პროგნოზირებულია არა ქიმიური ანალიზის შედეგად, არამედ რადიაციული ფონის მიხედვით. ეს კი ამ მონაცემებს ნაკლებ სარწმუნოს ხდის, რაც შესაბამისად საჭიროებს გადამოწმებას.

5. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებებზე არსებული ინფორმაციის ანალიზი

ვიდრე უშუალოდ საქართველოში Th მადანგამოვლინებებზე არსებული ინფორმაციის ანალიზს დავიწყებდეთ, მოკლედ შევჩერდებით მსოფლიოში არსებულ სამთო-მომპოვებელი ინდუსტრიის ზოგად ტენდენციებზე. როგორც ცნობილია 21-ე საუკუნეში გლობალურ ბაზარზე სამრეწველო, სტრატეგიული და ძვირფასი ლითონების ფასები მკვეთრად გაიზარდა და ეს ტენდენცია კვლავაც შენარჩუნებულია. ექსპერტთა საერთო აზრით, ლითონების ფასების განუხრელი მატება გამოწვეულია მათი მოხმარების მასიური ზრდით, რაც განპირობებულია მსოფლიო მოსახლეობის სწრაფი მატებით, ცხოვრების დონის ამაღლებით, ჩინეთისა და ინდოეთის მკვეთრი ინდუსტრიალიზაციითა და ურბანიზაციით.

ლითონური რესურსების ტოტალური ხარჯვა, და მათ შორის სტრატეგიულისაც, ბუნებრივია იწვევს მათი მარაგების შემცირებას, რაც ახალი ამოცანების წინაშე აყენებს გეოლოგიურ სამსახურებს. ექსპერტთა დიდი ნაწილის აზრით, უახლოეს მომავალში მსოფლიოში ლითონების დეფიციტი არ არის მოსალოდნელი, რადგანაც საბაზრომთხოვნილებები და ტექნიკური პროგრესი ხელს უწყობს სამთო-მომპოვებელი ინდუსტრიის მუდმივ განვითარებას. თუმცა, არსებობს საწინააღმდეგო აზრიც, რომლის მიხედვითაც, ლითონების დეფიციტი გარდაუვალია თუ შენარჩუნებული იქნება მისი ამჟამინდელი მოხმარების ზრდის ტენდენციები.

სამთო-მომპოვებელი ინდუსტრიის თანამედროვე მდგომარეობის ამ მოკლე ანალიზიდან ნათელია, რომ საჭიროა გაძლიერდეს ახალი გამადნებების ძებნა-ძიება და მასთან ერთად გადაფასდეს ძველი გამადნებებიც, ვინაიდან ზოგიერთმა მათგანმა, რომელიც არაეკონომიკური იყო წარსულში, თანამედროვე საბაზრო მოთხოვნილებიდან გამომდინარე და სამთო-მომპოვებელი ინდუსტრიის ტექნოლოგიური განვითარების ფონზე, შესაძლებელია საბადოთა კრიტერიუმები

დააკმაყოფილოს. სწორედ ამ რეალობის გათვალისწინებით გადავწყვიტეთ ჩვენს ქვეყანაში თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევა.

საქართველოში თორიუმის ძებნა-ძიებაზე სპეციალური სამუშაოები არასდროს ჩატარებულა, თუმცა გეოლოგიური დეპარტამენტის ზოგიერთ ანგარიშში, რომელიც ურანის ძებნას შეეხება არსებობს გარკვეული ინფორმაცია ამ ელემენტის მინერალიზაციის შესახებ. ურანის ძებნითი სამუშაოები კი გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან მოყოლებული (ცივი ომის პერიოდში), ისე როგორც მთელ ყოფილ საბჭოთა სივრცეში, საქართველოშიც ინტერსიურად მიმდინარეობდა (Алексеева и др., 1964; Нацваладзе, Гоциრიძე, 1978; Гоциრიძე и др., 1985; Турманидзе, Нацваладзе, 1991). იმ პერიოდში ეს ანგარიშები გასაიდუმლოებული იყო და შესაბამისად, ყველასთვის არ იყო ხელმისაწვდომი. ახლა კი მოგვეცა საშუალება მათი გაცნობის, თუმცა აღმოჩნდა რომ ურანისა და თორიუმის კონცენტრაციები ძირითადად გამოთვლილი იყო ქანების რადიაციული ფონის მიხედვით, რაც საშუალებას არ იძლევა ვიმსჯელოთ ამ ელემენტების ზუსტი შემცველობების შესახებ. ურანისა და თორიუმის სპექტრული რაოდენობრივი ქიმიური ანალიზი მხოლოდ რამდენიმე სინჯშია გაკეთებული ჩრდილოეთ კავკასიის კალცოვის ექსპედიციის ლაბორატორიაში, რომელიც ქალაქ ესენტუკში მდებარეობდა (Турманидзе, Нацваладзе, 1991).

გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან მოყოლებული საქართველოში, ისე როგორც მთელ საბჭოთა კავშირში, ყველა ძებნა-ძიებით გეოლოგიურ პარტიას დავალებული ჰქონდა თავის ობიექტზე ჩატარებინა ურანის გამა-რადიაციული კვლევა. 60-იანი წლების დასაწყისში ასეთი პარტიების რაოდენობამ საქართველოში 56 მიაღწია. 60-იანი წლებიდან საქართველოში უკვე მოქმედებდა სპეციალიზებული პარტიები, რომელთა ძირითადი მიზანი ურანის და პარალელურად თორიუმის ძებნაც იყო.

ერთ-ერთი პირველი წერილობითი ინფორმაცია, რომელიც საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის საცავში იძებნება და რომელშიც განხილულია

საქართველოში ურანისა და თორიუმის მასიური ძებნის შედეგები, არის **ალექსეევასა და სხვათა (1964)** ანგარიშში. ამ ანგარიშის შესავალში მიმოხილულია საქართველოში ურანის გამა-რადიაციული მასიური ძებნის შედეგები 1963 წლისათვის. ამ ანგარიშის მიხედვით, აღნიშნულ წელს, საქართველოში მუშაობდა 56 სავლე გეოლოგიური პარტია, საიდანაც 35 ახორციელებდა ურანის გამა-რადიაციულ შესწავლას. ეს შესწავლა მოიცავდა, როგორც საფეხმავლო, ასევე ჰიდროგეოლოგიურ და გამა-კაროტაჟს. კვლევის ობიექტებს წარმოადგენდა ქანების ფართო სპექტრი საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში.

ამ ანგარიშში შეჯამებულია ჩატარებული კვლევის შედეგები და გამოყოფილია საქართველოში ურანის მინერალიზაციის რამდენიმე პერსპექტიული ობიექტი, კერძოდ: მწარე-დიყის გამადნების (კახეთში), ნასახლების გამადნების (გურიაში) და ზოვრეთის წყლიანი ჰორიზონტის (იმერეთი).

ამ ანგარიშის მიხედვით მწარე-დიყის ურანის მინერალიზაცია დაკავშირებულია ამავე სახელწოდების სპილენძ-პიროტინულ მადანგამოვლინებასთან, რომელიც შიშვლდება კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე მდ. ჩელთის ხეობაში. ურანის ეს მინერალიზაცია სივრცობრივად დაკავშირებულია იურული თიხა-ფიქლების გაკვარცხულ და პირიტიზებულ ზონებთან (**Алексеева и др., 1964**). ამ ანგარიშის მიხედვით, სინჯების აღება ხდებოდა როგორც თხრილებიდან, ასევე ჩელთის მე-12 ჭაბურღილიდან. სულ შესწავლილ იქნა 2138 სინჯი, რომლებშიც მინერალიზებული სინჯების რადიაციული აქტივობა მერყეობდა 27-30 მკრ/სთ-ის ფარგლებში, ხოლო შემცველი თიხა-ფიქლების 8-15 მკრ/სთ-ის ფარგლებში. მიუხედავად ასეთი დაბალი რადიაციული ფონისა, ამ ანგარიშის მიხედვით, იმპულსური და ლუმინესენციური მეთოდებით ამ ქანების 21 სინჯში დაფიქსირდა ურანის შემცველობა 0,01-0,025%-ის ფარგლებში, 59 სინჯში - 0,006-0,009%-ის ფარგლებში, ხოლო 2058 სინჯში - 0,006%-ზე ქვემოთ. ეს მონაცემები ძალიან საინტერესო და იმედის მომცემია, ვინაიდან თუ გრამ/ტონებში გადავიყვანთ, მივიღებთ შემდეგ რიცხვებს: $0,01-0,025\% = 100-250$ გ/ტ, $0,006-0,009\% = 60-90$ გ/ტ, $0,006\% = 60$ გ/ტ. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ძირითადი

ქანებისათვის ურანის სამრეწველო კონცენტრაცია საშუალოდ 200 გ/ტ-ს შეადგენს (მაგ., **Rene, 2008**), მაშინ, გამოდის, რომ მწარე დიყის ურანის მინერალიზაცია სამრეწველო კონცენტრაციებთანაა მიახლოებული. თუმცა, ავტორები ამავე ანგარიშში აღნიშნავენ, რომ შესწავლილი ქანების რადიაციული ფონი მერყეობდა 27-30 მკრ/სთ-ის ფარგლებში, რაც გვაფიქრებინებს, რომ ურანის კონცენტრაცია, რომელიც გამოსახულია პროცენტებში, არასწორადა არის მოცემული. ვფიქრობთ, აღნიშნულ პროცენტულ მონაცემებში, ერთი ნულით მარჯვნივ უნდა გადაეწიათ, რაც რეალურს გახდიდა ამ რიცხვებს. შესაბამისად ეს მოცემულობა საშუალებას არ გვაძლევს ვენდოთ ამ მონაცემებს. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ გაუგებარია თუ რატომ განსაზღვრავდნენ საქართველოს გეოლოგიურ დეპარტამენტში ურანისა და სხვა მცირე ელემენტების კონცენტრაციებს პროცენტებში, მაშინ როცა მთელ მსოფლიოში იგი გრამ/ტონებში გამოისახება. აქვე გვსურს აღვნიშნოთ, რომ ეს წიგნი ფაქტობრივად დაწერილი იყო, როცა საშუალება მოგვეცა ახლად შექმნილი, ამერიკული წარმოების, POLIMASTER-ის რადიაციული დოზიმეტრით გადაგვემოწმებინა მწარე დიყის ურანის მინერალიზაცია. ამ მინერალიზაციის შტოლნის შესასვლელში, აღნიშნულმა დოზიმეტრმა მაქსიმალური რადიაციული ფონი დააფიქსირა 0.30 მიკროსივერტი საათში ($\mu\text{Sv/h}$), თუმცა, გამოსცემდა ხმოვან სიგნალს, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ქანებში გაზრდილია ურანის ან თორიუმის კონცენტრაცია. აღსანიშნავია, რომ ასეთივე რადიაციული ფონი დააფიქსირა გერმანული წარმოების რადიაციულმა დოზიმეტრმა FAG-FH40F2. აღნიშნულის გამო, ჩვენი აზრით, ამ ქანებში ამაღლებულია არა ურანის, არამედ თორიუმის კონცენტრაცია, ვინაიდან თორიუმს არ გააჩნია მაღალი რადიაციული ფონი, თუმცა დოზიმეტრმა დააფიქსირა ეს ანომალია.

ამავე ანგარიშში ასევე პროცენტებშია მოცემული ურანის შემცველობები ნასახლების გამადნების აღწერის დროსაც. მაგალითად მე-2 შტოლნის შემთხვევაში, სადაც რადიაციული ფონი მაქსიმალურ 31 მკრ/სთ აღწევს, სინჯის ქიმიური ანალიზის მიხედვით, მოცემულია, რომ ურანის კონცენტრაცია 0,01%-ის

ფარგლებშია (Алексеева и др., 1964). როგორც ჩანს, აქაც იგივე უზუსტობაა, როგორც მწარე დიყის გამადნების შემთხვევაში, ვინაიდან 0,01% შეესაბამება 100 გ/ტ-ს, მაშინ როცა 100 გ/ტ ურანის კონცენტრაციის შემთხვევაში, რადიაციული ფონი გაცილებით მაღალი უნდა იყოს, ვიდრე 31 მკრ/სთ-ში. აღნიშნული საექვო მონაცემების გამო შეუძლებელია დაეყრდნო ამ ანგარიშში მოცემულ მონაცემებს, რის გამოც, შევწყვეტთ მის განხილვას.

1978 წელს საქართველოს გეოლოგიურ სამმართველოში წარმოდგენილ იქნა კ. ნაცვალაძისა და კ. გოცირიძის ანგარიში (1978), რომელშიც შეჯამებული იყო 1975-1977 წლების განმავლობაში ოკრიბის აზეგების დასავლეთ პერიფერიაზე ურანის ძებნის სამუშაოები. ამ ანგარიშში მნიშვნელოვანი შედეგებია განხილული და ინტერპრეტირებული, ხოლო მეტალების პროცენტული შემცველობები შესაბამისობაშია გაანალიზებული ქანის რადიაციულ ფონთან.

ამ ანგარიშის მიხედვით, პარტიის მიერ გამოვლენილ იქნა მუხურის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინება. იგი მდებარეობს სოფელ მუხურის ჩრდილო-დასავლეთით, ქალაქ ტყიბულიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთით 4,5 კმ.-ში, მუხურის უღელტეხილის დასაწყისში. გეოლოგიურად ეს რაიონი წარმოადგენს ოკრიბის აზეგების აღმოსავლეთ დაძირვის ზონას, რომელიც აგებულია ბათური და ქვედა ცარცული ნალექებით. აქ უძველესი ქანები წარმოდგენილია ბათური ასაკის ალევროლითებითა და ქვიშაქვებით, რომელთაც ზემოთ ჭრილში მოჰყვება ტყიბულის ქვიშაქვების ქვანახშირიანი წყება.

მუხურის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინება დაკავშირებულია ტექტონიკურ რღვევასთან, რომელიც ქმნის 250 მეტრი სიგრძისა და 25 მეტრი სიგანის მსხვრევის ზონას, რომლის ზედაპირზეც რადიაცია მერყეობდა 40-600 მკრ/სთ-ის ინტერვალში, ხოლო თხრილებში - 65-2000 მკრ/სთ-ის ინტერვალში. სპექტრომეტრული ანალიზის მიხედვით, ამ ქანებში ურანის შემცველობა საშუალოდ 200 გ/ტ-ფ ფარგლებშია, ხოლო თორიუმის - 150 გ/ტ-ის ფარგლებში. აღსანიშნავია, რომ სპექტრულმა ანალიზმა ამ ზონის ერთ სინჯში დააფიქსირა ურანის ანომალიურად მაღალი შემცველობა, კერძოდ, 520 გ/ტ (Нацваладзе,

Гоциридзе, 1978). ამ ანგარიშის მიხედვით, ეს ანომალია შემდგომი შესწავლის მიზნით გადაეცა კალცოვოს ექსპედიციას, თუმცა, სამწუხაროდ ამ ექსპედიციის ანგარიშები საქართველოში აღარ იძებნება.

მუხურის მინერალიზებულ ზონაში კალცოვოს ექსპედიციის მუშაობის შესახებ ინფორმაცია ისევ ზემოთ აღნიშნულ ანგარიშში (**Нацваладзе, Гоциридзе, 1978**) იძებნება. ამ ანგარიშის მიხედვით კალცოვოს ექსპედიციამ დეტალური ძებნა-ძიებითი სამუშაო ჩაატარა მუხურის ზონაში. კერძოდ, გამოიყენეს რადიაქტიური დასინჯვა, გაიყვანეს თხრილები და გაბურღეს რამდენიმე ჭაც. კალცოვოს ექსპედიციის მონაცემებით კი, ეს ზონა გაიდევნება 180 მ მანძილზე და ზედაპირზე რადიოაქტიურობა შეესაბამება 3000 მკრ/სთ-ში და ზოგიერთ მონაკვეთზე უფრო მაღალიც ფიქსირდება. ორმა ჭამ გადაკვეთა პროდუქტიული ფენა 20 მ.-დან - 46 მ.-მდე სიღრმის ინტერვალში, რომელშიც რადიაქტიულობა 3000 მკრ/სთ-ზე მაღალია. ერთ-ერთ ჭამი, 10 მეტრის სიღრმულ მონაკვეთში, დაფიქსირდა ურანის საშუალო შემცველობა 350 გ/ტ-ზე, ხოლო ერთ მონაკვეთზე, რომელსაც 1 მეტრი სიმძლავრე გააჩნია, ურანის კონცენტრაციამ 1500 გ/ტ-ს მიაღწია (**Нацваладзе, Гоциридзе, 1978**). კალცოვოს ექსპედიციის ანგარიშში მუხურის ურანის მინერალიზაციის შესახებ ინფორმაცია მთავრდება, სიტყვებით: „სპეციალიზებული სამუშაოები ზონაში გრძელდება“.

ამ ანგარიშის ანალიზიდან აშკარაა, რომ თუ ეს მონაცემები ჭეშმარიტებას შეესაბამება, მაშინ მუხურის ურანისა და თორიუმის მინერალიზებული ზონა საინტერესო მადანგამოვლინებაა რომელიც შემდგომ დეტალურ კვლევას საჭიროებს.

ამ ანგარიშში გარდა მუხურისა, აღწერილია, აგრეთვე, ძეძილეთის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინებაც (**Нацваладзе, Гоциридзе, 1978**), რომელიც ბალნეოგიური კურორტის, წყალტუბოს ჩრდილოეთით შიშვლდება. იგი ლოკალიზებულია ოკრიბის აზვევებაში, ძეძილეთის ანტიკლინის თაღში, ცარცულ კარბონატულ ნალექებში და მოიცავს ~10 კმ² ტერიტორიას. ამ ანგარიშის მიხედვით, ამ ზონაში გამოვლინდა ურანის მინერალიზაცია კარბონატული ნალექებისა

და მცირე მასშტაბის ჰიპობისური ტუტე ინტრუზივების (სპილიტები და ლამპროფირიტები) კონტაქტურ არეალებში (Нацваладзе, Гоциრიძე, 1978). ამ ავტორების მიხედვით, რადიაქტიურ ზონას გააჩნია 1-5 მ სიმძლავრე და გაიდენება 1,2 კმ მანძილზე. ამ ზონაში რადიაციული ფონი მერყეობს 40-220 მკრ/სთ-ში, ხოლო ურანის შემცველობა შესაძლოა იცვლებოდეს 40-დან 200 გ/ტ-ის ფარგლებში. მათი აზრით, ეს მინერალიზაცია გენეტურად დაკავშირებულია ჰიდროთერმულ პროცესებთან, რომელიც გამოიწვია ტუტე ინტრუზივების შემოჭრამ. თუმცა, როგორც ცნობილია, ტუტე მაგმატიზმთან ურანი გენეტურად არაა დაკავშირებული და შესაძლებელია ზონის მაღალი რადიაციული ფონი განპირობებული იყოს არა ურანის, არამედ თორიუმის მინერალიზაციით.

ამ ანგარიშში სხვა მნიშვნელოვანი ინფორმაციებიც არის განხილული, რომლებიც რეგიონის ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციას ეხება. მათ შორის უნდა გამოვყოთ ე. წ. წყალტუბოს რადიაციული ანომალია, რომელიც დაფიქსირდა კალცოვოს ექსპედიციის მე-5 ჭაბურღილში. ეს ჭაბურღილი გაიბურღა წყალტუბოს ტერიტორიაზე რადონიანი მე-4 წყაროს დასავლეთით 100 მეტრში. ამ ჭაბურღილმა გაკვეთა ცარცული კირქვები, ზედა იურული ფერადი წყება, ბათური ბაზალტური განფენები და შევიდა ბაიოსის პორფირიტულ წყებაში. ამ წყებაში 512-დან 809 მეტრამდე ინტერვალში დაფიქსირდა რადიაციული ანომალია 120 მკრ/სთ-ში, რაც ურანის ან თორიუმის საკმაოდ მაღალ კონცენტრაციაზე მეტყველებს. ეს ინფორმაცია ვფიქრობთ მნიშვნელოვანია წყალტუბოს რადონიანი წყლების გენეზისის ასახსნელად, რომელზედაც მოგვიანებით შევჩერდებით.

1985 წელს საქართველოს გეოლოგიურ დეპარტამენტში დაამტკიცეს გ. გოცირიძის და სხვათა (1985) ანგარიში, რომელშიც შეჯამებული იყო 1983-1985 წლების ურანის ძებნითი სამუშაოების შედეგები ხრამის მასივის აღმოსავლეთ და სამხრეთ პერიფერიაზე. ამ ანგარიშის მიხედვით, შესწავლილ ტერიტორიაზე, რომელიც დაახლოებით 140 კმ² მოიცავს, გამოიყო 13 პერსპექტიული ზონა, მათ შორის, ორი ურანისა და თორიუმის ერთობლივი მინერალიზაციით. ამ ზონების

სიმძლავრეები 0,5-1,5 მ ფარგლებში მერყეობს, ხოლო რადიაციული ფონი მერყეობს 100-400 მკრ/სთ-ში. ამ ზონებში ურანის მაქსიმალური შემცველობა 300 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის 340 გ/ტ-ს (Гоциридзе и др., 1985).

ხრამის მასივის სამხრეთი პერიფერიაზე თორიუმისა და ურანის მადან-გამოვლნებები გენეტურად დაკავშირებულია მამულოს ჰიდროთერმულ სულფიდურ მადნიან ველთან, რომელიც განვითარებულია ხრამის მასივის პალეოზოურ გრანიტებში. ეს მადნიანი ველი ~1,5 კმ სიმძლავრით გაიდევნება ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით ~8 კმ მანძილზე და სივრცობრივად დაკავშირებულია მამულო-შიხლოს სიღრმულ რღვევასთან.

ამ მადნიან ველში სულ დაფიქსირდა 10 რადიაქტიური ანომალია, მათ შორის უფრო საინტერესოა ორი: 1. ფიჭვების-ხევისა და ღრმა-ხევის. ფიჭვების-ხევის ანომალია ~0,5-1,5 სიმძლავრით გაიდევნება ~300 მეტრზე, რომელშიც რადიაცია მერყეობს 50-400 მკრ/სთ-ის ფარგლებში, ხოლო ურანისა და თორიუმის შემცველობები შესაბამისად 10-76 გ/ტ-სა და 20-34 გ/ტ-ის ფარგლებში. ღრმა-ხევის ანომალიაში რადიაცია ~180 მკრ/სთ-ის ფარგლებშია, სადაც ურანის შემცველობა ~300 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის - 80 გ/ტ-ს (Гоциридзе и др., 1985).

ხრამის მასივის აღმოსავლეთ პერიფერიაზე პალეოზოურ გრანიტებში ამ ექსპედიციის მიერ გამოყოფილ იქნა მხოლოდ სამი ანომალიურად მაღალი რადიაციული ზონა: კლდეისის, ბედიანის 1 და ბედიანის 2. ამ ზონებიდან მხოლოდ ერთი - კლდეისის ზონა იმსახურებს ყურადღებას, რომელიც მდებარეობს სოფელ ბედიანიდან ჩრდილოეთით 2 კმ-ში, წალკა-თეთრიწყაროს საავტომობილო გზის გასწვრივ. ზონაში რადიაციული ფონი მერყეობს 60-100 მკრ/სთ-ის ფარგლებში, ხოლო რენტგენულ-სტრუქტურული ანალიზის მიხედვით აქ ურანის შემცველობა 20 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის 135 გ/ტ-ს (Гоциридзе и др., 1985).

ამრიგად, როგორც ამ ანგარიშში მოცემული მასალის ანალიზიდან ირკვევა, ხრამის მასივში ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციის 13 ანომალიაა გამოყოფილი, თუმცა, პრაქტიკულ ინტერესს მხოლოდ ღრმა-ხევის ანომალიური ზონა იმსახურებს, რომელშიც ურანის შემცველობა ~300 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის - 80 გ/ტ-ს (**Гоциридзе и др., 1985**). ამასთან ერთად, აღსანიშნავია, რომ ამ ზონის დაბალი რადიაციული ფონი (180 მკრ/სთ) ამ მონაცემებს კითხვის ნიშნის ქვეშ აყენებს.

საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ფონდებში ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციაზე ბოლო ანგარიში 1991 წლით თარიღდება (**Турманидзе, Нацваладзе, 1991**). ამ ანგარიშში შეჯამებულია საქართველოს ტერიტორიაზე ურანის მასიური ძებნითი სამუშაოების შედეგები და ქანების ასაკობრივი ჯგუფების მიხედვით, გამოყოფილია პერსპექტიული უბნები. მასში ფაქტობრივად განხილულია ის ანგარიშები, რომლებზედაც ზემოთ ვისაუბრეთ და ბუნებრივია მათზე აღარ შევჩერდებით. ამასთან ერთად, მასში ძალიან ბუნდოვნად არის ჩამოთვლილი საანგარიშო პერიოდში გამოვლენილი ურანის ახალი მადანგამოვლინებები, როგორცაა სტორის, ვაკიჯვრის, მერისის, ბროლოს მთის, ტყვარჩელის და სხვ., თუმცა ისინი არ არის დახასიათებული. ასევე აღნიშნულია, რომ შეუფასებელი დარჩა ნამახვანის ურანის მადანგამოვლინება, თუმცა, არ წერია რა იყო გაკეთებული, რა ვერ შეფასდა და ა. შ.

ანგარიშის დასკვნის ბოლოში წერია, რომ ახლად ჩაბარებული ანგარიშების მონაცემების მიხედვით, შეივსო ურანის საქართველოს ტერიტორიის შესწავლის 1:500000 მასშტაბის კარტოგრამა (**Турманидзе, Нацваладзе, 1991**). ეს ჩანაწერი კი იმის მტკიცებულებაა, რომ არსებობდა საქართველოს 1:500000 მასშტაბის ისეთი სქემატური გეოლოგიური რუკა, რომელზედაც დატანილი იყო ურანის ყველა გამოვლენილი ანომალია. ბუნებრივია იქნებოდა ამ ანომალიების სიაც. საინტერესო იქნება ამ რუკისა და სიის აღმოჩენაც, რაც მნიშვნელოვანი ინფორმაციის წყარო გახდებოდა მომავალი კვლევებისათვის.

გარდა აღნიშნული ანგარიშებისა საქართველოში თორიუმისა და ურანის მინერალიზაციაზე მონაცემები არსებობს პროფესორ გ. ოდიკაძის სტატიაშიც (Одиқадзе, 1971). ამ პუბლიკაციაში კავკასიონისა და ძირულის მასივის გრანიტოიდების 70 სინჯში რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის შედეგად, განხილულია ურანისა და თორიუმის კონცენტრაციები. ამ ნაშრომში აღნიშნული ელემენტების ანომალიურად მაღალი შემცველობის უბნები არაა გამოყოფილი, თუმცა ჩატარებული კვლევის შედეგად, ავტორს მნიშვნელოვანი დასკვნები გამოაქვს, კერძოდ: 1. შესწავლილ გრანიტოიდებში ურანისა და თორიუმის საშუალო შემცველობები შესაბამისად არის 9 გ/ტ და 14 გ/ტ, რაც ამ ქანების ურანის გეოქიმიურს პეციალიზაციაზე მეტყველებს; 2. მრავალფაზიან ინტრუზიულ კომპლექსებში ურანის კონცენტრაცია პროგრესულად იზრდება ადრეული ფაზიდან გვიანდელი ფაზისკენ.

ეს დასკვნები ურანისა და თორიუმის გეოქიმიის დღევანდელი ცოდნის დონის მიხედვით იმდენად სწორია, რომ ისინი, რეგიონში, აღნიშნული ელემენტების ძებნის სახელმძღვანელო კრიტერიუმიდან კი შეიძლება მივიჩნიოთ.

მოგვიანებით ძირულის მასივის რკვიის ვარისკულ გრანიტული პლუტონის 20 სინჯში დალჰაუზის უნივერსიტეტში (კანადა) ICP-MS დანადგარზე ჩატარდა მიკროელემენტების ქიმიური ანალიზი, მათ შორის ურანისა და თორიუმის (ჩაგელიშვილი, 2006). ამ კვლევის მიხედვით, რკვიის პლუტონში ურანისა და თორიუმის კონცენტრაციები ნორმის ფარგლებშია და მერყეობს შესაბამისად 3-8 გ/ტ-დან 9-17 გ/ტ-მდე ინტერვალში.

აი ასეთია საქართველოში ურანისა და თორიუმის კონცენტრაციების კვლევის მოკლე ისტორია და შედეგები გასული საუკუნის 50-იანი წლებიდან მოყოლებული დღემდე. როგორც ამ მოკლე ანალიზიდან ვხედავთ, აღნიშნულ ელემენტებზე საქართველოში ძებნითი სამუშაოები მხოლოდ საბჭოთა პერიოდში ხორციელდებოდა, ხოლო თანამედროვე დამოუკიდებელ საქართველოში ეს სამუშაოები პრაქტიკულად შეწყვეტილი იყო.

6. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევის შედეგები

თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევის სავსე სამუშაოები დაგეგმეთ საქართველოს გეოლოგიური აგებულებისა და არსებული ინფორმაციის ანალიზისა და შეჯერების შედეგად. აღსანიშნავია, რომ თორიუმის მინერალიზაციის კვლევის პროცესში, გვერდი ვერ ავუარეთ ურანის მინერალიზაციასაც, ვინაიდან ამ ორ რადიაქტიურ ელემენტს ბევრი მსგავსი გეოქიმიური თვისება გააჩნია და რის გამოც, ხშირად ერთი და იგივე მინერალიზებულ ზონებში არის კონცენტრირებული.

განხორციელებული კვლევის შედეგად, საქართველოში გამოვლინდა, როგორც თორიუმის, ასევე ურანის ახალი მადანგამოვლინებები, რაც განაპირობა თანამედროვე მაღალტექნოლოგიური ხელსაწყოების კერძოდ, რადიოდოზიმეტრების FAG-FH40F2 და POLIMASTER და ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებული პლაზმური მასოსპექტრომეტრების (LA-ICP-MS) გამოყენებამ.

რადიოდოზიმეტრებმა საშუალება მოგვცა ველზე მიგვეკვლია მაღალი რადიაციის მქონე უბნებისათვის, ხოლო მასოსპექტრულ დანადგარებზე ერთ სინჯში, ერთდროულად, გაგვეანალიზებინა 40-ზე მეტი ქიმიური ელემენტის შემცველობა, მათ შორის, თორიუმისა და ურანის. გარდა აღნიშნულისა, ამ პროექტზე მუშაობისას შევხებთ ისეთ გეოლოგიურ მოვლენას, რომელიც განპირობებულია ურანისა და თორიუმის რადიაქტიური დაშლის გამო, კონკრეტულად კი წყალტუბოს რადონის შემცველი სამკურნალო წყლის გენეზისს.

პროექტით გათვალისწინებული ანალიტიკური სამუშაოები ჩატარდა ძირითადად კანადის ვანკუვერის ანალიტიკურ ლაბორატორია MSALABS-ში, IMS-230 მეთოდით და ამერიკის შეერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახურის, დენვერის რეგიონული ცენტრის გეოქიმიურ ლაბორატორიაში ICP-ES მეთოდით. ამ ლაბორატორიების მაღალი დონე კი მნიშვნელოვნად ზრდის ნდობას ჩატარებული კვლევისადმი.

6.1. შხარის პლუტონის U და Th მინერალიზაცია

როგორც ცნობილია, სუბდუქციის ზონებში ფორმირდება მძლავრი ფელზური მაგმური მდნარები, რომელთა პოსტმაგმური ჰიდროთერმული აქტიურობის შედეგად, ამ სტრუქტურის კონტინენტური ნაწილი ხშირად მდიდრდება სამრეწველო მეტალებით (მაგ., **Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2005; Richards, 2015; Zheng et al., 2019**). ასეთ გეოდინამიკურ რეჟიმში ყალიბდება ურანის ჰიდროთერმული ძარღვული საბადოებიც, რომლებიც მისი გლობალური მარაგების ~30%-ს ქმნის. ამ საბადოების ორ დიდ ტიპს გამოყოფენ: ბრეჭიულ-კომპლექსურს და გრანიტულ-ძარღვულს. ბრეჭიული ტიპის ურანის საბადოები დაკავშირებულია პროტეროზოულ ქანებთან (უკრაინა, ავსტრალია, აფრიკა), ხოლო ძარღვული - ზედაპალეოზოურ და მეზოზოურ გრანიტოიდებთან (ესპანეთი, საფრანგეთი, გერმანია, ნამიბია, სამხრეთი ჩინეთი). ჰიდროთერმულ-ბრეჭიული ტიპის საბადოებში ურანის შემცველობები ფართო სპექტრში 20 გ/ტ-დან 250 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს. ურანის გრანიტულ-ძარღვული ტიპის გამადნებებში ურანის კონცენტრაცია 50-200 გ/ტ-მდე ინტერვალში იცვლება და როგორც წესი მათი ფორმირება დაკავშირებულია მაგმური აქტივობის გვიან ოროგენულ ფაზებთან (მაგ., **Rene, 2012; Poujol et al., 2017; Bonnetti et al., 2017; Guoxiang et al., 2020**).

ცნობილია, რომ ურანის პირველადი გამადნებები ყალიბდება ნაწილობრივი ლღობის ან ფრაქციული კრისტალიზაციის პროცესში ფელზურ კომპონენტებში (მაგ., **IAEA report, 2018**). გრანიტებში ურანის მინერალიზაციის მნიშვნელოვანი ნაწილი დაკავშირებულია ვარისკული ოროგენების ალუმინით მდიდარ გვიანკარბონულ ძარღვებთან. ბრეჭიულ ან რღვევის ზონებში ლოკალიზებული ეს ძარღვები გვხვდება გრანიტული მასივების როგორც შიდა, ასევე პერიფერიულ სივრცეებში. ევროპაში ურანის ასეთი ტიპის საბადოები აღინიშნება ესპანეთში იბერიის მასივში (მაგ., **Villar and Moro, 1991**), საფრანგეთში არმორიკისა და ცენტრალურ მასივებში (მაგ., **Cuney et al., 1990**), გერმანიაში ბლეკ ფორისტის მასივში

(მაგ., Hofman and Eikenberg, 1991) და ჩეხეთში ბოჰემიის მასივში (მაგ., Dolniček et al., 2013). თუმცა კანადაში ურანის მნიშვნელოვანი გვიანოროგენული ძარღვული საბადოები დაკავშირებულია პროტეროზოულ გრანიტებთან (ჩრდილოეთ სასკაჩევან) (IAEA raport, 2018), ხოლო სამხრეთ ჩინეთში - იანშანიანის ოროგენის იურულ გრანიტებთან (მაგ., Zhang et al., 2019).

რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის პროექტით (FR-18-8122) დაგეგმილი საველე სამუშაოების დროს, კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის, შხარის მასივის გვიან ვარისკულ პლაგიოგრანიტებში ჩვენ მიერ აღმოჩენილ იქნა ურანისა და თორიუმის ჰიდროთემული სამრეწველო მინერალიზაცია. ამ თავში განხილულია ამ მინერალიზაციის კვლევის ნაწილი, ვინაიდან ადმინისტრაციული ბარიერების გამო, 2021 წლის საველე სამუშაოების დროს აღებული სინჯების ანალიზის გაკეთება, ჯერ კიდევ ვერ შეგძელით. მიუხედავად ამისა, მაინც გთავაზობთ ჩვენს ხელთ არსებული მასალის ინტერპრეტაციას, ვინაიდან ეს ინფორმაცია მომავალში მნიშვნელოვან დახმარებას გაგიწევს კავკასიონის კრისტალურ ფუნდამენტში ურანის ახალი მადანგამოვლინებების ძებნის პროცესში. იმ მიზნით, რომ კარგად აღვიქვათ ამ მინერალიზაციის დეტალები, ძალიან მოკლედ განვიხილოთ კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის გეოლოგიური აგებულება.

6.1.1. კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტი

კავკასიონის მეზოზოურისწინა კრისტალური ფუნდამენტი ძირითადად აგებულია კალედონური კრისტალური ფიქლებით, გნეისებით, მიგმატიტებით და მათი გამკვეთი ვარისკული გრანიტოიდული პლუტონებით (მაგ., Джавахишвили, 1973; Шенгелия., 1973; ოქროსცავარიძე, 1995; Гамკრელიძე и Шенгелия, 2005; Somin, 2011; Okrostsvaridze and Tormay, 2011; Gamkrelidze et al., 2020). ინტენსიური კოლიზიური პროცესების შედეგად, ქანთა მთელი ეს კომპლექსი მთავარი რღვევის გასწვრივ, სამხრეთით შეცოცებულია ქვედა იურულ ვულკა-

ნოგენურ-ტერიგენულ ნალექებზე. ტრადიციულად მას ოთხ დიდ სტრუქტურულ-ფორმაციულ ზონად ყოფენ: სამხრეთი ფერდის, მთავარი ქედის, წინა ქედისა და ბეჩასინის. კომპლექსური აგებულების გამო, მთავარი ქედის ზონა დაყოფილია ორ ქვეზონად: საუღელტეხილო და იალბუზის, რომლებიც ერთმანეთისგან გამიჯნულია ალიბეკ-ურუხის რეგიონული რღვევით (Gamkrelidze et al., 2020). იალბუზის ქვეზონა ძირითადად აგებულია სიალური პროფილის ქანებით, ხოლო საუღელტეხილო - ძირითადად ფემური პროფილის. ორივე ქვეზონის ქანები განიცდის LP-HT ტიპის მეტამორფულ გარდაქმნას (მაგ., Gamkrelidze, Шенгелия, 2005).

კავკასიონის კრისტალურ ფუნდამენტში ვარისკული გენერაციის პლუტონები ლოკალიზებულია როგორც საუღელტეხილო, ასევე იალბუზის ქვეზონებში. საუღელტეხილო ქვეზონაში ისინი წარმოდგენილია ძირითადად I ტიპის კვარციანი დიორიტებით, გრანოდიორიტებით და რქატყუარიანი პლაგიოგრანიტებით, ხოლო იალბუზის - S ტიპის ორქარსიანი გრანიტებით და ბიოტიტიანი პლაგიოგრანიტებით. ორივე ქვეზონაში ეს პლუტონები კვეთს ადრე პალეოზოურ გნეისურ-მიგმატიტურ ინფრასტრუქტურას (ოქროსცვარიძე, 1995).

აღსანიშნავია, რომ, როგორც გნეისურ-მიგმატიტური ინფრასტრუქტურა, ასევე ამ სტრუქტურაში ლოკალიზებული პლუტონები იკვეთება 0.3-4.5 მ სიმძლავრის პლაგიოგრანიტული ძარღვებით. ეს ძარღვები რეგიონულ მიკროკლინიზაციას არ განიცდის, რაც იმის მნიშვნელოვანი მტკიცებულებაა, რომ ისინი გვიანროგენული წარმონაქმნებია და მათი ფორმირება დაკავშირებული უნდა იყოს ფუნდამენტის გვიანროგენული გაჭიმვის პროცესთან.

როგორც ცნობილია, კავკასიონი მდიდარია ოქროს, ვოლფრამის, ანთიმონიუმის და სხვა მეტალური საბადოებით, მაგრამ ურანის მადანგამოვლინება აქ არასდროს დაფიქსირებულა. კავკასიონზე ამ მეტალზე საბჭოთა პერიოდში მიმდინარეობდა გასაიდუმლოებული ძებნა-ძიებითი სამუშაოები, რომლის შესახებ არავითარი ინფორმაცია არ მოიპოვება. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ერთადერთი პუბლიკაცია, რომელიც ეხება რეგიონში ურანისა და თორიუმის

გეოქიმიას, ეკუთვნის პროფ. გიორგი ოდიკაძეს (Одиკაძე, 1971). ამ პუბლიკაციაში ავტორი ასკვნის, რომ კავკასიონის გვიანპერცინულ გრანიტებში ურანის შემცველობა 3-5-ჯერ მეტია კლარკულთან შედარებით, ეს კი ამ ქანების ურანის გეოქიმიურ სპეციალიზაციაზე მიგვითითებს.

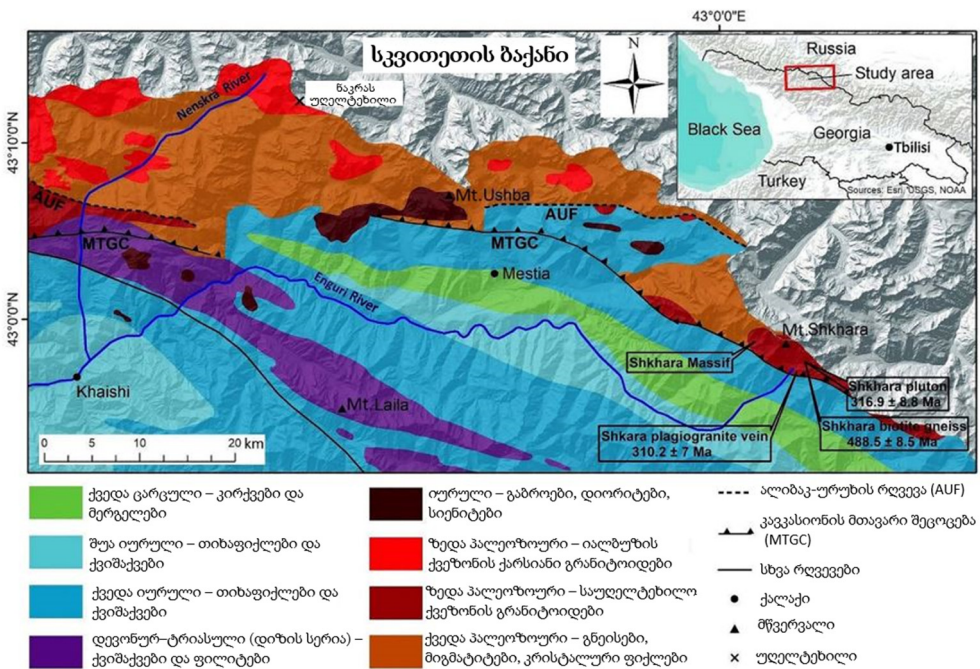
6.1.2. შხარის ვარისკული გრანიტოიდული პლუტონი

შხარის ვარისკული გენერაციის გრანიტოიდული პლუტონი შხარის პალეო-ზოური კრისტალური მასივის მნიშვნელოვანი კომპონენტია. ეს მასივი კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის ერთ-ერთი მძლავრი წარმონაქმნია და საქართველოს ტერიტორიაზე შიშვლდება მდინარეების, ენგურისა და ხალდეს სათავეებში. იგი ქმნის 15 კმ სიგრძისა და 5 კმ სიმაღლის საერთო კავკასიური მიმართების ულამაზეს ქედს (ნახ. 6.1), რომელიც ჩრდილოეთ კავკასიაში ბეზენგის კედლის სახელწოდებითაა ცნობილი. იგი აგებულია გვიანვარისკული გენერაციის მძლავრი გრანიტოიდული პლუტონით და მისი შემცველი ქვედა და შუაპალეოზოური ბიოტიტიანი კრისტალური ფიქლებით, გნეისებით და მიგმატიტებით. იგი აქტიურ ტექტონიკურ კონტაქტშია ქვედა იურულ თიხა-ფიქლებთან და სამხრეთით შეცოცებულია ამ ქანებზე (ნახ. 6. 2).

არსებული კვლევების მიხედვით, შხარის პლუტონი ინტერპრეტირებულია, როგორც მათიურ-ქერქული გენერაციის წარმონაქმნი, რომელიც ფორმირებულია კუნძულთა რკალის გეოდინამიკური რეჟიმის პირობებში (მაგ., **Okrostsvardize and Tormey, 2011**). იგი ძირითადად აგებულია ბიოტიტიანი გრანოდიორიტებით და გრანიტებით, ხოლო კვარციანი დიორიტები დამორჩილებული რაოდენობით არის წარმოდგენილი. გრანოდიორიტებში SiO_2 შემცველობა მერყეობს 67-71%-ის ფარგლებში, Al_2O_3 – 14-16%-ის, Fe_2O_3 – 3-6 %-ის, MgO – 0,5-1%-ის, Na_2O – 2.5-3,5%-ის, ხოლო K_2O – 3-4%-ის. შხარის პლუტონი ხასიათდება ბიოტიტიანი მიგმატიტებისა და გნეისების მრავალრიცხოვანი ჩანართებით, რომელთა მოცულობები ზოგჯერ რამდენიმე კუბურ მეტრს აღწევს.



ნახ. 6.1. შხარის მასივის ცენტრალური ნაწილი და მდ. ენგურის სათავეები. წინა პლანზე შუა საუკუნეების სვანური კოშკი და ლამარას ეკლესია.



ნახ. 6.2. კავკასიონის სვანეთის სეგმენტის გეოლოგიური რუკა, შხარის პლუტონის ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიის შედეგებით. რუკა მოდიფიცირებულია საქართველოს გეოლოგიური რუკის მიხედვით (Gudjbidze et al., 2003).

ეს ჩანართები ძირითადად აგებულია მინდვრის შპატებით, კვარცით, ბიოტიტით, სილიმანიტით, მუსკოვიტით, ხოლო აქცესორული მინერალები წარმოდგენილია გრანატებითა და ცირკონებით. ქანების მთელი ეს ანსამბლი განიცდის ინტენსიურ მიკროკლინიზაციას, რის გამოც, ზოგიერთ უბანზე ფორმირდება მიკროკლინიზებული გრანიტები.

შხარის პლუტონის ძირითადი ფაზის გრანოდიორიტები და მისი შემცველი ბიოტიტიანი გნეისები დათარიღებულია ცირკონების LA-ICP-MS მეთოდით (Okrostsvardize at al., 2021). ამ ნაშრომის მიხედვით შხარის პლუტონის ძირითადი ფაზის გრანოდიორიტების ცირკონების $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ შეწონილი ასაკი პასუხობს $316,9 \pm 8,8$ მლნ. წელს, ხოლო, ამ გრანოდიორიტებში არსებული ბიოტიტიანი გნეისების - $488,5 \pm 8,5$ მლნ. წელს.

შხარის პლუტონი იკვეთება სხვადასხვა სიმძლავრის (0,3-4 მ) ბიოტიტიანი პლაგიოგრანიტული შედგენილობის ძარღვებით, რომელთა იზოტოპური ასაკი განსაზღვრული არაა. ჩვენ მიერ, ერთ-ერთ ასეთ ძარღვში, პირველად დაფიქსირდა ურანისა და თორიუმის მაღალი შემცველობები. ქვემოთ გთავაზობთ ამ ძარღვის დეტალური კვლევის შედეგებს.

ვიდრე ამ ძარღვის კვლევის შედეგებს გაგაცნობთ, მოკლედ განვმარტავთ, რომ კავკასიონის კრისტალურ ფუნდამენტში პლაგიოგრანიტული ძარღვები ლოკალიზებულია მთავარი რღვევის გასწვრივ და მარკირებას უკეთებს პალეოზოურ სუტურულ ზონას. ამ რღვევის აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით ისინი შიშვლდებიან კამენისტაიას, ბეშტას, საკენის, სზგიმაზუკისა და შხარის მასივების სამხრეთ კიდეებზე. პეტროქიმიური, გეოქიმიური და თერმობარული პარამეტრების მიხედვით, ეს ქანები ინტერპრეტირებულია, როგორც სუბდუქციური ან აკრეციული ოკეანური ქერქის ნაწილობრივი ღღობის პროდუქტები (Okrostsvardize and Tormey, 2011).

6.1.3. კვლევის მეთოდები და მოპოვებული მასალა

საველე სამუშაოების დროს შხარის პლაგოგრანიტული ძარღვის რადიაციული ფონი შევისწავლეთ გერმანული წარმოების რადიოდოზიმეტრით FAG-FH40F2. ამ ძარღვიდან და მისი შემცველი ქანებიდან ქიმიური ანალიზისათვის ავიღეთ 12 სინჯი, რომელთა საშუალო წონა 3-4 კგ-ს შეადგენდა. ამ სინჯების ქიმიური ანალიზები ჩატარდა კომპლექსურად, სხვადასხვა დანადგარებსა და ლაბორატორიებში: 1) ალ. ჯანელიძის გეოლოგიურ ინსტიტუტში რენტგენო-ფლუორესცენციულ სპექტრომეტრზე (XRF2000); 2) კანადაში, MSALABS-ის ლაბორატორიაში ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულ პლაზმურ მასოსპექტრომეტრზე (LA-ICP-MS), მულტიელემენტური (48 ელემენტი) ICP-ES მეთოდით; 3) აშშ-ს გეოლოგიური სამსახურის, დენვერის რეგიონული ცენტრის გეოქიმიურ ლაბორატორიაში ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულ პლაზმურ მასოსპექტრომეტრზე (LA-ICP-MS), მულტიელემენტური (51 ელემენტი) ICP-ES მეთოდით.

გარდა აღნიშნული სამუშაოებისა თორიუმისა და ურანის შემცველი ძარღვიდან აღებულ იქნა 4,5 კგ წონის ნიმუში, საიდანაც ჩინეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიურ ლაბორატორიაში გამოირჩა 25 ცირკონის მარცვალი. ცირკონების ეს მარცვლები LA-ICP-MS U-Pb მეთოდით დათარიღდა ჩანგ-ჩენგის ნაციონალურ უნივერსიტეტში (ტაივანის დემოკრატიული რესპუბლიკა), ჩიუსა და სხვ. (2009) ანალიტიკური პროცედურის მიხედვით. დაბოლოს, პოტსდამის (გერმანიის ფედერაციული რესპუბლიკა) გომეცნიერების ცენტრის იზოტოპურ ლაბორატორიაში მიკროზონდ JEOL-JXA-8230-ზე, წერტილოვანი მეთოდით ოთხ ნიმუშში განისაზღვრა ურანისა და თორიუმის მინერალიზებული ძარღვების შედგენილობა და ასაკი.

6.1.4. კვლევის შედეგები

2020 წელს რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის პროექტით (*თორიუმი - მომავლის ენერჯია: მისი მადანგამოვლინებებისა და ფორმირების პრობემების კვლევა საქართველოში, FR-18-8122*) გათვალისწინებული საველე სამუშაოები ჩავატარეთ მდ. ენგურის სათავეებში. ამ სამუშაოების დროს, შხარის მასივის ერთ-ერთი მყინვარის მარჯვენა კარნიზზე გაშიშვლებულ პლაგიოგრანიტულ ძარღვში ($42^{\circ}.97'15''$ -N; $43^{\circ}.09'17''$ -E) დაფიქსირდა ანომალიურად მაღალი რადიაცია. ეს ძარღვი ლოკალიზებულია შხარის პლუტონის სამხრეთ კონტაქტურ არეალში, ბიოტიტიან გრეის-მიგმატიტურ კომპლექსში, კავკასიონის მთავარი რღვევის არეალში. მას გააჩნია 3-3,5 მ სიმძლავრე, გადმოხრილია სამხრეთით $55-60^{\circ}$ -ით და გაიდევნება NW-SE მიმართულებით.

6.1.4.1. რადიაციული ფონი

შხარის პლუტონის პლაგიოგრანიტული ძარღვის რადიაციული ფონი შევისწავლეთ გერმანული წარმოების რადიოდოზიმეტრით FAG-FH40F2. აღნიშნული დოზიმეტრი რადიაციას ზომავს სივერტებში (**The sievert - სიმბოლო Sv**), რომელიც არის იონიზებული გამოსხივების დოზის ერთეული საერთაშორისო სისტემის შკალაში (SI). ეს პარამეტრი ფასდება მიკრო სივერტი საათში ($\mu\text{Sv/h}$) და ამ პარამეტრის მიხედვით, ადამიანის ჯანმრთელობისთვის უსაფრთხო რადიაციული დოზის ზედა ზღვარს წარმოადგენს 0,17 მიკროსივერტი საათში (**The ICRP Recommendations, 2007**).

ამ ძარღვის ზედაპირზე საერთო რადიაციული ფონი მერყეობს 1,7-დან -2,0 $\mu\text{Sv/h}$ -ის ფარგლებში (ნახ. 6. 3), თუმცა, ზოგიერთ მონაკვეთზე ეს პარამეტრი 2,7-3,0-მდე იზრდება, ხოლო ზოგან მცირდება 1-1,2-მდე. ეს მონაცემები ბუნებრივ რადიაციასთან შედარებით თითქმის 15-ჯერ არის გაზრდილი, რის გამოც, ამ ძარღვიდან შემდგომი კვლევისათვის ავიღეთ 8 სინჯი. გარდა ამისა, მისი შემცველი ქანებიდანაც ავიღეთ 4 სინჯი, ვინაიდან მათშიც თითქმის ორჯერაა გაზრდილი ბუნებრივი რადიაციული ფონი ($\mu\text{Sv/h} >0.30$).

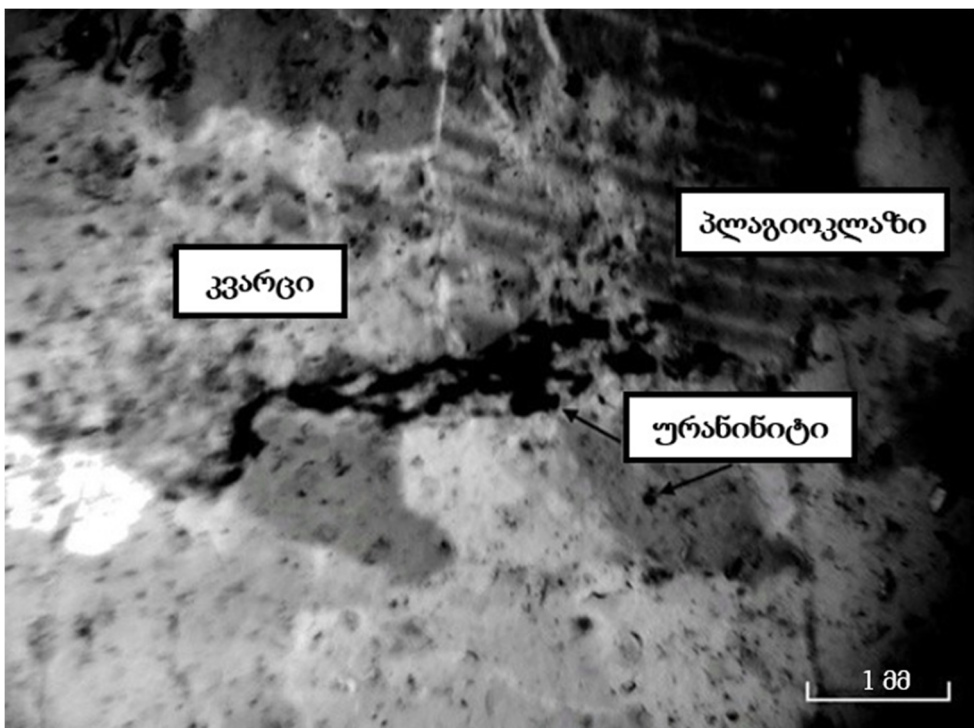


ნახ. 6.3. შხარის პლაგიოგრანიტული მარდვის საერთო ხედი და რადიაციული დოზა რადიოდოზიმეტრ FAG-FH40F2-ზე, რომელიც ამ წერტილში 2.06 $\mu\text{Sv/h}$ შეადგენს.

აღსანიშნავია, რომ 2021 წლის ექსპედიციის დროს, მდ. ენგურის სათავეებში შხარის მასივიდან მცინვარების მიერ გამოტანილ ბიოტიტანი პლაგიომიგმატიტების რამდენიმე უზარმაზარ ლოდში (2 მ X 3 მ) დაფიქსირდა მაღალი რადიაციული ფონი ($\mu\text{Sv/h} > 1$). პროექტის გართულებული ადმინისტრირების გამო, სამწუხაროდ, ამ ლოდებიდან აღებული სინჯების ქიმიური ანალიზი ჯერ კიდევ ვერ გავაკეთეთ. თუმცა მათი ამჟღავნებული რადიაცია კიდევ ერთი დამატებითი არგუმენტია მტკიცებულებისათვის, რომლის მიხედვითაც, შხარის პლუტონის ნარჩენი მაგმური მდნარები გამდიდრებული იყო რადიოაქტიური ელემენტებით.

6.1.4.2. პეტროგრაფია

შხარის მაღალი რადიაციის მქონე ძარღვს გააჩნია რძისფერი შეფერილობა, მასიური სტრუქტურა და აგებულია საშუალო და წვრილმარცვლოვანი კრისტალებით. იგი ლოკალიზებულია ბიოტიტიან მიგმატიტებსა და გნეისებში და განსხვავებით შხარის მასივის სხვა ქანებისგან, არ განიცდის რეგიონულ მიკროკლინიზაციას. ძარღვი აგებულია ძირითადად კვარცისა და პლაგიოკლაზისაგან, ხოლო დამორჩილებული რაოდენობით აღინიშნება მიკროკლინი, ბიოტიტი, მუსკოვიტი, ქლორიტი, ეპიდოტი. აქცესორული მინერალები წარმოდგენილია ალანიტით, ცირკონით და სფენით. მინერალთა ეს ასოციაცია განიცდის სუსტ დანაპრალიანებას, ნაპრალები კი შევსებულია ღია ფერის კვარცის და მადნიანი მინერალის ძარღვაკებით. უკანასკნელი წარმოადგენს თორიუმთან ურანიიტს (UO_2), რომელიც ზოგიერთ უბანზე ჟღენთავს კვარც-პლაგიოკლაზიან მასებს ძარღვაკებისა და ჩანაწინწკლების ფორმით (ნახ. 6.4).



ნახ. 6.4. თორიუმთან ურანიიტის ძარღვაკი და მისი ჩანაწინწკლები შხარის მასივის პლაგიოგრანიტში, ერთ ნიკოლში. გადიდებულია 100-ჯერ, ნიმ. 21Sv8.

6.1.4.3. პეტროქიმია და გეოქიმია

შხარის პლაგიოგრანიტული მარღვის 8 და შემცველი გრანოდიორიტის 4 სინჯში განვსაზღვრეთ ძირითადი, იშვიათი და იშვიათი მიწაელემენტების ქიმიური შემცველობები (ცხრ. 6.1).

ცხრილი 6.1. შხარის პლაგიოგრანიტული მარღვისა და შემცავი მიგმატიტების ძირითადი ჟანგულების და ზოგიერთი იშვიათი ელემენტის ქიმიური ანალიზები

ნომ.	20Sv1	20Sv2	20Sv3	20Sv4	20Sv5	20Sv6	20Sv7	20Sv8	20Sv9	20Sv10	20Sv11	20Sv12
ძირითადი ელემენტები (წონ. %)												
SiO ₂	71,27	71,57	77,81	74,72	78,67	79,61	84,31	78,89	77,23	81,46	70,36	71,37
Al ₂ O ₃	16,17	17,12	11,13	11,5	10,58	11,5	10,09	10,94	11,34	10,05	15,3	16,22
Fe ₂ O ₃	2,45	3,52	2,67	3,60	2,32	1,19	1,02	3,17	2,81	1,17	2,28	2,46
CaO	1,77	2,08	1,52	3,62	1,31	1,48	1,39	1,85	1,66	1,36	1,54	2,36
MgO	0,56	0,89	0,98	0,84	0,83	0,57	0,17	0,25	0,57	0,54	0,81	0,64
Na ₂ O	3,90	3,86	3,34	3,18	3,86	3,86	3,40	3,92	3,88	4,03	2,53	2,15
K ₂ O	2,92	2,92	1,57	1,65	1,25	1,73	1,52	1,34	1,57	1,27	2,58	3,14
MnO	1,07	0,87	0,33	0,27	0,21	0,12	0,03	0,13	0,28	0,37	1,12	0,46
TiO ₂	0,7	0,6	0,58	0,45	0,28	0,18	0,15	0,19	0,32	0,14	0,87	0,43
P ₂ O ₅	0,8	0,8	0,07	0,13	0,16	0,23	0,03	0,14	0,09	0,15	0,6	0,7
იშვიათი ელემენტები (გ/ტ)												
Rb	61,3	110	185,2	114,2	279,8	334,7	185	134,5	318,4	175,6	58,2	64,7
Ta	0,38	0,72	1,28	1,59	0,95	2,04	1,28	1,59	1,45	1,89	0,27	0,65
Hf	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,6	0,3
Th	3,5	19,5	26,5	40,5	37,5	40,6	29,4	50,1	37,7	47,5	3,1	1,7
U	0,5	1,5	121	273	183	54,7	105,6	290,9	174	62,4	0,7	1,3
Nb	4,4	8,5	14,4	17,5	8,0	44,4	15,5	8,1	34,1	19,5	3,5	1,8
Tl	1,20	0,69	1,2	0,7	0,5	3,2	1,1	0,67	0,41	2,77	0,32	0,1
V	262	12	26	37	9	120	32	37	13	124	42	17
W	0,3	2,6	<1	<1	<1	2	0,4	0,4	0,3	2,1	0,7	0,3
Y	16,9	19,2	15,0	10,3	7,9	5,0	13,7	11,3	8,9	9,5	14,9	17,5

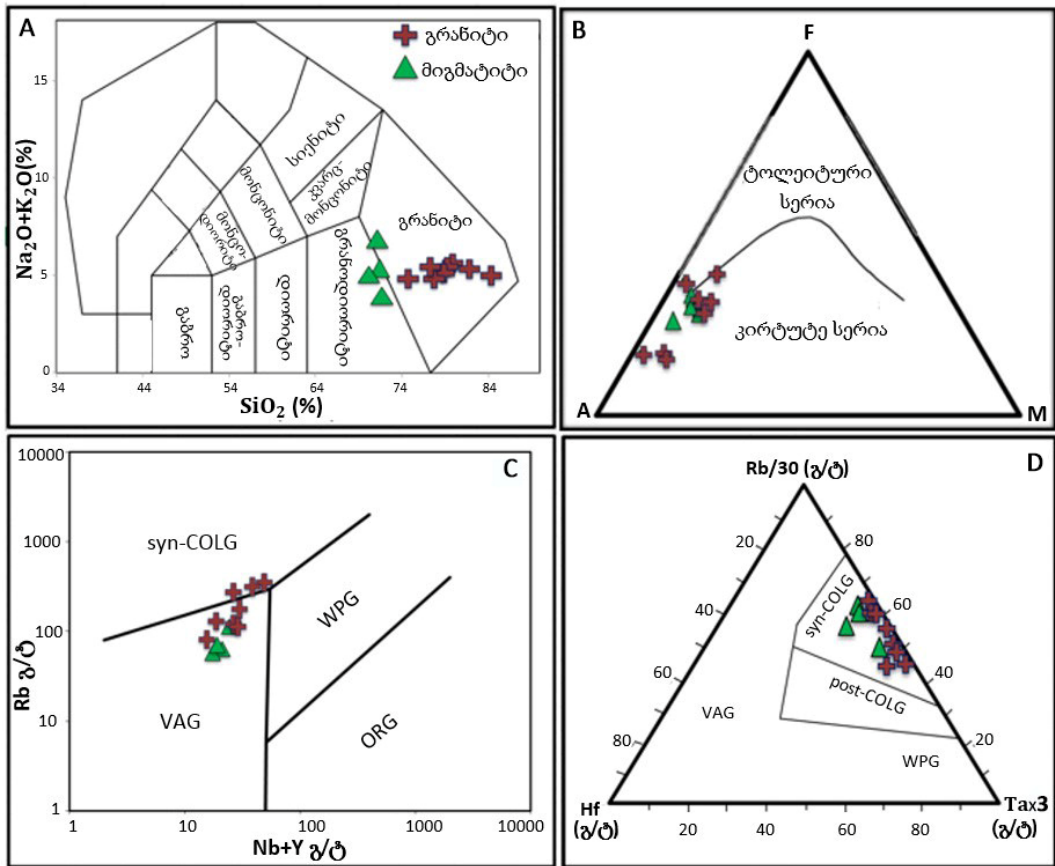
ნომ.: 20Sv3-დან 20Sv10-მდე პლაგიოგრანიტები; ნომ.: 20Sv1, 20Sv2, 20Sv11 და 20Sv12 - მიგმატიტები.

პეტროქიმიურად შხარის პლაგიოგრანიტული ძარღვი ულტრამჟავე წარმონაქმნია, რომელშიც SiO_2 შემცველობა მერყეობს 74,9-84,5%-ის ფარგლებში. სხვა დანარჩენი ქიმიური ელემენტები მცირე რაოდენობით არის წარმოდგენილი შემდეგი ვარიაციებით: Al_2O_3 მერყეობს 10,2-11,3%-ის, Fe_2O_3 – 1,8-2,6%-ის, MgO – 0,8-2,0%-ის, Na_2O – 3,1-3,5%-ის, ხოლო K_2O – 1,4-1,7%-ის ფარგლებში.

TAS პეტროგრაფიულ კლასიფიკაციურ დიაგრამაზე შხარის პლუტონის პლაგიოგრანიტული ძარღვის ყველა წერტილი განლაგებულია გრანიტის, ხოლო შემცავი ბიოტიტანი მიგმატიტების - გრანოდირიტების ველში (ნახ. 6.5A). AFM მაგმური სერიების დისკრიმინაციულ დიაგრამაზე პლაგიოგრანიტების და შემცავი ბიოტიტანი მიგმატიტების ყველა წერტილი განლაგებულია კირ-ტუტე მაგმური სერიის ველში (ნახ. 6.5B). Rb-(Nb+Y) გეოდინამიკურ დისკრიმინაციულ დიაგრამაზე პლაგიოგრანიტების წერტილები განლაგებულია, როგორც სინკოლიზური გრანიტის, ასევე კუნძულთა რკალების გრანიტის ველში, ხოლო მიგმატიტების წერტილები მხოლოდ კუნძულთა რკალების გრანიტის ველში (ნახ. 6.5C). Hf-Rb/30-TaX3 გეოდინამიკურ დისკრიმინაციულ დიაგრამაზე პლაგიოგრანიტების და ასევე მიგმატიტების წერტილები განლაგებულია მხოლოდ სინკოლიზური გრანიტის ველში (ნახ. 6.5D).

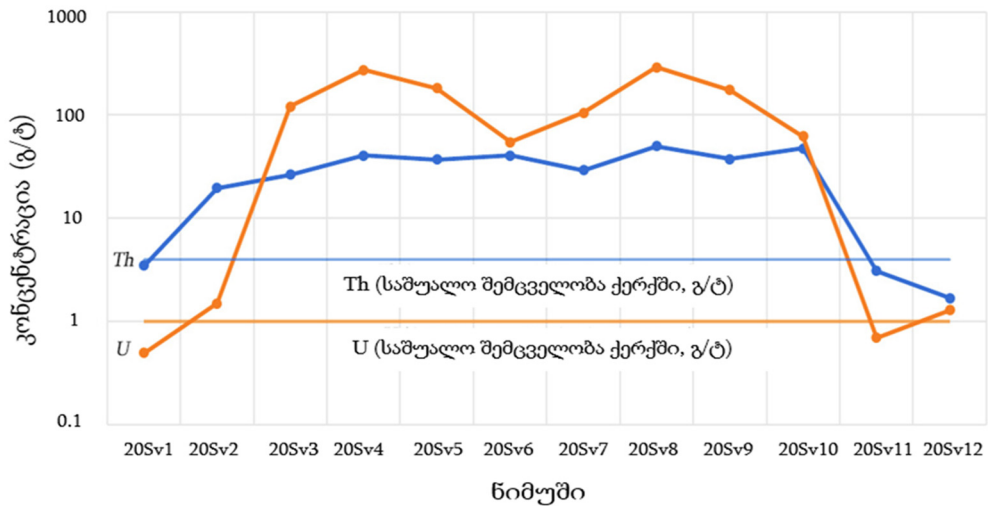
გეოქიმიური კვლევის მიხედვით, შხარის პლაგიოგრანიტულ ძარღვის სინჯებში ყველა გაანალიზებული 48 ელემენტი თითქმის ნორმული კონცენტრაციის ფარგლებშია, მხოლოდ ურანისა და თორიუმის შემცველობებია ანომალურად ამაღლებული (ცხრ. 6. 1).

შემცველი ბიოტიტანი მიგმატიტების 4 სინჯში თორიუმისა და ურანის შემცველობები მერყეობს შესაბამისად 1,7 გ/ტ-დან 19,7 გ/ტ-ისა და 0.5 გ/ტ-დან 1,5 გ/ტ-ის ფარგლებში, თუმცა, ამ ელემენტების კონცენტრაციები ნახტომისებურად იზრდება პლაგიოგრანიტულ, კვარც-ალბიტან ძარღვში, რაც ვიზუალურად კარგად ჩანს ვარიაციულ დიაგრამაზე (ნახ. 6.6).



ნახ. 6.5. შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვისა და მისი შემცავი ბიოტიტანი მიგმატიტების პეტროქიმიურ-დისკრიმინაციული დიაგრამები.

A - TAS დისკრიმინაციული დიაგრამა (Middlemost, 1994); B - AFM დისკრიმინაციული დიაგრამა (Irvine and Baragar, 1971) ($A = \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ %; $F = \text{FeO}$ ჯამური %; $M = \text{MgO}$ %); C - Rb-(Nb+Y) გეოდინამიკურ-დისკრიმინაციული დიაგრამა (Pearce, 1996); D - Hf-Rb/30-TaX30 გეოდინამიკურ-დისკრიმინაციული დიაგრამა (Harris et al., 1986). აღნიშვნები: syn-COLG = სინკოლიზური გრანიტი; post-COLG = პოსტკოლიზური გრანიტი; VAG = ვულკანური რკალების გრანიტი; WPG = ფილაქსსშიდა გრანიტი; ORG = ოკეანური ქედების გრანიტი.



ნახ. 6.6. ურანისა და თორიუმის კონცენტრაციების (გ/ტ) ვარიაციული დიაგრამა შხარის პლუტონის პლაგიოგრანიტებსა (20Sv3 - დან Sv10-მდე) და მის შემცველ ბიოტიტიან მიგმატიტებში (20Sv1, 20Sv2, 20Sv11, 20Sv12).

ამ ძარღვიდან აღებულ 8 სინჯში თორიუმის კონცენტრაციები მერყეობს 26.5 გ/ტ-დან 50.1 გ/ტ-ის, ხოლო ურანის - 54.7 გ/ტ-დან 290.9 გ/ტ-ის ფარგლებში. როგორც ნახ. 6.6-ზე ვხედავთ, ამ სინჯებში Th შემცველობა ნორმულთან შედარებით 7-10-ჯერ არის მომატებული, ხოლო U - 100-290-ჯერ. ამ მონაცემებიდან განსაკუთრებით დიდ ყურადღებას იმსახურებს ურანის კონცენტრაციები, ვინაიდან ამ ტიპისა და ასაკის გრანიტული ძარღვებისათვის, ეს სამრეწველო შემცველობებია (მაგ., **Rene, 2012**). ვიდრე შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვის ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციაზე ვიმსჯელებდეთ ზოგადად, მანამდე გავეცნოთ ამ ძარღვის ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიური კვლევის შედეგებს.

6.1.4.4. ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგია

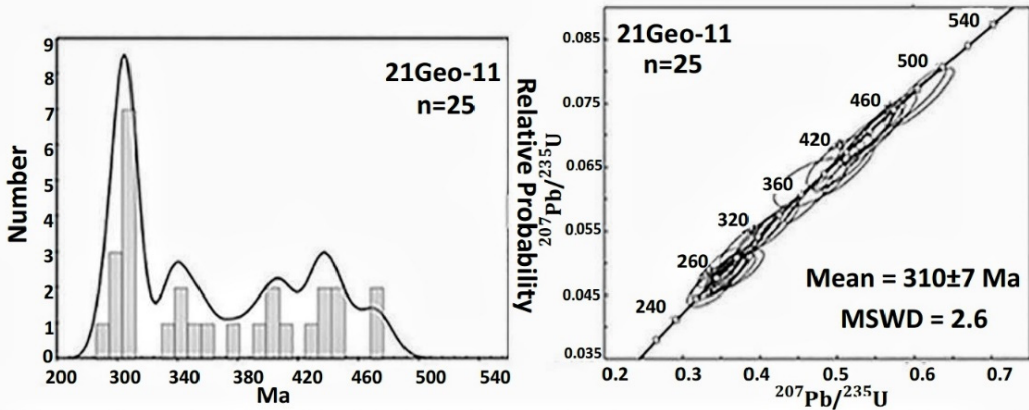
შხარის მასივის ურანის შემცველი პლაგიოგრანიტული ძარღვიდან ცირკონების U-Pb მეთოდით დათარიღების მიზნით, ავიღეთ დაახლოებით 4 კგ წონის სინჯი

(20Geo15). იგი წარმოადგენს საშუალომარცვლოვან, მასიურ, კვარც-პლაგიოგრანიტულ ქანს შემდეგი მინერალური შედგენილობით: Q+Ab+Ksp+Ms+Bt+Ep+Chl+Zr+Ort (მინერალების აბრევიატურა მოცემულია ლ. ვიტნისა და ვ. ევანსის მიხედვით (**Whitney and Evans, 2010**)). ამ სინჯიდან გამოირჩა და დათარიღდა ცირკონის 25 მარცვალი (ცხრ. 6.2).

ცხრილი 6.2. შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვის ცირკონების U, Th, Pb თანაფარდობები და აგრეთვე $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ საშ. შეწონილი ასაკები (ნიმ. 20Geo15)

Spot	Th/U	U _{ppm}	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	error corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age Ma
1	0,41	309	0,0525	0,3529	0,0487	0,8728	308
2	0,33	369	0,0567	0,5461	0,0699	0,8851	432
3	0,53	602	0,0560	0,5407	0,0700	0,9292	435
4	0,17	450	0,0560	0,5029	0,0651	0,9103	407
5	0,55	293	0,0558	0,5351	0,0695	0,8744	432
6	0,93	137	0,0522	0,3396	0,0472	0,7526	297
7	0,47	134	0,0545	0,3643	0,0485	0,7656	305
8	0,20	278	0,0581	0,6087	0,0759	0,8849	472
9	0,01	1079	0,0535	0,3651	0,0495	0,8302	311
10	0,14	525	0,0543	0,4193	0,0561	0,8537	352
11	0,73	101	0,0530	0,3360	0,0460	0,6842	290
12	0,41	168	0,0536	0,3572	0,0483	0,8116	304
13	0,26	1595	0,0529	0,3942	0,0541	0,9471	339
14	0,33	218	0,0532	0,3986	0,0544	0,8517	341
15	0,31	231	0,0539	0,3555	0,0478	0,8473	301
16	0,19	579	0,0562	0,4638	0,0599	0,9207	375
17	0,26	172	0,0520	0,3774	0,0526	0,8079	331
18	0,07	483	0,0554	0,5037	0,0660	0,7467	412
19	0,13	389	0,0563	0,5511	0,0711	0,9138	442
21	0,22	1182	0,0542	0,4260	0,0570	0,9509	308
22	0,20	829	0,0544	0,3597	0,0480	0,9299	304
23	0,12	375	0,0543	0,5521	0,0734	0,9134	443

მარცვლები ქმნის პატარა (120 μm X 60 μm) კრისტალებს, რომლებშიც ორი ზონა გაირჩევა: მცირე რაოდენობის მემკვიდრეობითი ცირკონების ბირთვები და ქერქი. მემკვიდრეობითი ბირთვების ასაკი მერყეობს 407-დან 433 მლნ. წლამდე ინტერვალში, ხოლო ქერქის - 301-დან 311 მლნ. წლამდე ინტერვალში. შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვის ფორმირების საშუალო შეწონილი ასაკი კი შეესაბამება 310,2 \pm 7,5 მლნ. წელს (MSWD=2,5) (ნახ. 6.7).



ნახ. 6.7. შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვის ცირკონების U-Pb ასაკობრივი ჰისტოგრამები (მარცხენა პანელი), კონკორდიის მრუდები (მარჯვენა პანელი) და LA ICP-MS კათოდურ-ლუმინესციური გამოსახულებები ქვემოთ.

ამრიგად, თუ შევაჯერებთ შხარის მასივის შესახებ არსებულ გეოქრონოლოგიურ ინფორმაციას (Okrostsvavidze at al., 2021) და ჩვენ მიერ მიღებულ შედეგებს, მაშინ მისი ფორმირების სავარაუდო სცენარი ასე შეიძლება ჩამოყალიბდეს. ქვედა პალეოზოურ გნეისურ-მიგმატიტურ ინფრასტრუქტურაში ($488,5 \pm 8.5$ მლნ. წ.), ვარისკული ოროგენული აქტივობის დროს შეიქმრა მძალვრი გრანიტოიდული პლუტონი ($316,9 \pm 8.8$ მლნ. წ.). მოგვიანებით, გვიანვარისკული მოვლენების დროს ($310,2 \pm 7,5$ მლნ. წ.) ამ მასივში განვითარდა ინტენსიური Na ჰიდროთერმული პროცესები და ჩამოყალიბდა პლაგიოგრანიტული ძარღვები. მოგვიანებით, შხარის გრანიტოიდულ პლუტონში არსებული ერთ-ერთი ასეთი ძარღვი გაიჟღინთა ურანითა და თორიუმით გამდიდრებული ჰიდროთერმებით.

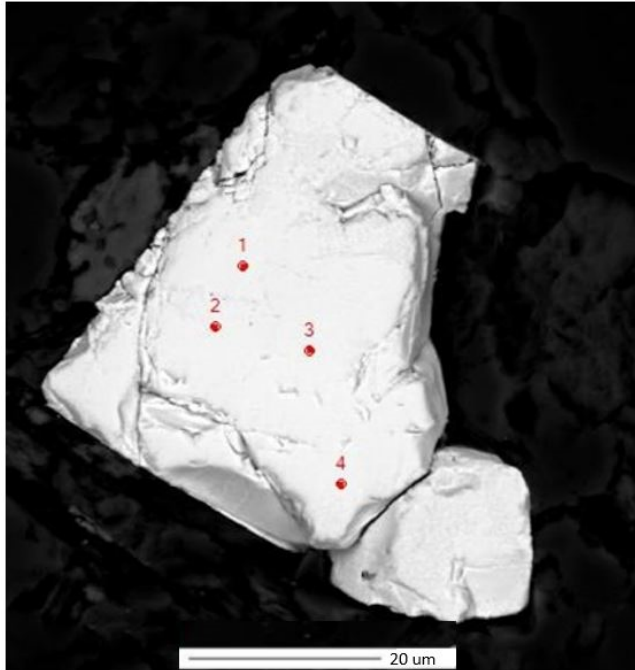
6.1.4.5. U და Th მინერალიზაციის ქიმიზმი და ასაკი

პოტსდამის გეომეცნიერების ცენტრის ელექტრონული მიკროანალიზის ლაბორატორიაში, მიკროზონდ JEOL-JXA-8230-ზე, განვსაზღვრეთ შხარის ურანისა და თორიუმის მინერალიზებული მარღვების ქიმიზმი და U-Pb ქიმიური ასაკი. კვლევა ჩატარდა ურანინიტიანი პლაგიოგრანიტის სხვადასხვა ნიმუშის 4 თლილის 14 მარცვალში და გაკეთდა 56 წერტილოვანი ქიმიური ანალიზი (ნახ. 6.8). მარღვის ასაკი განისაზღვრა U-Pb იზოტოპური წყვილის ქიმიური მეთოდის მეშვეობით.

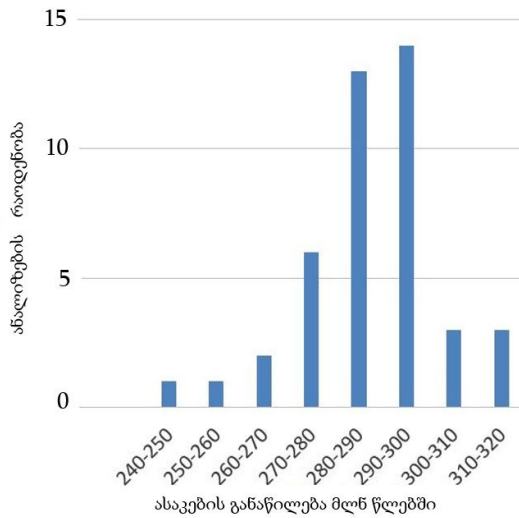
ანალიტიკური სამუშაო ჩატარდა 21Ge1; 21Ge5; 21Ge7; 21Ge9 თლილებში, რომლებშიც როგორც შედგენილობით, ისე ასაკობრივად თითქმის იდენტური შედეგები მივიღეთ. ეს შედეგები გვიჩვენებს, რომ შესწავლილი მარღვები ძირითადად შედგება ურანის, თორიუმის, ტყვიისა და იტრიუმისგან. ამ მარღვებში UO_2 შემცველობა მერყეობს 82,6%-დან 79,5% -ის, ThO_2 - 6.7%-დან 8,4%-ის, PbO - 2,95%-დან 3,9%-ის, ხოლო Y_2O_3 - 1,15%-დან 3,77%-ის ფარგლებში. ამ მონაცემების მიხედვით, აშკარაა, რომ გაანალიზებული ნივთიერება წარმოადგენს თორიანიტ-ურანინიტის სერიის (ThO_2-UO_2) წარმონაქმნს, კონკრეტულად კი Th მდიდარ მინერალ ურანინიტს (Anthony et al., 1990).

აღნიშნული ანალიტიკური სამუშაო ჩატარდა სუპერზონდ JEOL-JXA-8230-ზე. წერტილების ქიმიური შემცველობები: წერტილი 1- $UO_2=81,20\%$, $PbO=3,59\%$, $ThO_2=7,64\%$; $Y_2O_3=1,85\%$; წერტილი 2- $UO_2=81,45\%$, $PbO=3,49\%$, $ThO_2=7,80\%$; $Y_2O_3=1,53\%$; წერტილი 3- $UO_2=80,55\%$, $PbO=3,42\%$, $ThO_2=8,10\%$; $Y_2O_3=1,13\%$; წერტილი 4 - $UO_2=81,20\%$, $PbO=3,58\%$, $ThO_2=8,41\%$; $Y_2O_3=0,85\%$.

რაც შეეხება ამ მარღვების U-Pb იზოტოპური წყვილის ქიმიურ ასაკს, ჩატარებული კვლევის შედეგად ოთხივე ნიმუშში თითქმის ერთნაირი ასაკი დაფიქსირდა (ნახ. 6.9), კერძოდ: 21Ge1-ნიმუშში დათარიღდა ოთხი მარცვლის 22 წერტილი და მისი საშუალო ასაკი შეესაბამება 288 მილიონ წელს, 21Ge5-ნიმუშში დათარიღდა ხუთი მარცვლის 21 წერტილი და მისი საშუალო ასაკი შეესაბამება 287 მილიონ წელს, 21Ge7 ნიმუშში დათარიღდა ერთი მარცვლის 3 წერტილი და



ნახ. 6. 8. შხარის ურანის მინერალიზაციის ურანიტიტის მარცვალი და წერტილოვანი ქიმიური ანალიზის არეალები (ნიმ. 22Ge1) (გამოსახულება Ge1-U2-BSE).



ნახ. 6.9. შხარის ურანიტიტის მარღვების U-Pb იზოტოპური წყვილის ქიმიური ასაკების ჰისტოგრამა.

მისი საშუალო ასაკი შეესაბამება 286 მილიონ წელს, $^{21}\text{Ge}9$ ნიმუშში დათარიღდა ოთხი მარცვლის 12 წერტილი და მისი საშუალო ასაკი შეესაბამება 290 მილიონ წელს. ამრიგად, შხარის პლაგიოგრანიტებში არსებული ურანიიტის მარღვების U-Pb საშუალო ქიმიური ასაკი მერყეობს 286-290 მილიონი წლების ინტერვალში, რაც ადრე პერმულ პერიოდს შეესაბამება.

6.1.4.6. დისკუსია და დასკვნა

გასულ საუკუნეში მიჩნეული იყო, რომ კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტი ღარიბია მადნიანი მინერალიზაციით, თუმცა, უკანასკნელ ხანებში განხორციელებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ეს შეხედულება მცდრია (მაგ., **ოქროსცვარიძე, 1992; Okrostsvaridze, Bluashvili, 2000; ბლუაშვილი, 2001; Okrostsvaridze, Bluashvili, 2009**). აღნიშნულის კიდევ ერთი მტკიცებულებაა შხარის გრანიტოიდულ პლუტონში ურანიიტის მარღვებისა და ჩანაწინწკლების აღმოჩენა. ამ მინერალიზაციის კვლევაში ჯერჯერობით უამრავი დისკუსიური საკითხია, თუმცა აშკარაა, რომ იგი მასშტაბური წარმონაქმნია. დისკუსიურია თვით შესწავლილი ბიოტიტიანი პლაგიოგრანიტული მარღვის გენეზისი. თავისი ქიმიური შედგენილობიდან ($\text{SiO}_2=75-85\%$) და მინერალოგიური აგებულებიდან (კვარც-ალბიტური) გამომდინარე, ის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ჰიდროთერმული წარმონაქმნი, თუმცა ანალოგიური ქიმიური შედგენილობისა და მინერალური აგებულების მარღვები შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს ანატექტური, სელექციური ლღობის შედეგადაც, მაღალი წნევისა და შედარებით დაბალი ტემპერატურის პირობებში (მაგ., **Окросцваридзе, 2007**).

ამ დისკუსიური საკითხის გარკვევაში ვერ გვეხმარება საკვლევი მარღვის ცირკონების ქიმიზმი. როგორც ცნობილია მკვლევართა ნაწილი მიიჩნევს, რომ თუ ცირკონებში Th/U პარამეტრი მეტია 0,4-ზე, მაშინ ისინი მაგმურ წარმონაქმნებს უნდა მივაკუთვნოთ, ხოლო თუ ეს პარამეტრი დაბალია 0,4-ზე, მაშინ ისინი ჰიდროთერმული გენერაციის არის (**Claesson et al., 2000; Belousova et al., 2002; Wu and Zheng, 2004**). ამ მარღვის ცირკონების წარმოშობის შესახებ

მალიან ძნელია იმსჯელო ამ კრიტერიუმის მიხედვით, ვინაიდან ამ ქანში ეს ფარდობა მერყეობს დიდ ინტერვალში (0,01 დან 0,93-მდე). ამასთან ერთად, მასში ამ ფარდობის სიდიდე არ არის დამოკიდებული ცირკონის მარცვლების ასაკზე. ერთ შემთხვევაში ახალგაზრდა ცირკონებში (301-311 მლნ. წ.) $Th/U > 0.4$ -ზე, ხოლო მეორე შემთხვევაში $Th/U < 0.4$ -ზე. ამ ფარდობის ასეთივე ვარიაციები ასევე აღინიშნება უფრო ძველი (430-470 მლნ. წ.) ცირკონების მარცვლების შემთხვევაშიც. ამდენად, შხარის მასივის პლაგიოგრანიტული ძარღვის გენეზისის განსაზღვრაში მისი ცირკონების Th/U პარამეტრი ვერ დაგვეხმარება. თუმცა, ამ ძარღვის დათარიღებულ 25 ცირკონში ინფრასტრუქტურის 5 (430-470 მლნ. წ.) და 5 პლუტონური მაგმური აქტივობის (330-470 მლნ. წ.) რელიქტური ცირკონია, რაც იმის არგუმენტებია რომ იგი ან ჰიდროთერმული წარმონაქმნია ან ანატექტური ლლობის პროდუქტია.

თუმცა, თუ დავეყრდნობით იმ მონაცემებს, რომ კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის სუბსტრატის ანატექტური ლლობა და მიგმატიზაცია გაცილებით ადრე, 430-480 მლნ. წლების ინტერვალში მიმდინარეობდა, კალედონური ოროგენეზისის დროს, მაშინ ჩვენ მიერ შესწავლილი, 310 მლნ. წლით დათარიღებული ძარღვი იმ ჰიდროთერმულ წარმონაქმნად უნდა მივიჩნიოთ, რომელიც სტრუქტურის გვიანოროგენული გაჭიმვის შედეგად ჩამოყალიბდა.

რაც შეეხება ურანისა და თორიუმის მინერალებს. ქანის მიკროსკოპული და გეოქიმიური კვლევის შედეგებზე დაყრდნობით, ვფიქრობთ, რომ ეს ორივე ქიმიური ელემენტი ერთ მინერალში, კერძოდ, თორიუმთან ურანიტიშია $[(UTh)O_2]$ კონცენტრირებული, ვინაიდან, როგორც ცნობილია, ურანიტიის კრისტალურ სტრუქტურაში ურანი ადვილად ანაცვლებს თორიუმს და მინერალი წარმოდგენილია ურანიტიტისა და თორიანიტის (ThO_2) მყარი ხსნარის სახით (Anthony et al., 2012).

როგორც მიმდინარე კვლევებმა აჩვენა, იმის გამო, რომ ურანს გააჩნია დიდი იონური რადიუსი და მაღალი ვალენტობა, სილიკატური მდნარების კრისტალიზაციის დროს, იგი ადვილად ვერ პოულობს ადგილს ძირითადი მინერალების

სტრუქტურაში, რაც იწვევს მის დაგროვებას ნარჩენ მდნარში (მაგ., **Cune and Kyser., 2017**). Th-ისა და U-ის მსგავსი გეოქიმიური თვისებების გამო, ნაწილობითი ლღობის დროს, მდნარები ასევე მდიდრდებიან თორიუმითაც (**Kukkonen and Lauri., 2009; Chen et al., 2019**). შემოთავაზებულია მოდელი, რომლის მიხედვითაც, სუსტი ნაწილობრივი ლღობის პირობებში (<5%), U-ის კონცენტრაციამ სილიკატურ მდნარში შესაძლებელია მიაღწიოს 300 გ/ტ-ს (**Mercadier et al., 2013**).

ე.ფრიმელისა და სხვათა მიხედვით (**Frimmel et al., 2014**), დაბალტემპერატურულ ჰიდროთერმულ ურანიტში U/Th პარამეტრი ყოველთვის მეტია 1000-ზე, მაშინ, როცა მაღალტემპერატურულ ურანიტებში (>450 °C) ეს პარამეტრი ნაკლებია 100-ზე. თუ ამ კვლევის შედეგებს გავიზიარებთ, მაშინ შესწავლილ მარღვში ურანიტი მაღალტემპერატურული წარმონაქმნი უნდა იყოს, ვინაიდან მის ყველა ნიმუშში U/Th პარამეტრი ნაკლებია 100-ზე და 5,5-1,3 ინტერვალში მერყეობს. ვფიქრობთ ეს ინტერპრეტაცია რეალობასთან ახლოსაა, ვინაიდან ზოგადად, კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის ბიოტიტიანი მიგმატიტებისა და გნეისების ფორმირების ტემპერატურა 700-750°C ინტერვალში მერყეობს (მაგ., **Okrostsvaridze and Tormay, 2011**).

ამ კვლევის ფარგლებში არ შეგვისწავლია შხარის პლაგიოგრანიტული მარღვის თორიუმისა და ურანის მინერალიზაციის წყაროსა და მექანიზმის საკითხები. თუმცა, არსებული მონაცემების ანალიზის შედეგად, შესაძლებელია დავუშვათ, რომ ამ რადიაქტიური ელემენტების წყაროს წარმოადგენდა შხარის პლუტონის ნარჩენი მაგმა, რომელიც კრისტალური ფრაქცირების პროცესში, ზემოთ აღნიშნული გეოქიმიური მიზეზების გამო, Th და U-ით გამდიდრდა. მოგვანებით სტრუქტურის გვიანოროგენული გაჭიმვის პროცესში, განხორციელდა ამ ელემენტების ჰიდროთერმული მობილიზაცია.

ანალოგიურ, გრანიტულ ქანებში, ნატრიუმთან მეტასომატური გენერაციის ურანის საბადოებზე, უკანასკნელ პერიოდში გამოქვეყნდა საინტერესო პუბლი-

კაციები (მაგ., **Yu et al., 2020**), რაც კიდევ უფრო აძლიერებს ინტერესს ჩვენი აღმოჩენისადმი. აღსანიშნავია, რომ დაახლოებით მსგავს გეოლოგიურ პირობებშია ჩამოყალიბებული მსოფლიოს მრავალი ჰიდროთერმული გენეზისის ურანის საბადო. მათ შორისაა ნამიბიის ცნობილი ურანის საბადოები (როსსინგი და ჰუსაბი), საიდანაც ამჟამად მსოფლიოს ურანის მოპოვების დაახლოებით 10% ხორციელდება. აღსანიშნავია, რომ ამ საბადოებში ურანის საშუალო კონცენტრაცია საშუალოდ 200 გ/ტ-ს შეადგენს (მაგ., **Basson and Greenway, 2004**), რაც დაახლოებით ისეთვე მაჩვენებელია, როგორც ჩვენ მიერ მიკვლევულ გამადნებაში.

შხარის მასივის რთული რელიეფის გამო, სავლელ სამუშაოების დროს, მთელი რიგი პრობლემები შეგვექმნა. პირველ რიგში ესაა შესწავლილი ძარღვის რელიეფში გადევნება და მისი ზუსტი კონტურების დადგენა. ამავე მიზეზის გამო, ასევე შეუძლებელია ამ მასივის ცენტრალურ სეგმენტში ანალოგიური ძარღვების ძებნის განხორციელება. აღნიშნულის გამო, მომავალში ვფიქრობთ ძებნითი სამუშაოები ჩავატაროთ შხარის მასივის დასავლეთ პერიფერიაზე, კერძოდ, მდ. ხალდეს სათავეებში, სადაც რელიეფი შედარებით რბილია. გარდა აღნიშნულისა, ამ მიზნისათვის საუკეთესო არეალს წარმოადგენს მდ. ნენსკრას სათავეებში გაშიშვლებული გრანიტ-მიგმატიტური სერია, რომელშიც გვიანოროგენული გენერაციის უამრავი პლაგიოგრანიტული ძარღვია ლოკალიზებული.

ამრიგად, ჩატარებული კვლევის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ:

1. მდ. ენგურის სათავეებში, შხარის მასივის სამხრეთ კალთებზე გაშიშვლებულია 2-3 მ სიმძლავრის პლაგიოგრანიტული ძარღვი, რომლის ზედაპირზეც $\mu\text{Sv/h}$ პარამეტრი 1-დან 3-მდე ინტერვალში მერყეობს.

2. ეს ძარღვი ლოკალიზებულია ზედა პალეოზოურ ბიოტიტიან მიგმატიტებში, გვიანვარისკული შხარის გრანიტოიდული პლუტონის კონტაქტურ არეალში, კავკასიონის მთავარი რღვევის გასწვრივ.

3. ეს ძარღვი წარმოადგენს ბიოტიტიან კვარც-პლაგიოკლაზიან ჰიდროთერმულ პლაგიოგრანიტს, რომელშიც SiO_2 შემცველობა ~75-85%-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო სხვა დანარჩენი ქიმიური ელემენტები კი მცირე რაოდენობით

არის წარმოდგენილი, კერძოდ: Al_2O_3 – 10,2-11,3%, Fe_2O_3 – 1,8-2,6%, MgO – 0,8-2,0%, Na_2O – 3,1-3,5%, ხოლო K_2O – 1,4-1,7%.

4. ამ ძარღვში მულტი ელემენტური ICP-MS-ES ქიმიური ანალიზის მიხედვით Th კონცენტრაცია მერყეობს 26 გ/ტ-დან 50 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო U - 55 გ/ტ-დან 291 გ/ტ-ის ფარგლებში.

5. პეტროგრაფიული და გეოქიმიური კვლევების მიხედვით, ურანის შემცველ მინერალს წარმოადგენს მაღალტემპერატურული Th-მდიდარი ურანიტი (UO_2), რომელიც ურანის ჰიდროთერმული ძარღვული გამადნებების ძირითადი სამრეწველო მინერალია.

6. გეოქიმიური კლასიფიკაციური დიაგრამების მიხედვით, შხარის გრანიტოიდული მაგმა მიეკუთვნება კირ-ტუტე სერიას, რომელიც ჩამოყალიბდა სინკოლიზიურ გეოდინამიკურ რეჟიმში, ხოლო კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის პლაგიოგრანიტული ძარღვები დიდი ალბათობით პოსტკოლიზიური წარმონაქმნებია.

7. ამ ძარღვის ცირკონების LA-ICP-MS $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ იზოტოპური ასაკი $310,2 \pm 7.5$ მლნ. წლით განისაზღვრა, რაც გვიან ვარისკულ ოროგენულ აქტივობას შეესაბამება.

8. ამ ძარღვში არსებული ურანიტის მინერალიზაცია დათარიღდა 280-290 მლნ. წლით (ადრეპერმული დრო), რაც დიდი ალბათობით, პოსტკოლიზიური გაჭიმვის პროცესთან უნდა იყოს დაკავშირებული.

9. შესწავლილი ძარღვი ფორმირების გეოდინამიკური პოზიციით, გენეზისით, შედგენილობით, ასაკით და ურანიტის მინერალიზაციით სრულ კორელაციაშია მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონის ურანის ძარღვული ტიპის საბადოებთან, მათ შორის ევროპის ვარისციდებთან.

10. მიგვაჩნია, რომ მომავალში საჭიროა განხორციელდეს ურანის მინერალიზაციის კვლევა, კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის გრანიტ-მიგმატიტური კომპლექსის, ანალოგიური ასაკისა და გენერაციის ძარღვები.

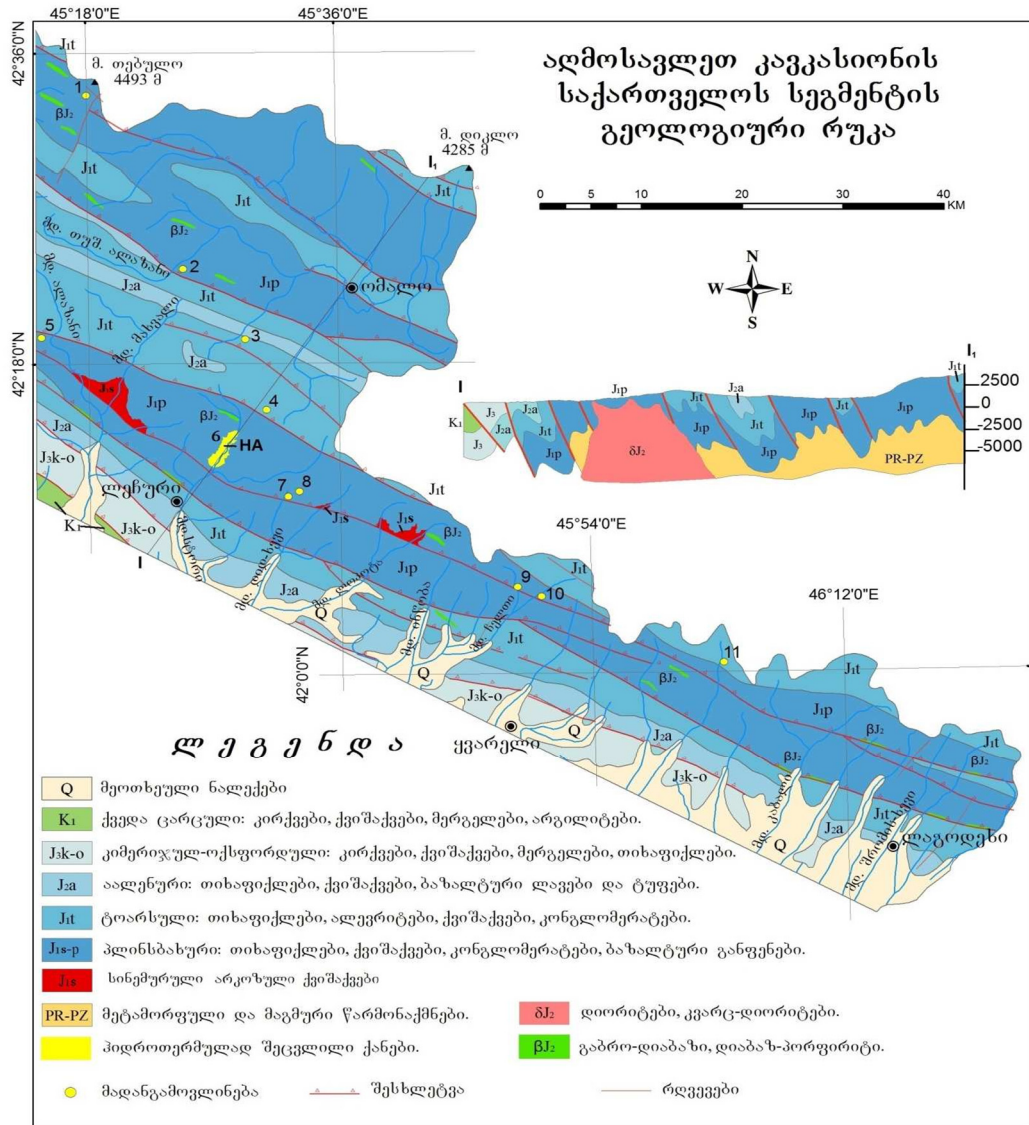
6.2. თორიუმის კვლევის შედეგები კავკასიონის კახეთის სეგმენტში

6.2.1. ზოგადი გეოლოგიური დახასიათება

კავკასიონის კახეთის სეგმენტი მოიცავს კავკასიონის მთავარი ქედის აღმოსავლეთნაწილის სამხრეთ ფერდს მდ. ალაზნის სათავეებიდან აზერბაიჯანის საზღვრამდე. ეს სეგმენტი, რომელიც ძირითადად აგებულია მეზოზოური წარმონაქმნებით, გაიდევენება 120 კმ მანძილზე და მოიცავს დაახლოებით 3400 კმ² ფართობს (ნახ. 6. 10). ჩრდილოეთიდან იგი ისაზღვრება კავკასიონის მთავარი ქედის წყალგამყოფით, ხოლო სამხრეთიდან მძლავრი რეგიონური რღვევით ემიჯნება ამიერკავკასიის მიკროფილას. ამ სეგმენტს აშიშვლებს მდ. ალაზნის სათავეებისა და მისი მარცხენა შენაკადების: მახვალის, სტორის, დიდხევის, ლოპოტას, ჩელთის და სხვა მდინარეთა ღრმად ჩაჭრილი ხეობები.

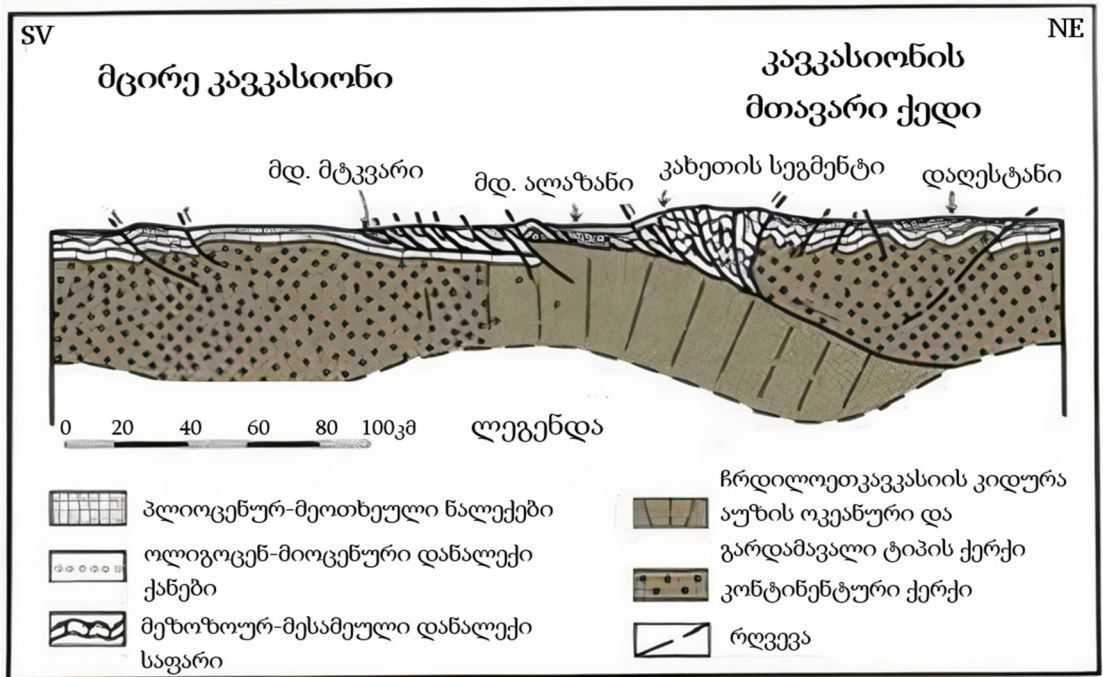
კავკასიონის კახეთის სეგმენტი ძირითადად აგებულია ინტენსიურად დანოჭებული და დამსხვრეული ქვედაიურული თიხა-ფიქლებით, ქვიშაქვებით, მცირე რაოდენობის კარბონატული ქანებით და დაციტ-ანდეზიტ-ბაზალტური განფენებით. ქანების ეს სერია რელიეფში ქმნის საერთო კავკასიური მიმართების (NW-SE) სამხრეთით გადმოწოლილ, კახეთის ანტიკლინურ სტრუქტურას. ყველა მონაცემის მიხედვით, იგი ჩამოყალიბდა პალეოზოური ფუნდამენტის ინტენსიური გაჭიმვის პროცესში განაპირა ზღვიური ფაციესის პირობებში. ნალექების ეს სერია შუაიურულ პერიოდში იკვეთება სხვადასხვა სიმძლავრის და შედგენილობის ინტრუზიული სხეულებით, რომლებიც შემცავ ქანებთან ერთად განიცდის ინტენსიურ მსხვრევასა და კატაკლაზს.

კავკასიონის გეოტექტონიკური დარაიონების მიხედვით, კახეთის სეგმენტი მთლიანად მოქცეულია საერთო კავკასიური მიმართების ყაზბეგ-ლაგოდეხის ტექტონიკურ ზონაში (Гамкრелидзе, 2000). ეს ზონა, რომელიც ქერცლოვანი აგებულებით ხასიათდება, გადმოხრილია სამხრეთით, რაც განპირობებულია მისი ამ მიმართულებით მოძრაობით. ზონა თავის მხრივ დამსხვრეულია დიდ და მცირე ტექტონიკურ ბლოკებად.



ნახ. 6.10. აღმოსავლეთ კავკასიონის კახეთის სეგმენტის გეოლოგიური რუკა. მოდიფიცირებულია საქართველოს გეოლოგიური რუკის (Gudjavidze et al., 2003) მიხედვით. მადანგამოვლინებები: 1 - თებულო, 2- ილურთა, 3 - საცხვრე-ხორხი, 4 - აბანო, 5 -ქვაჩადალა, 6 - ლეჩური, 7- სამჭედლო, 8 - ინგლისური, 9 - ჩელითი, 10 - შოროხევი, 11-არემი; HA - სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონა.

როგორც რეგიონის გეოფიზიკური კვლევები გვიჩვენებს (Philip et al., 1989), კავკასიონის კახეთის სეგმენტის დანალექი საფარი განლაგებულია ოკეანური ან გარდამავალი ტიპის თხელ ქერქზე (ნახ. 6. 11). აღნიშნული რეგიონის სიღრმული აგებულების მსგავს სურათს გვთავაზობენ სხვა მკვლევარებიც (Rebai et al.,1993).



ნახ. 6.11. კავკასიის ოროგენის აღმოსავლეთ ნაწილის სიღრმული გამკვეთი ჭრილი კახეთის მერიდიანზე. ჰ. ფილიპისა და სხვათა მიხედვით (Philip et al., 1989).

6.2.1.1. დანალექი საფარი

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ კავკასიონის კახეთის სეგმენტის დანალექი საფარი ძირითადად წარმოდგენილია ქვედა-შუაიურული თიხაფიქლების, ასპიდური ფიქლების და ქვიშაქვების მძლავრი სერიით, რომელშიც შუაშრეების სახით აღინიშნება მცირე სიმძლავრის ვულკანოგენურ-დანალექი წარმონაქმნები (ნახ. 6.12). დანალექი ქანების ეს სერია აგებს ანტიკლინურ სტრუქტურას, გაიდევნება NW-SE მიმართულებით და გადმოწოლილია სამხრეთისკენ. ყველა გეოლოგიური ნიშნის მიხედვით, ქანების მთელი ეს სერია დაილექა კიდურა ზღვიური ფაციესის პირობებში, პალეოზოური ფუნდამენტის ინტენსიური გაჭიმვისა და დაძირვის შედეგად. აღსანიშნავია, რომ ფუნდამენტის რამდენიმე მცირე ფრაგმენტი შიშვლდება კავკასიონის სამხრეთი ფერდის ღრმად ჩაჭრილ კანიონებში.

მკვლევართა ნაწილს მიაჩნია, რომ ამ სერიის უძველეს ქანებს წარმოადგენს

სინემურული, ე. წ. უხემარცვლოვანი არკოზული ქვიშაქვები. აღნიშნული ქანების ყველაზე დიდი გამოსავალი, დაახლოებით 4,5 კმ სიმაღლის, აღინიშნება კახეთის ანტიკლინის ღერძულ ნაწილში. მკვლევართა მონაცემებით, ეს ქანები ძირითადად წარმოდგენილია საშუალო და მსხვილმარცვლოვანი ქვიშაქვების დასტებით, რომელშიც აღინიშნება რიოლით-დაციტური შედგენილობის კვარციანი ალბიტოფირების განფენები და მათი პიროკლასტოლითები (Авалишвили и др., 1958).

აღნიშნულ სტრუქტურას კარგად აშიშვლებს მდ. სტორის ღრმად ჩაჭრილი კანიონი, სადაც ქანები განიცდის ინტენსიურ კატაკლავს, ჰიდროთერმულ სილიფიკაციასა და სულფიდიზაციას, რის გამოც, მათ ფაქტობრივად დაკარგული აქვთ პირვანდელი სახე (ნახ. 6.12). ისინი ძირითადად წარმოდგენილია კვარც-სერიციტ-ქლორიტიანი და კვარც-ქლორიტ-ეპიდოტ-ალბიტის წარმონაქმნებით, რომლებიც ინტენსიური მსხვრევის უბნებზე გამდიდრებულია სულფიდური მინერალებით პირიტითა და პიროტინით.



ნახ. 6.12. დამსხვრეული და ჰიდროთერმულად შეცვლილი სინემურული თიხა-ფიქლები მდ. სტორის ხეობაში.

სტორის გამოსავლის გარდა, ფაქტობრივად ანალოგიური წარმონაქმნე-ბითაა აგებული სპეროზას ქედი, რომელსაც კვეთს მდ. მახვალის ხეობა. ასეთივე ქანები აგრეთვე შიშვლდება მდინარეების - დიდხევის, ლოპოტისა და მაწიმის ხეობებში. ეს წარმონაქმნები ფაუნას და ფლორას არ შეიცავს, რის გამოც, სადავოა მათი ასაკი. ინტენსიური მეორადი შეცვლების გამო, სადავოა აგრეთვე მათი გენეზისიც. ზოგიერთი მკვლევარი მათ ზედა პალეოზოოურ გრანიტოიდებადაც კი მიიჩნევს (მაგ., **Бухникашвили, 1931; Крестников, Робинсон, 1955**).

ქანების ეს კომპლექსი მ. თოფჩიშვილმა (**Топчишвили, 1996**) სტორის წყების სახელწოდებით გამოჰყო და სინემურულად დაათარიდა. აღნიშნული ქანების შესახებ გამოქვეყნებულ ბოლო შრომაში, ისინი ზედა პალეოზოოურ-ტრიასულ ქვიშაქვებად განიხილება (**გიორგობიანი, 2003**). არსებობს ამ ქანების გენეზისის ახალი ინტერპრეტაცია, რომელიც დაფუძნებულია კომპლექსურ გეოლოგიურ, პეტროგრაფიულ, პეტროქიმიურ და გეოქიმიურ კრიტერიუმებზე, რომლებზეც დეტალურად შემდეგ ქვეთავში ვისაუბრებთ (**Okrostsvaridze et al., 2012**).

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში ფაუნისტურად დათარიღებულ ყველაზე ძველ დანალექ ქანებს წარმოადგენს გვიანსინემურულ-ადრეპლინსბახური თიხა-ფიქლები ე. წ. წიკლაურის წყება. ეს წყება კარგად შიშვლდება მდ. სტორის ხეობაში, იქ, სადაც ფშაველი - ომალოს საავტომობილო გზა გადის. ამ ჭრილში თუშეთის ხიდთან, კუთხეში, თიხა-ფიქლებში არსებულ კარბონატული ქვიშაქვის შუაშრებში პავლე ავალიშვილმა მიაკვლია გვიანსინემურულ-ადრეპლინსბახური ამონიტების ფაუნას (**Авалишвили и др., 1958**).

6.2.1.2. მაგმატიზმი

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში, აღინიშნება როგორც ეფუზიური, ასევე სუბ-ვულკანური და პლუტონური წარმონაქმნები. პლუტონური ინექციები შემცველ ქანებში იწვევს სილიფიკაციას, სერიციტიცაზიას, ქლორიტიზაციასა და მადნიან მინერალიზაციას. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რეგიონში იმდენად ძლიერია

ტექტონიკურ-სტრესული მოვლენები და მეორადი შეცვლები, რომ ზოგიერთ შემთხვევაში გართულებულია როგორც დანალექი, ასევე მაგმური ქანების იდენტიფიკაცია.

ეფუზიური მაგმატიზმი. კავკასიონის კახეთის სეგმენტში ეფუზიური მაგმური აქტივობა იწყება გვიანსინემურულ-ადრეპლინსბახურ დროში. ამ ეტაპის მაგმატიზმის პროდუქტები ფიქსირდება ე. წ. სტორის წყების მესამე დასტაში, რომელშიც წარმოდგენილია რიოლით-დაციტური შედგენილობის კვარცხანის ალბიტოფირების განფენებით და მათი პიროკლასტოლითებით. ეს დასტა იკვეთება დიაბაზური დაიკებით და მცირე ფუძე ინტრუზივებით. როგორც დანალექი, ასევე მაგმური ქანები განიცდის ინტენსიურ კატაკლაზს და ჰიდროთერმულ გარდაქმნებს, რის გამოც, დაკარგული აქვთ პირველადი სახე. ამჟამად ეს კომპლექსი წარმოდგენილია კვარც-ალბიტ-სერიციტიანი და კვარც-ქლორიტ-ალბიტანი ფიქლებით, რომლებიც ინტენსიურ მსხვრევას და კატაკლაზს განიცდის (**აქიმიძე, 2010**).

მომდევნო ეფუზიური ვულკანური პროდუქტები აღინიშნება პლინსბახური ასაკის წიკლაურის წყების ფარგლებში, ძირითადად წყების ზედა ნაწილში. ისინი წარმოდგენილია სუბტუტე ბაზალტური წარმონაქმნებით, რომლებიც შიშვლდება მდინარეების ქვაჩადალის, სტორის, კაბალის, შრომისხევის, ლაგოდების ხევისა და მაწიმის ხეობებში. სტორის ხეობაში ამ მაგმური წარმონაქმნების სიმძლავრე 500 მ-ს აღწევს და წარმოდგენილია ლავაბრეჩიებით და ბალიშალავური განფენებით (ნახ. 6.13) (**აქიმიძე, 2010**).

ქვედა-შუაიურული ნალექების გამოსავლები კავკასიონის კახეთის სეგმენტის სამხრეთ ფერდზე გვიანალენ-ბაიოსურით (ალმატის წყება) მთავრდება. ამ ნალექებში, სოფელ შაქრიანის მიდამოებში, გამოვლენილია ბაზალტური ვულკანიზმის პროდუქტები. როგორც ჩანს, ვულკანიზმის ეს ეტაპი, პლინსბახურთან შედარებით გაცილებით სუსტი იყო, ვინაიდან მისი პროდუქტების სიმძლავრე 10-22 მეტრის ფარგლებში მერყეობს და მიმართებაზე დაახლოებით 4 კმ-ზე გაიდევენება (**აქიმიძე, 2010**).



ნახ. 6.13. პლინსბახური სუბტუტე ბაზალტური ბალიშა-ლავური განფენის გაშიშვლება მდ. სტორის ხეობაში.

ამრიგად, თუ შევაჯამებთ ეფუზიურ მაგმატიზმზე არსებულ მონაცემებს, მაშინ კავკასიონის კახეთის სეგმენტში მისი აქტივობის სამი ეტაპი შეიძლება გამოვყოთ: 1. გვიანსინემურულ-ადრეპლინსბახური (რიოლით-დაციტ-ანდეზიტური), რომელიც დაფიქსირებულია სტორის წყებაში (სიმძლავრეები სადავოა); 2. გვიანპლინსბახურ-ადრეტოარსული (სუბტუტე ბაზალტური), რომელიც ლოკალიზებულია წიკლაურის წყებაში (სიმძლავრე – 70–500 მ); და 3. გვიან-აალენ-ბაიოსური (ბაზალტური), რომელიც ალმატის წყების ნაწილს წარმოადგენს (სიმძლავრე - 10–22 მ).

ინტრუზიული მაგმატიზმი. ინტრუზიულ მაგმურ წარმონაქმნებს კავკასიონის კახეთის სეგმენტში მნიშვნელოვანი ნაწილი უკავია, მაგრამ სტრუქტურის ინტენსიური ტექტონიკური მსხვრევებისა და კატაკლაზის გამო, გართულებულია მათი იდენტიფიკაცია. ამ სეგმენტში ფუძე ინტრუზიული მაგმატიზმი უპირატესად წარმოდგენილია დიაბაზ-პორფირიტული ძარღვებით, რომლებიც

ძირითადად ქმნის 0.3–20 მ სიმძლავრის გამკვეთ სხეულებს (ნახ. 6.14). გამოშვლებლაში ისინი გაიდევნება ათეული მეტრიდან ასეულ მეტრამდე და თითქმის არანაირ კონტაქტურ შეცვლებს არ იწვევს შემცველ ქანებში. იშვიათად, მძლავრი დაიკების კონტაქტებში აღინიშნება თიხაფიქლების სუსტი გარქაულება და ზოგჯერ ეპიდოტიზაცია. ეს კი მიუთითებს დიაბაზური დაიკების აღნიშნული სისტემის ჰიპაბისურ გენერაციაზე და მაგმური მდნარების შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე.



ნახ. 6.14. დიაბაზის დამსხვრეული მარღვი, ქვედაიურულ თიხაფიქლებში.
მდ. ალაზნის მარჯვენა ფერდი, სოფელ ხადორთან.

პირველ მონაცემებს კავკასიონის კახეთის სეგმენტის დიაბაზური წარმონაქმნების ასაკზე ვხვდებით ლ. ა. ვარდანიანცის შრომაში (1940). იგი მიიჩნევს, რომ ეს ჰიპაბისური ინტრუზივები ქვედა იურული ასაკისაა, თუმცა ამ დასკვნაში იგი ბოლომდე არაა დარწმუნებული. გ. ზარიძემ განაზოგადა კავკასიონის

დიაბაზების შესახებ არსებული მონაცემები (Заридзе, 1961) და დაუშვა, რომ კახეთის დიაბაზები, ისე როგორც მთლიანად კავკასიონის სამხრეთ ფერდის ანალოგიური წარმონაქმნები, ბაიოსის პორფირიტული წყების სინქრონულია და წარმოადგენს ამ წყების ეფუზიური მაგმატიზმის მომყვან არხებს, რასაც ჩვენ სრულიად ვიზიარებთ.

განსხვავებით დიაბაზური ინტრუზივებისა, საკითხი კავკასიონის კახეთის სეგმენტში შუალედური და მჟავე ინტრუზიული მაგმატიზმის შესახებ, სადავოა. მკვლევართა ნაწილი მიიჩნევს, რომ ამ ტიპის მაგმური აქტივობა რეგიონში პრაქტიკულად არ არსებობს (მაგ., **Авалишвили и др., 1958**), თუმცა ნაწილს საწინააღმდეგო აზრი გააჩნია (მაგ., **Бухникашвили, 1931; Харашвили, 1948**). ჩვენ მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ეს ინტრუზიული მაგმატიზმი საკმაოდ ფართოდაა წარმოდგენილი და მიგვაჩნია, რომ რეგიონში არსებული ინტენსიური ჰიდროთერმული შეცვლები სწორედ ამ მაგმურ აქტივობასთანაა დაკავშირებული (**Okrostsvaridze et al., 2012**).

ჩვენი აზრით კავკასიონის კახეთის სეგმენტში მჟავე მაგმური აქტივობის ყველაზე ნათელ მაგალითს წარმოადგენს სპეროზას კვარციანი ალბიტოფირების და კვარც-პორფირების სუბვულკანური სილები და დაიკები, რომლებიც შეჭრილია ქვედალიასურ თიხაფიქლებში და ქვიშაქვებში (ნახ. 6. 15). გარდა სპეროზას ქედისა, მჟავე შედგენილობის სუბვულკანური დაიკებითა და სილებითაა აგებული სტორის კანიონის ნაწილი (**Okrostsvaridze et al., 2018**). კავკასიონის აღმოსავლეთ გადევნებაზე მათი რაოდენობა მცირდება, თუმცა ისინი შიშვლდება მდ. ახოტის, სიფთისხევის და ლოპოტას ხეობებში. ერთეული მჟავე გამკვეთი სხეულები აღინიშნება სეპორას, კაბალის, ლაგოდეხის ხევისა და სხვა მდინარეთა ხეობებში (**Варданьянц, 1940; Харашвили, 1948; Okrostsvaridze et al., 2018**).



ნახ. 6.15. ქვედაიურული თიხაფიქლების გამკვეთი კვარც-პორფირის ძარღვი, მდ. მახვალის ხეობაში.

სტორის ხეობის მქავე ინტრუზიული მაგმატიტების კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს დაახლოებით 10 მ სიმძლავრის ქვედა იურული თიხა-ფიქლების გამკვეთი სხეული, რომელიც შიშვლდება სტორის სერპენტინის სამხრეთით, დაახლოებით 1,2 კმ-ში (Okrostsvaridze et al. 2018). იგი თავისი შედგენილობით სრულ ანალოგიას ავლენს სპეროზას მასივის გამკვეთ სხეულებთან და ძირითადად შედგება კვარცისა და პლაგიოკლაზისგან, ხოლო მცირე რაოდენობით აღინიშნება მიკროკლინი და სერიციტი. აღსანიშნავია, რომ ამ ინტრუზივის ორივე კონტაქტური ნაწილი უფრო წვრილმარცვლოვანია, ვიდრე ცენტრალური ნაწილი. ამავე დროს, ამ სხეულის პერიფერიებში აღინიშნება თიხაფიქლების ქსენოლითები, თუმცა, ცენტრალურში - ასეთი ჩანართები არ არსებობს. საინტერესოა, რომ როგორც სტორის კანიონი, ისე სპეროზას ქედის კვარც-პორფირები მინერალ ცირკონს არ შეიცავს. ვფიქრობთ ეს მოცემულობაც მნიშვნელოვან მტკიცებულებას წარმოადგენს ამ სხეულების მაგმური გენერაციის სასარგებლოდ, ვინაიდან ყველა ტიპის ქვიშაქვა, როგორც წესი გამდიდრებულია ცირკონებით.

თუ შევაჯერებთ ამ მონაცემებს, მაშინ კავკასიონის კახეთის სეგმენტის

იურულ მაგმატიზმში, სამი ძირითადი აქტივობა შეიძლება გამოიყოს: პირველი, რომელიც დაკავშირებული იყო ქვედა ლიასურში ოკეანური ქერქის დაძირვის პირველ ეტაპთან და რომლის დროსაც ადგილი ჰქონდა ანდეზიტურ-ბაზალტური მაგმის ფორმირებას და მის კრისტალურ ფრაქცირებას. სწორედ ამ ფრაქცირებული კამერის ფრონტალური, მჟავე მაგმური ნაწილი შეიჭრა სინემურულ-პლინსბახურ-ფიქლებში და ჰიპაბისურ და ეფუზურ დონეებზე ჩამოაყალიბა ფელზიტური დაიკების, სილებისა და განფენების მძლავრი სისტემა. მეორე - ფუძე მაგმური აქტივობა, რომელიც დაკავშირებული იყო დანაოჭების დაწყების პირველ ეტაპთან, მიმდინარეობდა ბაიოსურში და რომლის დროსაც გაბრო-დიაბაზურმა დაიკურმა სისტემამ გაკვეთა ლიასურ-აალენური ნალექები და ეფუზურ დონეზე მოგვცა ბაზალტური განფენები; მესამე მაგმური აქტივობა დაკავშირებულია უშუალოდ ბათურ დანაოჭებასთან და აზევებასთან, რომლის დროსაც ჩამოაყალიბდა შუალედური და მჟავე მაგმური კერები, რომელმაც გაკვეთა ქვედა ლიასურ-აალენ-ბაიოსური წარმონაქმნები და შექმნა ინტრუზიულ-ძარღვული ჰიდროთერმული სისტემა (Okrostsvaridze et al., 2016).

აღსანიშნავია რომ ჩვენ მიერ კავკასიონის კახეთის სეგმენტში სხვადასხვა ქანებიდან აღებულ იქნა 12 ნიმუში ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიური კვლევისათვის. თითოეული აღებული ნიმუშის წონა შეადგენდა 3-5 კილოგრამს, საიდანაც ცირკონების გამორჩევა განხორციელდა ჩინეთის მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიურ ინსტიტუტში. სამწუხაროდ, ეს მინერალები გამოირჩა მხოლოდ სტორის ხეობის „კვარციანი დიორიტებიდან“ (ნიმ. 11Geo-3 და ნიმ. 11Geo-5) და „არკოზული ქვიშაქვებიდან“ (ნიმ. 12Geo-100), ხოლო გაბრო-დიაბაზებიდან მათი ექსტრექცია ვერ მოხერხდა. განსაკუთრებით გვაინტერესებდა სპეროზას მასივის ქვიშაქვებისა და სოვანისწყლის მძლავრი გაბროული სხეულის დათარიღება, მაგრამ, სამწუხაროდ, მათში ცირკონები არ აღმოჩნდა. განსაკუთრებულად მოულოდნელი იყო ეს ფაქტი სპეროზას მასივის „არკოზული

ქვიშაქვებისათვის“, ვინაიდან, როგორც ცნობილია, სწორედ ქვიშაქვები მდიდრდება ტერიგენული ცირკონებით.

გამორჩეული ცირკონები (ნიმ. 11Ge-3; ნიმ. 11Ge-5; 11Ge-100) დათარიღებულ იქნა ტაივანის ნაციონალური უნივერსიტეტის იზოტოპური კვლევის ლაბორატორიაში U-Pb მეთოდით LA-ICM-MS დანადგარზე. ნიმუში 11Geo-3 აღებულ იქნა მდინარე სტორის მარჯვენა კარნიზზე, აბანოს ხიდის ჩრდილოეთით დაახლოებით 700 მეტრში. ამ ნიმუშიდან გამოირჩა 24 ცირკონი და მათმა დათარიღებამ პალეოზოური რიცხვები აჩვენა, ხოლო შეწონილი ასაკი განისაზღვრა 313 ± 8 მლნ. წლით. ამ ნიმუშიდან ქვემოთ 60 მეტრში მდინარის დინების მიმართულებით, მსგავსი ქანიდან აღებულ იქნა ნიმუში 11Geo-5. ამ ნიმუშიდან გამოირჩა 14 ცირკონი, რომელთა შეწონილი ასაკი ასევე გვიანპალეოზოურად დათარიღდა, კერძოდ 312 ± 3 მლნ წლით. რაც შეეხება მე-3 ნიმუშს (11Geo-100), იგი ავიღეთ სტორის კანიონის ცენტრალურ მონაკვეთზე გელიას სერპანტინიდან ჩრდილოეთით 150 მეტრში. ამ ნიმუშიდან გამოირჩა 24 ცირკონი და მათი შეწონილი ასაკი განისაზღვრა $317,1 \pm 5,9$ მლნ. წლით (**Okrostsvaridze et al., 2018**).

აქვე აღვნიშნავთ, რომ დათარიღებული ცირკონები ძლიერ არაა დამუშავებული, რაც საფუძველს გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ მათი გადარეცხვის წყარო ახლოს მდებარეობდა, ან ისინი მაგმურ წარმონაქმნებს წარმოადგენდა და ინტენსიური კატაკლაზი განიცადა. ამ ქანების მაგმურ გენერაციაზე მეტყველებს რამდენიმე მნიშვნელოვანი მტკიცებულება, მათ შორის, ის, რომ ამ ქანებში ფლორისა და ფაუნის ნაშთები პრაქტიკულად არ არის.

მიღებული შედეგები კავკასიონის კახეთის სეგმენტის ქანების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიური კვლევის პირველი მონაცემებია და ამდენად დისკუსიურია, ამიტომ იგი შემდგომ კვლევას საჭიროებს. ვინაიდან ამ კვლევის ძირითად მიზანს კახეთის სეგმენტში ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციის შესწავლა წარმოადგენს, ამიტომ ამ საკითხზე აქ მეტს აღარ შევჩერდებით.

6.2.1.3. ჰიდროთერმული გამადნებები

როგორც საველე დაკვირვებები, გეოქიმიურ-იზოტოპური ანალიზი და ექსპერიმენტული მონაცემები გვიჩვენებს, კოლიზიურ ოროგენებში, ისეთი როგორც კავკასიონია, მასშტაბური გამადნებები უმეტეს შემთხვევაში, დაკავშირებულია ჰიდროთერმულ პროცესებთან ჰიდროთერმული გამადნებები წარმოადგენს გამადნებათა ერთ-ერთ დიდ გენეტურ კლასს, რომელიც ფორმირდება ჰიდროთერმული გარდაქმნების შედეგად და რომელიც ქმნის ეკონომიკურად ძალზედ მნიშვნელოვან Cu, Au, Ag, Zn, Pb, Sn, Mo, Co, Cd და U საბადოებს (მაგ., **Okamoto et al., 2010; Ridley, 2013**).

როგორც ცნობილია დედამიწის ქერქში ჰიდროთერმული ფორმირდება მაგმური რეზერვუარების პერიფერიებზე. ისინი წარმოადგენს მაღალი წნევის და ტემპერატურის მქონე წყლით მდიდარ აქტიურ ქიმიურ სისტემას, რომელიც მაგმის კრისტალიზაციის გამო, მიგრაციას განიცდის სტრუქტურულიდან.

როგორც ექსპერიმენტები გვიჩვენებს (მაგ., **Okamoto et al., 2010**), სილიკატურ მდნარებში წყლის ხსნადობა მცირდება წნევის შემცირების პარალელურად და ამავე დროს მაგმის კრისტალიზაცია იწვევს მაგმურ მდნარში წყლის გამოთავისუფლებას. გამოთავისუფლებული მაღალტემპერატურული წყალი კი მოძრაობს დედამიწის ზედაპირისაკენ და ამავე დროს ახდენს ქიმიური ელემენტების და გაზების ტრანსპორტირებას. მოძრაობის გზაზე ჰიდროთერმული მიმდინარეობს წნევის მკვეთრი შემცირება და ტემპერატურის თანდათანობით დაწევა, რაც განაპირობებს მის ადულებას და კათიონების გამოლექვას ტექტონიკური რღვევების, ბრექჩირებული ზონებისა და ნაპრალთა სისტემაში.

როგორც ცნობილია, არსებობს ჰიდროთერმული გამადნებების მრავალი კლასიფიკაცია, თუმცა, აქ განვიხილავთ მხოლოდ ჯონ რიდლის შემოთავაზებულ ვერსიას (**Ridley, 2013**), რომელიც ჩვენი აზრით, ყველაზე ოპტიმალურია. იგი გამადნებათა ამ კლასში სულ 3 ტიპს გამჰყოფს:

პირველი ტიპი. ჰიდროთერმული გამადნებები, რომელიც სივრცობრივად ახლოსაა მადანმომცემ მაგმურ კერასთან და ფორმირდება მის ირგვლივ. ამ ტიპის

ჰიდროთერმული გამადნების კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს პორფირული გამადნებები, რომლებთანაც დაკავშირებულია მსოფლიოში მოპოვებული Mo თითქმის 95%, Cu - 65%-ზე მეტი, Au მნიშვნელოვანი რაოდენობა და აგრეთვე Ag და Re, როგორც მომყოლი პროდუქტები.

მეორე ტიპი. ჰიდროთერმული გამადნებები, რომლებიც ფორმირდება მაგმური აქტივობის კერიდან მოშორებით. ასეთი ტიპის მადნიანი მინერალიზაციის კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს ოროგენული გამადნება, რომელიც ფორმირდება კოლიზიურ ოროგენულ სისტემებში. ამ ტიპში მადნიანი მინერალიზაცია მიმდინარეობს მაღალი წნევის (1,5-5 კბ) და ტემპერატურის (300-450⁰ C) პირობებში, 4-15 კმ. სიღრმეზე. გამადნების შემცავ ქანებს წარმოადგენს კრისტალური ფიქლები, გნეისები და მიგმატიტები. ამ გამადნების ტიპის ძირითადი პროდუქტია Au, ხოლო თანმდევ პროდუქტს წარმოადგენს Sb და As. როგორც წესი, ჰიდროთერმული ოროგენული გამადნებები ხასიათდება მცირე მასშტაბებით, თუმცა ასევე აღინიშნება აგრეთვე გრანდიოზული გამადნებებიც. მაგალითისთვის შეგვიძლია მოვიყვანოთ დღეისათვის მსოფლიოში ოქროს ერთ-ერთი ყველაზე დიდი მარაგების მქონე, მურუნტაოს საბადო უზბეკეთში.

ჰიდროთერმული გამადნებების მე-2 ტიპის საინტერესო წარმონაქმნია რკინის ჟანგიან-სპილენძ-ოქროს გამადნებები (IOCG), რომელშიც ძირითადი მადანი ჰიდროთერმული ჰემატიტით და მაგნეტიტით არის წარმოდგენილი, ხოლო რკინის სულფიდებს წარმოადგენს პირიტი და პიროტინი. რკინის ჟანგიანი მინერალები გამადნების 10%-ზე მეტს შეადგენს. ამ გამადნებებში თავისუფალი კვარცის შემცველობა მცირეა, ხოლო კვარცის ძარღვები - იშვიათი. გამადნების ამ ტიპში Au, LREEs, Ag, As, Mo, Co, Ni და U მნიშვნელოვანი დაგროვებები აღინიშნება. ჰიდროთერმული გამადნების ამ ტიპის (IOCG) გამოყოფა გასული საუკუნის ბოლოს მოხდა, მას შემდეგ, რაც სამხრეთ ავსტრალიაში აღმოჩინეს მსოფლიო კლასის ოლიმპიკ დემის (Olympic Dam) საბადო, რომელიც შეიცავს Fe, Au, REEs, Ag, As, Mo, Co, Ni და U მნიშვნელოვან მარაგებს (მაგ., **Reynolds, 2001**).

მესამე ტიპი. ამ ტიპის საბადოები ფორმირდება სედიმენტაციურ აუზებში, თუმცა ისინი მასალის წყაროთი დაკავშირებულია აქტიურ მაგმურ კერებთან. ამ ტიპის საბადოები თანამედროვე მსოფლიოში Pb, Zn, Co და U, ხოლო ნაწილობრივ Ag და Cu ძირითად რეზერვებს წარმოადგენს.

ამ ტიპის გამადნეების ფორმირებისას ჰიდროთერმების ტრანსპორტირება ხორციელდება რამდენიმე კილომეტრის მანძილზე, რის გამოც მადნიანი მინერალიზაციის პროცესები მიმდინარეობს შედარებით დაბალი ტემპერატურული რეჟიმის პირობებში, ძირითადად 100-200° C გრადუსის ფარგლებში.

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში დანალექი საფარი ინტენსიურ ჰიდროთერმულ შეცვლებს და მინერალიზაციას განიცდის. ეს პროცესი განსაკუთრებით ინტენსიურადაა გამოვლენილი მდინარე სტორის ხეობაში, რომელიც რამდენიმე ეტაპად მიმდინარეობდა (ნახ. 6. 16). ამ პროცესების შედეგად ამ სეგმენტში ჩამოყალიბდა მრავალრიცხოვანი მადანგამოვლინებები, რომელთა შესახებაც შემდგომ თავში ვისაუბრებთ.



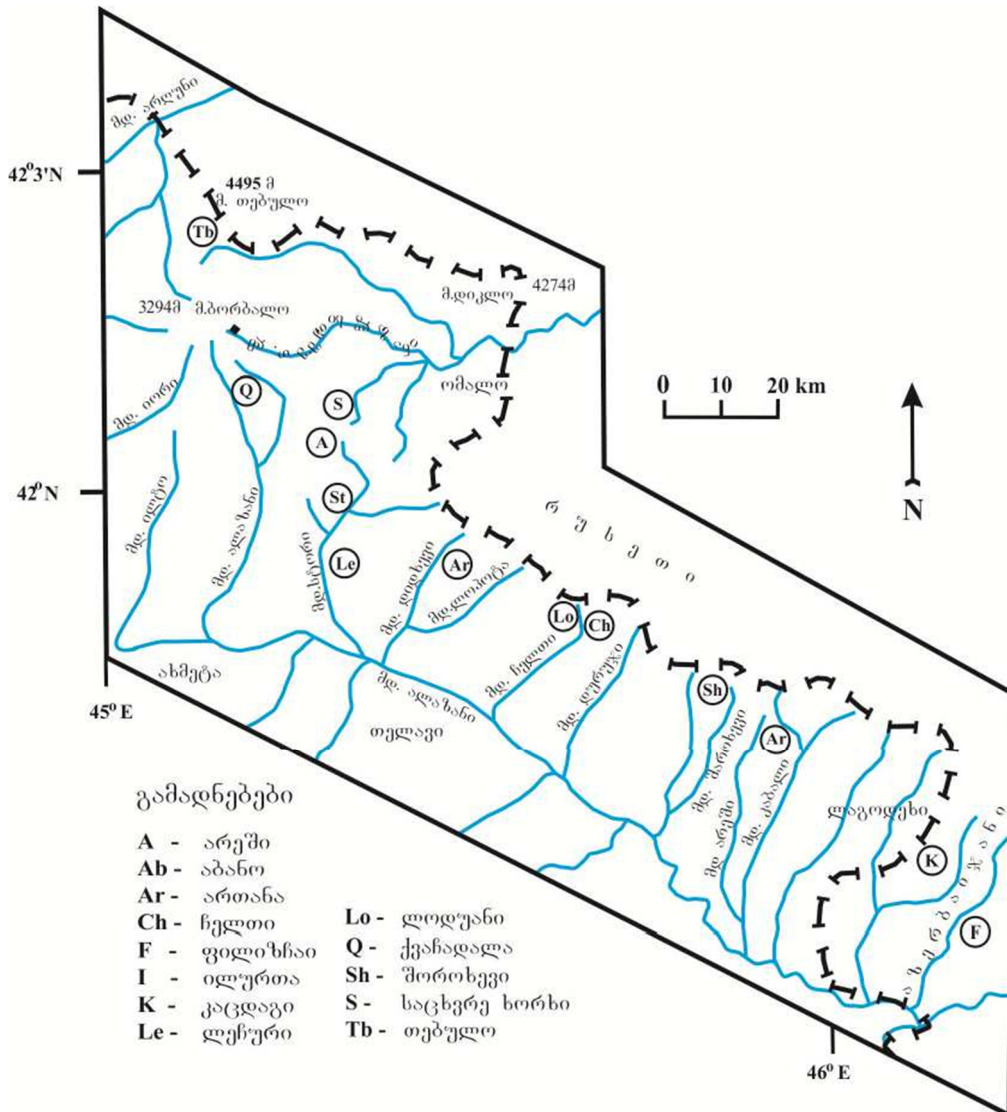
ნახ.6.16. მდ. სტორის ხეობაში არსებული გაშიშვლება, სადაც პლინსბახური თიხა-ფიქალი ჰიდროთერმულ გაკვარცებასა და მადნიან მინერალიზაციას განიცდის.

A-გაკვარცებული და კარბონატიზირებული თიხა-ფიქალი; B-კვარცის ძარღვი;

C -კარბონატული ძარღვაკები, D - კვარც-პირიტ-პიროტინული ძარღვი.

6.2.2. მადანგამოვლინებები

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში თანამედროვე ეროზიულ დონეზე ამჟამად მიკვლეულია 100-ზე მეტი მადანგამოვლინება (ნახ. 6.17), რომლებიც წარმოდგენილია ჩანაწინწკლების, ბუდობების, მარღვაკების ან მასიური მადნიანი სხეულების სახით.



ნახ. 6.17. კავკასიონის კახეთის სეგმენტის მადანგამოვლინებების ლოკალიზაციის სქემა.

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში დანალექი საფარის ჰიდროთერმული შეცვლებისა და მადანგამოვლინებების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თანამედროვე ეროზიული დონე გამადნებული არელების მხოლოდ მცირე, ზედა დონეებს აშიშვლებს, ხოლო უდიდესი ნაწილი დაფარულია. ამ სეგმენტში ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა თებულოს, ილურთას, საცხვრე ხორხის, აბანოს, ქვაჩადალას, ართანას, ლოდუანის, ჩელთის, შოროხევისა, არემის და სტორის მადნიანი ველის სახელწოდებით გაერთიანებული გელიას, ბენდენას და თორიუმიანი მადანგამოვლინებები (Okrostsvaridze et al., 2018).

სტორის მადნიანი ველი წარმოადგენს სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონის ფარგლებში არსებულ მადანგამოვლინებათა ერთობლიობას. ზონა განვითარებულია კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე, მდ. სტორის კანიონში და სამხრეთიდან ჩრდილოეთით უბან-უბან გაიდევნება თითქმის მთელი კანიონის გასწვრივ, დაახლოებით 4 კმ-ზე. ამ ზონას კვეთს ფშაველი-ომალოს საავტომობილო გრუნტიანი გზა, რის გამოც შესაძლებელი გახდა მისი შედარებით უკეთ შესწავლა. თუმცა, კანიონის რთული რელიეფისა და მძლავრი ტყის საფარის გამო, აქ სრულფასოვანი გეოლოგიური ინფორმაციის მოპოვება გამწვანებულია და შესაბამისად, შეუძლებელია სრული გეოლოგიური სურათის აღდგენა.

სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონა განვითარებულია სინემურულ-პლინსბახურ თიხაფიქლებში და ქვიშაქვებში. შეცვლილი ეს ქანები ძირითადად წარმოდგენილია კვარც-სერიციტული ასოციაციებით (ნახ. 6. 18), ხოლო უფრო დამორჩილებულად აღინიშნება ალბიტ-ქლორიტ-ეპიდოტური და კვარც-ალბიტ-ქლორიტ-კალციტური ასოციაციები (ნახ. 6.19). ყველა ეს ასოციაცია განიცდის ინტენსიურ პირიტიზაციას, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ ეს ჰიდროთერმები მდიდარი იყო მეტალებით, მათ შორის რკინითა და გოგირდით.



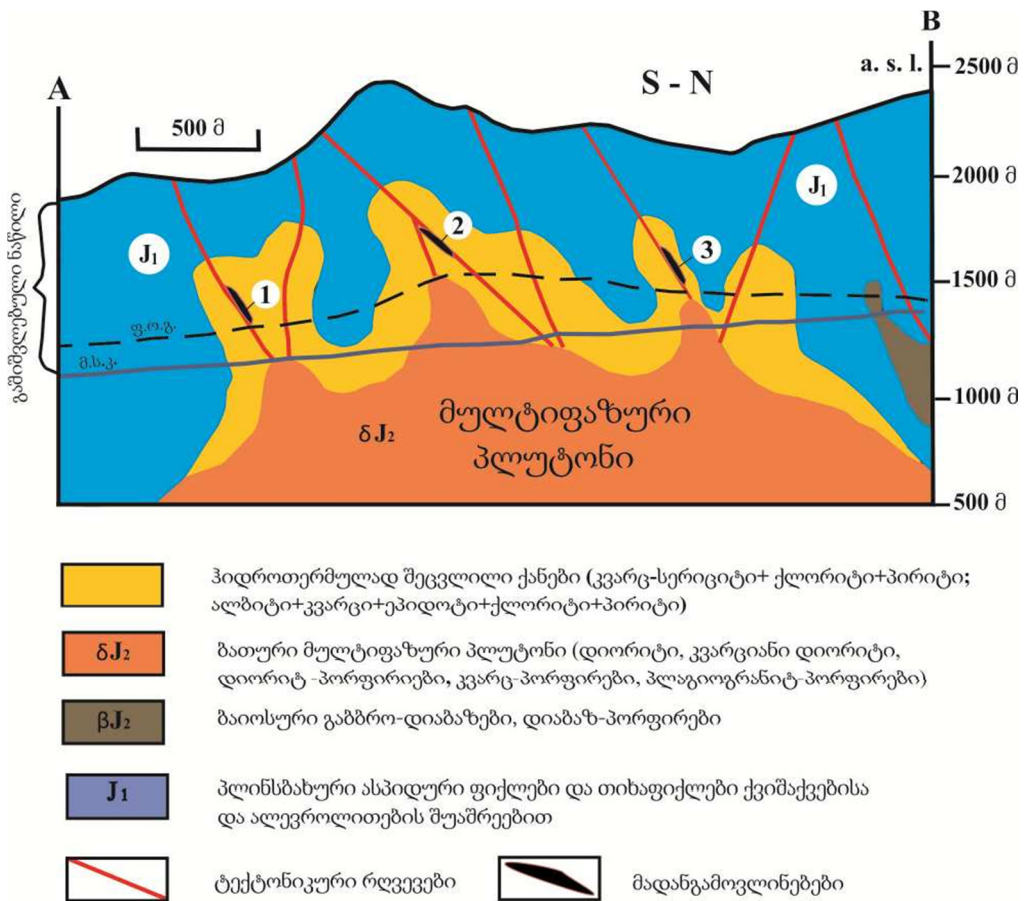
ნახ. 6.18. მდინარე სტორის კანიონის პლინსბახურ თიხაფიქლებში არსებული ჰიდროთერმული კვარც-სერიციტული ასოციაციები.



ნახ. 6.19. მდინარე სტორის კანიონის პლინსბახურ თიხაფიქლებში არსებული ჰიდროთერმული ალბიტ-ქლორიტ-ეპიდოტური ასოციაციები.

ამ ქანების იდენტიფიკაცია გაშიშვლებაში ადვილია, ვინაიდან მათ გააჩნია მოწითალო, მოყვითალო და მონაცრისფრო შეფერილობები. ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ ისინი წარმოადგენს ტიპურ ჰიდროთერმულ ფილიტებსა და პროპილიტებს, რომლებიც როგორც წესი, ვითარდება მძლავრი პორფირული გამადნებების თავზე და ირგვლივ (Ridley, 2013)

პლუტონური სხეულის აპოფიზები, ჰიდროთერმულად შეცვლილი ასოციაციები და გამადნების ტიპები წარმოადგენს მტკიცებულებებს, რომელთა მიხედვითაც, სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი კომპლექსის ქვეშ უნდა არსებობდეს, შუალედური შედგენილობის, მულტიფაზური მძლავრი პლუტონი (ნახ. 6.20).



ნახ. 6.20. მდინარე სტორის კანიონის სექმატური გეოლოგიური ჭრილი. ფ.ო.გ. - ფშაველი-ომალოს გზა; მ.ს.კ. მდინარე სტორის კანიონის ეროზიული დონე. მადანგამოვლინებები: 1. ბენდენა; 2. გელია; 3. თორიუმიანი.

სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონის გარკვეულ მონაკვეთებზე აღინიშნება ოქროს ამაღლებული კონცენტრაციები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ მათი მომცემი ჰიდროთერმები შეიცავდა ამ მეტალს. ეს კი იმის უფლებას, გვამლევს, დავუშვათ, რომ ჰიდროთერმული შეცვლის სისტემის რომელიმე სტრუქტურულად ხელსაყრელ პოზიციაში, შესაძლებელია ამ ზონაში ჩამოყალიბებულიყო ოქროს მნიშვნელოვანი დაგროვებები (Okrostsvavidze et al., 2016).

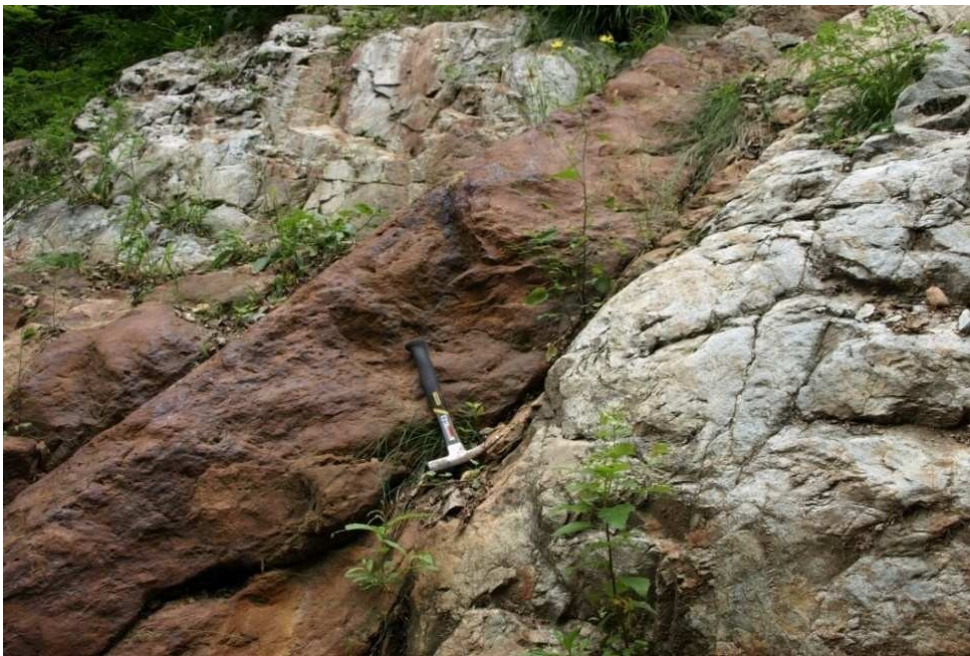
სტორის კანიონში, გარდა აღნიშნული ოქროს ამაღლებული კონცენტრაციებისა დაფიქსირებულია აგრეთვე სამი მადაგამოვლინება: ბენდენას, გელიას და თორის. თუმცა, დიდი ალბათობით, ამ ზონაში მადანგამოვლინებების რიცხვი გაცილებით მეტია, ვიდრე ჩვენ მიერ მიკვლეული, ვინაიდან რელიეფის სირთულის გამო გაძნელებულია მათი აღმოჩენა.

გელიას მადანგამოვლინება. ეს მადანგამოვლინება შიშვლდება სტორის მადნიანი ველის ცენტრალურ ნაწილში, გელიას დაკიდებულ ხევში. უფრო სწორი იქნება თუ ამ ხევს კულუარს ვუწოდებთ, ვინაიდან ძალიან დამრეცია. იგი შიშვლდება სამანქანო გზიდან 200 მეტრის ზემოთ და წარმოადგენს ტექტონიკურ ზონაში ფორმირებულ სპილენძ-პიროტინული გამადნების მძლავრ ძარღვს.

აღმავალ ჭრილში, ვიდრე უშუალოდ გელიას ძარღვი გაშიშვლდებოდეს, შემცავ ქანებში ჩნდება მადნიანი მინერალების მრავალრიცხოვანი ოვალური პატარა ბუდობები, რომლებიც ძირითადად წარმოდგენილია გამოჟანგული პიროტინით. მადნიანი ძარღვი რელიეფში მკვეთრად შიშვლდება (ნახ. 6. 21) და ცვალებადი, 5-12 მ სიმძლავრით უწყვეტად გაიდევნება ქედისკენ დაახლოებით 90 მ-ზე და შემდეგ შედის შემცავ ფელზურ ჰიდროთერმულ ქანებში (ნახ. 6. 22). აქედან გაშიშვლებაზე გადევნება შეუძლებელია, ვინაიდან რელიეფი რთულდება და გადადის მძლავრ კარნიზებში. ამ მადნიანი ძარღვის ძირითადი მინერალი პიროტინია, ხოლო დამორჩილებულად გვხვდება ქალკოპირიტი, არსენოპირიტი და პირიტი. აღსანიშნავია, რომ ასეთი დიდი მასშტაბის ზედაპირზე გაშიშვლებული მადნიანი ძარღვი კავკასიონის კახეთის სეგმენტში პირველად დაფიქსირდა.



ნახ. 6.21. გელის მადნიანი ძარღვის გაშიშვლების დასაწყისი აღმავალ ჭრილში.



ნახ. 6.22. გელის მადნიანი ძარღვის გაშიშვლების დასასრული აღმავალ ჭრილში.

ამ ძარღვის მასიური მადნის 15 სინჯში განვსაზღვრეთ 39 ქიმიური ელემენტის შემცველობა (ანალიზები ჩატარდა ICP-MS დანადგარზე 1F15 მეთოდით). მიღებული შედეგები ასეთია: სპილენძის კონცენტრაცია მერყეობს 350 - 1660 გ/ტ-ის, ტყვიის - 11 - 33 გ/ტ-ის, თუთიის - 25 - 35 გ/ტ-ის, დარიშხანის 1500 - 6400 გ/ტ-ის, კობალტის 124 - 295 გ/ტ-ის, ხოლო რკინის - 25-35 %-ის ფარგლებში. რაც შეეხება ამ ძარღვში თორიუმის შემცველობას, ოდნავადაა მომატებული და მერყეობს 22 გ/ტ-დან 37 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო ურანის კონცენტრაცია ნორმულის ფარგლებშია. ამ ძარღვში განსაკუთრებულ ყურადღებას იქცევს კობალტის ამაღლებული შემცველობა, რომელიც ნორმულთან შედარებით თითქმის 300-ჯერ არის გაზრდილი. თუ შევაჯამებთ გელიას ძარღვის ქიმიური ანალიზის შედეგებს, მაშინ იგი უნდა მივიჩნიოთ რკინით მდიდარ სულფიდურ გამადნებად, რომელთა ანალოგებიც ხშირად ფორმირდებიან პორფირული საბადოების თავზე არსებული ჰიდროთერმული შეცვლის ზონებში (Ridley, 2013). თუ ამ მონაცემებს დავეყრდნობით, მაშინ გელიას ძარღვის ქვეშ, დიდი ალბათობით, უნდა არსებობდეს მნიშვნელოვანი პორფირული გამადნება.

აღსანიშნავია, რომ გელიას ძარღვის გასწვრივ ჩავატარეთ ელექტროზონდირება. იმ ხევში სადაც ძარღვი უშუალოდ შიშვლდება, ამ სამუშაოს ჩატარება შეუძლებელი აღმოჩნდა, ვინაიდან რელიეფი ძალიან დამრეცია. ელექტროზონდირება ჩავატარეთ გელიას ხევის მარცხენა ქედზე, კალაპოტიდან დაახლოებით 30 მეტრით ზემოთ. სამწუხაროდ, რთული რელიეფის გამო, მხოლოდ ერთი პროფილის გაკეთება მოხერხდა, ისიც 100 მეტრიანი გაშლით.

ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა რომ ერთგანზომილებიანი მოდელის სქემაზე დაახლოებით 20 მეტრის სიღრმეზე, ქანების წინაღობა მცირდება 2000 ომიდან 900 ომამდე (ცხრ. 6.3), რაც გამოწვეული უნდა იყოს შრის ელექტროგამტარუნარიანობის გაზრდით. ეს კი იმის უფლებას გვაძლევს დავუშვათ, რომ ამ ქანების დაბალი ელექტროწინააღმდეგობა განპირობებული უნდა იყოს მათში მეტალების დიდი კონცენტრაციით. ამ მონაცემების მიხედვით, გამოდის,

რომ გელიას ძარღვი დაკვირვების ზედაპირიდან 20 მეტრით ქვემოთაა ლოკალიზებული, რაც სრულ შესაბამისობაშია არსებულ რეალობასთან.

ცხრილი 6.3. გელიას ხევის ელექტროზონდირების შედეგები

ფენათა რიცხვი	მოჩვენებითი წინაღობა ρ_{app} ომი*მ	ფენის სიმძლავრე, d, მ	ფენის სიღრმე h, მ	მოდელის ცნობილება %
1	20	1,2	1,2	220
2	20000	20	21,2	-
3	900	-	-	-

სამწუხაროდ, ვერტიკალური ელექტროზონდირების 100 მეტრიანი გაშლა არასაკმარისი აღმოჩნდაძარღვის ქვედა საზღვრის დაფიქსირებისთვის და პასუხგაუცემელი რჩება შეკითხვა - თუ როგორია გელიას მადნიანი ძარღვის მასშტაბები სირღმეში. ამ მონაცემების მიხედვით, ძარღვი, სიღრმეში დაკვირვების ზედაპირიდან 20 მეტრიდან იწყება და 40 მეტრის შემდეგაც გრძელდება, თუმცა, ვერ დადგინდა მისი საბოლოო სიმძლავრე. ამასთან, ელექტროზონდირება განვახორციელეთ უშუალოდ გაშიშვლებული ძარღვიდან ჩრდილოეთით, 50 მ მოცილებით. ეს კი იმაზე მეტყველებს რომ მინერალიზებული ზონა არა მარტო გრძელა, არამედ საკმაოდ ფართოა. როგორც ვხედავთ ეს ძალიან ოპტიმისტური მონაცემებია და ცხადია საჭიროებს მომავალ კვლევებს.

ლეჩურის მადანგამოვლინება. პროექტით დაგეგმილი სამუშაოების პროცესში, სოფელ ლეჩურის სამხრეთით, მდ. სტორის მარცხენა უსახელო შენაკადში, შესართავიდან დაახლოებით 1,7 კმ-ზე, ჩვენ მიერ პირველად დაფიქსირდა კოლჩედანურ-პოლიმეტალური მადანგამოვლინება, რომლის ფორმისა და ზომების დადგენა, მძლავრი დელუვიური საფარის გამო, ვერ მოხერხდა. მასიური პოლიმეტალური გამადნება ამ პატარა მდინარის კალაპოტში შიშვლდება, დაახლოებით 2 მ სიმაღლის კარნიზის ფორმით, რომელზედაც გადასვლა შეუძლებელია.

ამ ხეობის მარცხენა კარნიზები უკეთაა გაშიშვლებული და აგებულია ჰიდროთერმული გენერაციის კვარც-ქლორიტ-სერიციტიანი ფიქლებით, რომლებიც დასერილია სხვადასხვა ორიენტაციის სულფიდიზირებული კვარცის მარღვებით. ეს ჰიდროთერმული ზონა 22-25 მეტრი სიმძლავრით 200 მეტრზე მეტ მანძილზე შიშვლდება (დაქ. აზიმ. 20-25⁰, დახრის კუთხე 40-45⁰) და ლოკალიზებულია ტოარსულ თიხაფიქლებში და ქვიშაქვებში.

აღნიშნული მადანგამოვლინების მასიური მადნიდან ავიღეთ 6 სინჯი, ხოლო ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანების გამკვეთი სულფიდიზირებული კვარცის მარღვიდან - 4 სინჯი. ამ სინჯებში მეტალების ქიმიური ანალიზები ჩატარდა ICP-MS დანადგარზე 1F15 და 3B მეთოდების გამოყენებით.

მასიური მადნიანი სხეულიდან აღებულ სინჯებში მეტალების კონცენტრაცია მერყეობს: ოქრო - 0.02 - 0.08 გ/ტ-ის, ვერცხლი - 5 - 16 გ/ტ-ის, დარიშხანი - 40 - 292 გ/ტ-ის, ბისმუტი - 7 - 28 გ/ტ-ის, კადმიუმი - 9 - 26 გ/ტ-ის, კობალტი - 7 - 21 გ/ტ-ის, სპილენძი - 300 - 1470 გ/ტ-ის ფარგლებში. ამ მარღვში განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ტყვიისა და თუთიის კონცენტრაცია. პირველის შემცველობის ყველაზე დაბალი მონაცემია 1850 გ/ტ, ხოლო ყველაზე მაღალი მეტია 10000 გ/ტ-ზე. დაახლოებით ასეთივე მაჩვენებელი აქვს თუთიასაც. მისი ყველაზე დაბალი კონცენტრაცია არის 3380 გ/ტ, ხოლო ყველაზე მაღალი - მეტია 10000 გ/ტ-ზე. ამ მონაცემების მიხედვით, ფაქტობრივად ვერ დგინდება ამ მეტალების კონცენტრაციის ზედა ზღვარი, ვინაიდან ICP-MS დანადგარზე ქიმიური ელემენტის ანალიზის ზედა ზღვარი შეადგენს 10000 გ/ტ-ს.

სულფიდიზირებულ კვარცის მარღვის ოთხივე სინჯში მეტალების კონცენტრაცია თითქმის თანაბარია და მათი საშუალო შემცველობები ასეთია: ოქრო - 0.08 გ/ტ, ვერცხლი - 5 გ/ტ, დარიშხანი - 292 გ/ტ, ბისმუტი - 9 გ/ტ, კადმიუმი - 9 გ/ტ, კობალტი - 7 გ/ტ, სპილენძი - 696 გ/ტ, ტყვია - 9010 გ/ტ და თუთია > 10000 გ/ტ.

აღსანიშნავია, რომ ლოკალიზაციის გეოტექტონიკური პოზიციით, გამადნების გენეტური ტიპით, მეტალთა კონცენტრაციის მიხედვით და შემცავი ქანების ლითოლოგიით და ასაკით, ლეჩურის მადანგამოვლინება დიდ მსგავსებას ავლენს აზერბაიჯანის ცნობილ ფილისჩაისა და კაცდაგის კოლჩედანურ-პოლიმეტალურ საბადოებთან (მაგ., **Новрузов, 2011**). ამ მოცემულობების ანალიზის შედეგად მიგვაჩნია, რომ ლეჩურის მადანგამოვლინების რაიონში მომავალში უნდა განხორციელდეს შემდგომი ძებნითი სამუშაოები.

სტორის ჰიდროელექტროსადგურის გვირაბი. კავკასიონის კახეთის სეგმენტში თორიუმის მადანგამოვლინებების ძებნითი სამუშაოს დროს, გეოქიმიურად აგრეთვე დავსინჯეთ სტორის ჰიდროელექტროსადგურისათვის გაყვანილი გვირაბი, ვინაიდან მასში სრულიად საღი, ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანები შიშვლდება. მისი სიგრძე 2,4 კილომეტრია და გაყვანილია მთლიანად ქვედაიურულ თიხა-ფიქლებში, რომლებიც ძლიერ ტექტონიკურ მსხვრევას განიცდის.

ამ გვირაბის ჩრდილოეთ ნაწილი, რომელიც თიხა-ფიქლებით და ქვიშაქვებითაა აგებული, დაახლოებით 800 მეტრ მანძილზე, უბან-უბან (5-100 მეტრიანი სეგმენტები) ინტენსიურ პირიტიზაციას განიცდის. აღნიშნულის გამო, ჩვენ მიერ დასინჯულ იქნა პირველი 90 მეტრიანი მონაკვეთი, საიდანაც ავიღეთ და გავაანალიზეთ 12 სინჯი. ამ სინჯებიდან მხოლოდ ერთში დაფიქსირდა ოქროს ამაღლებული შემცველობა (0,7 გ/ტ), ერთში დაფიქსირდა ვოლფრამის მაღალი კონცენტრაცია (500 გ/ტ) და ყველა ნიმუშში დაფიქსირდა სელენის მაღალი შემცველობები (200-250 გ/ტ). ამ ჭრილში თორიუმის და ურანის შემცველობები ნორმულის ფარგლებში აღმოჩნდა (ცხრ. 6.4), თუმცა საველე დაკვირვებიდან გამომდინარე მოლოდინი უფრო დიდი გვექონდა.

ცხრილი 6. 4. მდ. სტორის გვირაბის პირიტიზებული თიხაფიქლების იშვიათი ელემენტებისა (გ/ტ) და რკინის (%) ქიმიური ანალიზის შედეგები

ნომ.№	SS1	SS5	SS20	SS40	SS50	SS60	SS70	SS80	SS90
Ag	0,11	0,19	0,15	0,9	0,23	0,09	0,23	0,06	0,31
Cu	73,3	39,7	279	246	73	47	65	29	132
Ga	17,2	19,5	19,7	25,4	19,32	24,5	16,9	20,7	18,4
Hf	1,32	6,65	2,12	3,78	1,76	2,34	1,83	2,23	1,93
La	67,5	5,6	55,2	96,4	62, 6	69,1	52,7	72,5	73,4
Li	18,4	19,4	17,4	21,7	17,5	16,6	17,7	13,6	18,6
Sc	3,8	5,0	4,9	4,7	5,4	8,5	4,3	5,5	6,9
Se	9	4	5	6	8	9	9	7	5
Sn	2,8	1,9	1,6	0,43	1,7	1,9	1,6	1,9	1,65
Sr	73,8	23,1	88,1	87,5	53,6	54	43	95,9	97
Ta	0,79	0,74	0,69	0,34	0,55	0,54	0,49	0,30	0,98
Te	0,25	0,17	0,12	0,90	0,86	0,23	0,18	0,27	0,61
Th	12,3	11,8	16,5	14,5	19,4	10,1	8,3	12,0	6,8
Co	49,5	43,8	25	78	47	32	31	44	27
Tl	0,33	0,95	1,85	1,73	0,88	1,65	1,64	1,24	1,88
U	1,71	1,27	1,09	1,54	1,45	1,83	1,61	2,05	1,81
V	207	189	169	107	179	154	189	194	179
W	1,9	1,12	1,6	500	1,8	2,3	1,0	1,1	1,1
Y	48,9	57,0	34,0	17,5	26,1	17,5	11,6	16,5	14,5
Zn	130	274	157	105	79	271	132	177	285
Zr	153,4	123,3	101,3	76	38,5	23,9	81,3	36,1	33,7
Mo	7,5	5,6	4,7	5,8	5,6	7,2	11,8	8,4	7,5
Ce	232	250	127	162	214	136,5	243,77	149,9	266,5
P	745	1060	1153	1355	982	945	1006	423	1213
Fe%	9,29	7,84	5,8	9,5	7,2	9,15	5,98	7,87	8,54

6.2.2.1. სტორისა და მახვალის თორიუმის მადანგამოვლინებები

სტორის Th-Bi მადანგამოვლინება. ეს მადანგამოვლინება შიშვლდება სტორის მადნიანი ველის ჩრდილო ნაწილში და ლოკალიზებულია მძლავრ, საერთო კავკასიური მიმართების რღვევის ზონაში (ნახ. 6.23). ამ ზონაში კარბონატიზებული კვარც-პლაგიოკლაზიანი ძარღვები კვეთს პლინსბახურ თიხაფიქლებს და მათი სიმძლავრეები 30-40 სმ ფარგლებში მერყეობს. ერთ ძარღვში

თორიუმის შემცველობა აღწევს - 3882 გ/ტ-ს, ხოლო ბისმუტის - 4806 გ/ტ-ს. გარდა ამისა, ამავე ძარღვის ერთ ნიმუშში (8-09B) დაფიქსირდა ვერცხლის მაღალი კონცენტრაცია (275გ/ტ), ხოლო 2 ნიმუშში (6-08 და 7-08), რომლებიც წარმოადგენს ფილიტიზებულ თიხაფიქლებს, დაფიქსირდა ლანთანის ანომალურად მაღალი შემცველობა, კერძოდ 17166 გ/ტ და 16628.0 გ/ტ (ცხრ. 6.5). უდავოა, ეს მონაცემები იმაზე მიგვითითებს, რომ ჰიდროთერმები, რომლებიც მონაწილეობდა სტორის თორიუმისანი ზონის მინერალიზაციაში გამდიდრებული იყო იშვიათი ელემენტებით: თორიუმით, ბისმუტით და ლანთანით. ეს ანალიზები ჩატარდა აკმელეების ლაბორატორიაში (AcmeLab-ში) კანადაში, LA-ICP-MS დანადგარზე, 1F15 მეთოდით გამოყენებით.

აღსანიშნავია, რომ ამ ტიპის, გაკარბონატებულ კვარც-პლაგიოკლაზიან ძარღვებთან დაკავშირებული თორიუმისანი მადანგამოვლინებები ამჟამად მსოფლიოს მრავალ რეგიონშია ცნობილი, თუმცა პირველად აღწერილ იქნა აშშ-ში (Staatz, 1974).



ნახ. 6.23. თორიუმისა და ბისმუტის ანომალურად მაღალი შემცველობის კარბონატიზირებული კვარც-პლაგიოკლაზიანი ძარღვი მდ. სტორის ხეობაში.

ცხრილი 6. 5. მდ. სტორის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონის Th, Bi და ზოგიერთი სხვა იშვიათი ელემენტის ქიმიური ანალიზის შედეგები (გ/ტ)

ნიმ.	6-09	7-09	8-09W	8-09B	9-09	10-09	11-09	12-09
Cu	32,78	27,43	26,14	1414,62	66,7	191,31	103,06	64,91
Pb	43,14	30,91	5,81	33,32	6,11	18,42	12,68	22,16
Zn	10,6	5,8	6	0,5	7,3	6,8	7,8	5,9
Ag	4,9	7,8	6,1	275,5	17,8	7,2	13,6	12,4
Ni	0,03	0,02	0,19	13,95	0,02	0,11	0,56	0,22
Co	13,19	4,73	0,4	1,41	0,61	2,11	2,02	6,65
As	0,13	0,19	0,28	20	11,23	0,32	0,84	1,09
U	0,027	0,012	0,017	0,003	0,071	0,044	0,034	0,055
Th	7,6	11,7	50,9	3842	39	41,4	203	99
Sr	3600	3770	13	483	787	179	108	84
Cd	21,3	6,1	4,2	64	40	30,7	8,2	37,7
Sb	7,1	3,5	3,2	118,3	19,3	13,5	7,9	20,6
Bi	57	61	197	4806	881	234	319	396
V	5,7	0,99	1,39	0, 23	5,76	2,68	3	3,91
La	1716	16628	5,9	8,8	3204,9	20,9	12,5	8,1
Tl	1,23	0,13	0,04	0,04	0,03	0,11	0,006	0,16
Te	0,02	0,01	0,02	1,2	0,11	0,08	0,53	0,003

მოგვიანებით, მდ. სტორის პარალელური, მდ. მახვალის ხეობის, ჰიდროთერმულად შეცვლილი და მინერალიზებული ზონიდან, თორიუმის მინერალიზაციის დადგენის მიზნით, ავიღეთ 8 სინჯი. ეს სინჯები გაანალიზდა იგივე ლაბორატორიაში, იგივე მეთოდით და მათშიც დაფიქსირდა თორიუმის მაღალი კონცენტრაციები (6. 6). კონკრეტულად, ამ ელემენტის შემცველობები მერყეობს 33.3 - 203 გ/ტ-ის ფარგლებში. გარდა ამისა, ყველა იმ ნიმუშში, რომელშიც

დაფიქსირდა თორიუმის კონცენტრაციები, აღინიშნა აგრეთვე ბისმუთის მაღალი შემცველობებიც, კონკრეტულად - 197-900 გ/ტ-ის ფარგლებში (ცხრ. 6.6).

ცხრილი 6. 6. მდინარე მახვალის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონის Th, Bi და ზოგიერთი სხვა იშვიათი ელემენტის ქიმიური ანალიზის შედეგები (გ/ტ)

ნომ.	13-09	14-09 Y	14-09W	15-09	16-09	18-09	38-09	41-09
Cu	20,8	51,49	9,33	38,34	68,1	226,65	24,89	19,22
Pb	16,55	11,77	6,09	8,2	6,58	5,24	6,37	4,69
Zn	4,8	7,5	9,6	7,1	1,7	5,5	3,5	8,9
Ag	4,5	14	5,5	29,6	36,7	19,2	15,3	12,4
Ni	0,45	0,11	0,01	0,08	0,04	0,06	0,06	0,02
Co	2,24	1,52	1,93	1,06	0,65	0,6	1,65	2,43
As	0,23	0,45	0,19	1,23	1,75	2,06	1,2	0,29
U	0,033	0,083	0,032	0,048	0,071	0,082	0,017	0,036
Au	1,5	15	1,8	8,1	6,2	4,3	2,4	2,9
Th	127,4	54,1	24,4	67,2	39,2	41,1	46,5	33,3
Sr	86	62	6	37	61	87	23	9
Cd	8,2	12,7	7	26,9	23,6	22,6	9,4	15,7
Sb	11,4	10,3	3,6	12,8	19,6	48,1	5,9	6,7
Bi	174	530	334	805	468	532	900	511
V	1,78	4,14	1,06	3,37	5,17	7,56	2,01	1,94
La	5	1,9	1	0,7	4,7	4,5	0,9	1,5
Ga	0,8	4,1	3,5	3,4	4,4	3,3	4,2	5

მდ. მახვალის ხეობაშიც შეცვლილია ქვედაიურული თიხაფიქლები და დაახლოებით იგივე მინერალური ასოციაციებია განვითარებული, როგორც არის სტორის ხეობაში, კერძოდ ფილიტიზებული თიხაფიქლები. თუმცა, აქ გაცილებით მცირე მასშტაბია და შეცვლილი ქანები მხოლოდ 200 მ მანძილზე შიშვლდება. ამასთან ერთად, განსხვავებით სტორის ხეობისა, ამ ხეობაში ლანთანის კონცენტრაცია ნორმულის ფარგლებშია. სამწუხაროდ, ჩატარებული გეოქიმიური კვლევის პაკეტში არ შედიოდა იტრიუმის ანალიზი, თუმცა ვფიქრობთ, ორივე ხეობის შეცვლილ ქანებში, ამ ელემენტის კონცენტრაციაც ამაღლებული უნდა იყოს.

6.2.2.2. დისკუსია და დასკვნა

კავკასიონის კახეთის სეგმენტში ჩატარებულმა მეტალოგენურმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ მასში მადანგამოვლინების ფართო სპექტრია წარმოდგენილი. მათი უდიდესი ნაწილი, სავარაუდოდ, თანამედროვე ეროზიულ დონეზე არ შიშვლდება და გადაფარულია უფრო ახალგაზრდა წარმონაქმნებით. მთელი რიგი პარამეტრების მიხედვით, ეს მადანგამოვლინებები ზოგადად მიეკუთვნება ჰიდროთერმულ ტიპს, რომლებიც სივრცობრივად დაკავშირებულია მაგმურ კერებთან (Ridley, 2013).

ზოგადად კავკასიონის კახეთის სეგმენტში მადანგამოვლინებების ორ ზონას გამოყოფენ - სამხრეთის და ჩრდილოეთის. სამხრეთ ზონაში ლოკალიზებულია სპილენძ-პიროტინული გამადნებები (სამჭედლო, ინგლისური, კაცდაგი და სხვ.), ჩრდილოეთის ზონაში კი - კოლჩედანურ-პოლიმეტალური (აბანო, ილურთა, თებულო და სხვ.) (მაგ., **Харашвили, 1948, 1964; Акимидзе и др., 1980; Бუадзе и др., 1983**). მკვლევართა ნაწილს მიაჩნია, რომ რეგიონში განსხვავებული შედგენილობის მადნების ფორმირება განპირობებულია სხვადასხვა წყაროებით. მაგალითად სპილენძ-პიროტინული მადნების ფორმირება დაკავშირებულია ფუძე და საშუალო მაგმატიზმთან, ხოლო კოლჩედანურ-პოლიმეტალური - მჟავე მაგმურ კერებთან (მაგ., **Bogdanov, Kuttyrev, 1973**).

ჩვენ მიერ ჩატარებულმა სავსელე სამუშაოებმა გვიჩვენა, რომ გამადნებების ჰიდროთერმულ სულფიდურ ტიპში მადნების შედგენილობას, ერთი, მადანმომცემი კერის შემთხვევაში, განსაზღვრავს მანძილი მაგმურ კერასა და მადნის ფორმირების არეალს შორის. როგორც მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული სამუშაოები გვიჩვენებს (**Cramanske and Rye, 1974; Seal, 2006; Chane-Ching at al., 2001**) ჰიდროთერმის ერთი და იგივე შედგენილობის და წნევითი რეჟიმის პირობებში ქალკოპირიტის კრისტალიზაციის ტემპერატურა დაახლოებით 100°C უფრო მაღალია, ვიდრე სფალერიტის და გალენიტის. ვფიქრობთ, რომ ერთი და იგივე

ჰიდროთერმიდან მადანმომცემ კერასთან უფრო ახლოს, უპირატესად, ფორმირდება ის მადნები, რომლებიც ძირითადად ქალკოპირიტითაა აგებული, ხოლო უფრო მოშორებით კი - სფალერიტ-გალენიტის მადნები.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევების მიხედვით, კავკასიონის კახეთის სეგმენტში მრავალრიცხოვანი ჰიდროთერმული მადანგამოვლინებების ფორმირება დაკავშირებული იყო ბათურ დანაოჭებასთან და აზვეებასთან. ამ პროცესების დროს დანალექ საფარში შემოიჭრა ფელზური პლუტონები, რამაც გამოიწვია შემცველი ქანების ინტენსიური ჰიდროთერმული გარდაქმნები და მადნიანი მინერალიზაცია.

ამ პერიოდში რეგიონში ჩამოყალიბდა არაერთი მადანგამოვლინება, რომელთა გაშიშვლებათა ზედაპირული მასშტაბები მცირეა. გამონაკლისს წამოადგენს სტორის მადნიანი ველი, სადაც ფორმირებულია არაერთი პერსპექტიული მადანგამოვლინება. დიდ ინტერესს იმსახურებს აგრეთვე ლეჩურის მადანგამოვლინება, რომელიც გეოტექტონიკური პოზიციით და მინერალოგიურ-გეოქიმიური მონაცემებით მნიშვნელოვან მსგავსებას ავლენს ფილიზჩაის კოლჩედანურ-პოლიმეტალურ საბადოსთან.

ჩვენ მიერ, კავკასიონის კახეთის სეგმენტის 12 მადანგამოვლინებაში გადამოწმდა თორიუმის შემცველობები, თუმცა მხოლოდ სტორისა და მახვალის ჰიდროთერმულად შეცვლილ ზონებში დაფიქსირდა ამ მეტალის ამაღლებული კონცენტრაციები. დანარჩენ სხვა შემთხვევაში მისი შემცველობები ნორმულის ფარგლებშია. ჩატარებული კვლევის მიხედვით, თორიუმის მინერალიზაცია დაკავშირებულია ჰიდროთერმული აქტივობის ბოლო კარბონატულ ეტაპთან, რის გამოც, მომავლში სწორედ გაკარბონატებულ შეცვლილ ზონებში უნდა ვეძიოთ აქ ეს მინერალიზაცია.

6.3. თორიუმის კვლევის შედეგები ძირულის კრისტალურ მასივში

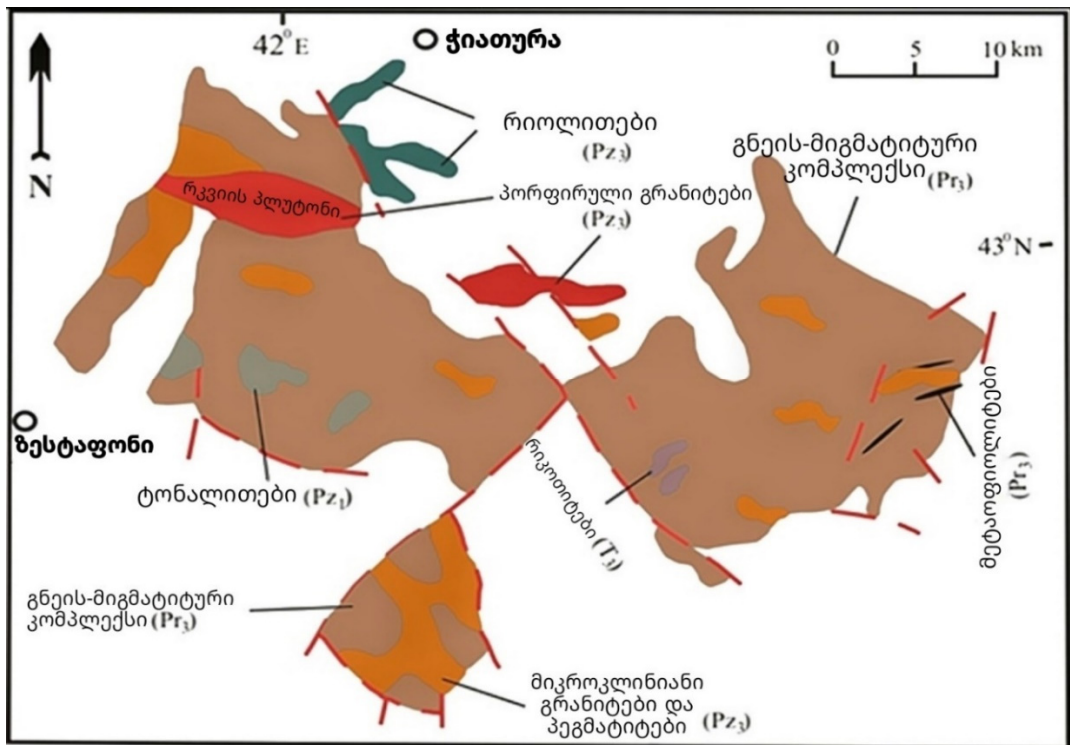
თორიუმის მინერალიზაციის კვლევა ჩავატარეთ ძირულის მეზოზოურისწინა კრისტალურ მასივშიც. ამ მასივშიც, ისე როგორც საქართველოს სხვა რეგიონებში, ქანების გეოქიმიური კვლევა განვახორციელეთ კანადის MS-ანალიტიკურ ლაბორატორიაში (MSLABS) LA-ICP-MS დანადგარზე, რომელზედაც ICP-ES მეთოდით განისაზღვრა 48 ელემენტის შემცველობა. ჩატარებული სამუშაოების შედეგად, თორიუმის ანომალიურად მაღალი კონცენტრაციები დაფიქსირდა მხოლოდ გნეისურ კვარციან დიორიტებში, რომლებიც გაშიშვლებულია მდ. ძირულის ხეობაში, სოფელ ნადაბურის ჩრდილოეთით. რაც შეეხება ურანს, ამ მასივის გაანალიზებულ 35 ნიმუშში მისი მაღალი კონცენტრაცია არსად არ დაფიქსირდა, რაც პალეოზოური გრანიტოიდებისათვის მოულოდნელი შედეგია. თუმცა რადიოქტიური ელემენტების ძებნისას, მდ. ბუჯას ხეობის პალეოზოურ გრანიტულ პეგმატიტებში მივაკვლიეთ კობალტის ანომალიურად მაღალ შემცველობებს.

ვინაიდან, ამჟამად კობალტზე მოთხოვნილება გლობალურ ბაზარზე მკვეთრად გაიზარდა, ამიტომ, აქ, ამ ანომალიასაც განვიხილავთ. ვიდრე ჩატარებული სამუშაოების შედეგებზე ვიმსჯელებთ, მოკლედ გავცნოთ ძირულის მასივის გეოლოგიას.

6.3.1. ძირულის კრისტალური მასივი

ძირულის მეზოზოურისწინა კრისტალური მასივი წარმოადგენს ამიერკავკასიის მიკროფილის ჩრდილო-დასავლეთ აზევებას, რომლის ფართობი დაახლოებით 1200 კმ² მოიცავს (ნახ. 6. 24). იგი რთული გეოლოგიური წარმონაქმნია და მის აგებულებაში მონაწილეობს კამბრიულამდელი და ადრეპალეოზოური გნეისურ კვარციანი დიორიტები, კრისტალური ფიქლები, პლაგიომიგმატიტები, ტონალიტები, ფილიტები და ოფიოლიტური ფრაგმენტები. აღნიშნულ ქანებს მკვლევართა დიდი ნაწილი აერთიანებს გნეისურ-მიგმატიტურ კომპლექსში. ეს ქანები გვიან პალეოზოურში იკვეთება მიკროკლინიანი გრანიტოიდების

მრავალრიცხოვანი სხეულებით, ხოლო ტრიასულში კალიშპატიანი გაბროებით. შუა იურულში ძირულის მასივში შემოიჭრა ჰიბრიდული გენერაციის გაბროდიორიტები (Гамკრელიძე ი დრ., 1979, 1981; Шенგелиა, Окროსვარიძე, 1998; Гамკრელიძე, Шенგელია, 1999; Гамკრელიძე, Шенგელია, 2000; Okrostsvaridze et al., 2004; Гамკრელიძე, Шенგელია, 2005; Okrostsvaridze, Tormey, 2013; Дудаური, Тогоნიძე, 2016).



ნახ. 6.24. ძირულის კრისტალური მასივის გამარტივებული სქემატური გეოლოგიური რუკა ი. გამყრელიძისა და დ. შენგელიას მიხედვით (2005).

გასული საუკუნის 80-იანი წლების დასაწყისში ძირულის მასივის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში დადგინდა ოფიოლიტური ქერცლები და გამოიყო ჩორჩანა-უწლევის ოფიოლიტური ზონა (Гамკრელიძე ი დრ., 1979, 1981). მოგვიანებით გრანიტოიდული წარმონაქმნების დეტალური შესწავლის შედეგად გამოითქვა მოსაზრება, რომლის მიხედვითაც ამ მასივის ფარგლებში ალოქ-

ტონურია არა მარტო ჩორჩანა-უწლევის ზონა, არამედ მთლიანად გნეის-მიგმატიტური კომპლექსი (**Шенгелия, Окросцваридзе, 1998**). ამ კვლევის მიხედვით, ძირულის მასივის ფარგლებში, ადრეკერცინული ტექტონიკურ-მაგმური აქტივობის დროს ოკეანური ტიპის ქერქი ობდუქციურად განლაგდა კონტინენტური ტიპის ქერქზე. ამ პროცესმა გამოიწვია ლითოსფეროს გასქელება, რამაც მის ქვედა ფენებში განაპირობა ფელზური მდნარების ფორმირება, რომლებიც შემდგომი ინვერსიული პროცესების შედეგად შეიჭრა სტრუქტურის ზედა ჰორიზონტებში.

21-ე საუკუნის დასაწყისში გამოქვეყნდა კომპლექსური ხასიათის მნიშვნელოვანი შრომები (**Гамკრელიძე, Шенгелиა 2000, 2001, 2005**), რომლებშიც დედამიწის ქერქის ტექტონიკური განშრევების თეორიის ფონზე დეტალურადაა განხილული ძირულის მასივისა და საერთოდ კავკასიის ოროგენის მეტამორფიზმის, მაგმატიზმისა და გეოდინამიკის საკითხები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ძირულის მასივის დიდი ნაწილი აგებულია გნეისურ-კვარციანი დიორიტებით, რომლებსაც აშიშვლებს მდინარეების რიკოთულას, ძირულას, დუმალას, მაჭარულას, ყვირილასა და ბუჯას ხეობები. ისინი მუქი ნაცრისფერი, ძირითადად საშუალომარცვლოვანი ქანებია, ჰიპიდომორფულ-პორფირისებრი სტრუქტურით და უპირატესად გნეისური ტექსტურით. ძირითადი ქანთმაშენი მინერალებია: პლაგიოკლაზი, ბიოტიტი და კვარცი, ხოლო ამფიბოლი გაბიოტიტებულია და ძირითადად რელიქტების სახითაა წარმოდგენილი. მეორადი მინერალებია: ქლორიტი, მუსკოვიტი, სერიციტი, ეპიდოტი; აქცესორულია – აპატიტი, ცირკონი, სფენი, ორთიტი და მადნეული მინერალები. ამ ქანებისათვის დამახასიათებელია ოვალური ფორმის, მრავალრიცხოვანი მელანოკრატული ჩანართები, რომელთა ზომები ერთეული სანტიმეტრიდან ერთეულ დეციმეტრამდე მერყეობს. ზოგ უბანზე ეს ჩანართები გაშიშვლების 30-35%-ს შეადგენს. ამ ქანებში იშვიათად აღინიშნება ჰიდროთერმული შეცვლები, რაც განპირობებულია ახალგაზრდა მაგმური აქტივობით.

6.3.2. ნადაბურის თორიუმის მინერალიზაცია

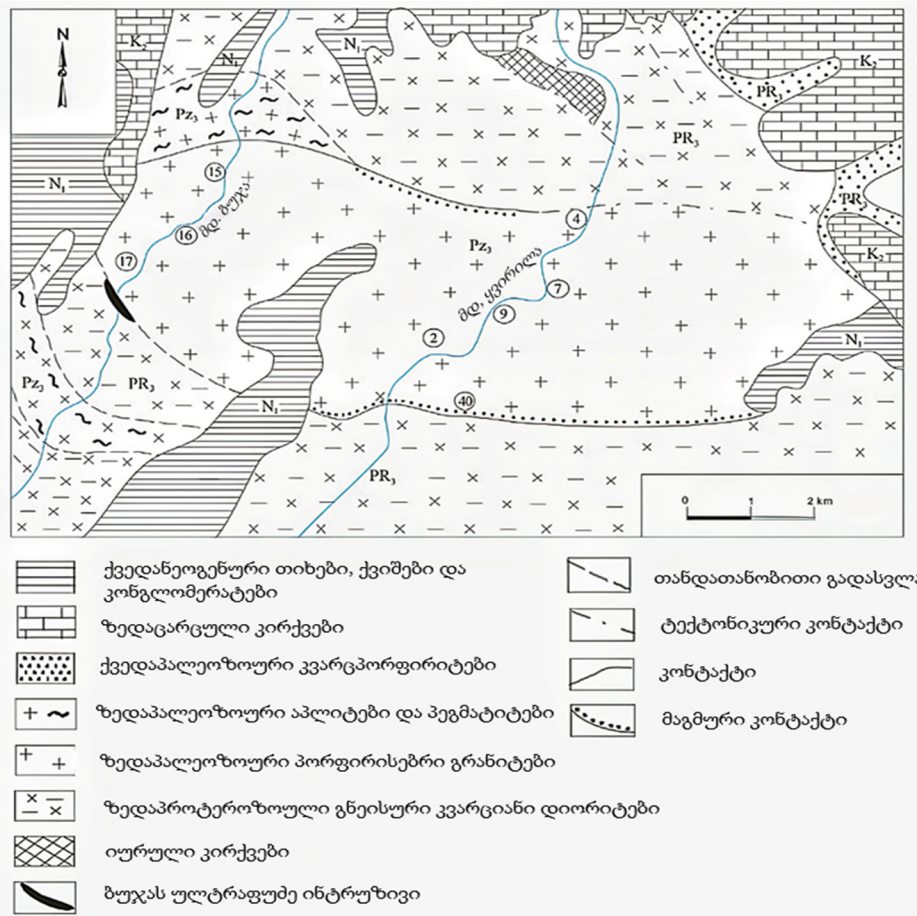
საველე სამუშაოების დროს მდ. ძირულის ხეობაში, სოფ. ნადაბურის ჩრდილოეთით, ადრეპალეოზოურ გნეისურ კვარციან დიორიტებში, ჩვენ მიერ პირველად დაფიქსირდა თორიუმის ანომალიურად მაღალი შემცველობები (Okrostsvaridze et al., 2014; Okrostsvaridze, Gogoladze, 2018). ამ ჭრილში, დაახლოებით 700 მეტრ მანძილზე, ეს ქანები ინტენსიურ ჰიდროთერმულ შეცვლას და სულფიდურ მინერალიზაციას განიცდის, სადაც სულფიდური მინერალები წარმოდგენილია პირიტითა და პიროტინით. ჰიდროთერმული გარდაქმნები შესაძლებელია გამოიწვიოს შუაიურულმა ხევის გაბრო-დიორიტულმა პლუტონმა, რომელიც რამდენიმე ასეულ მეტრში კვეთს ადრეპალეოზოურ გნეისურ კვარციან დიორიტებს.

ნადაბურის მინერალიზებული ზონის ინტენსიურად შეცვლილი და სულფიდიზირებული ქანებიდან ავიღეთ 12 სინჯი. ეს სინჯები გავანალიზეთ LA-ICP-MS დანადგარზე 1F15 მეთოდით, AcmeLAB ლაბორატორიაში კანადაში. ამ თორმეტი სინჯიდან შვიდში დაფიქსირდა თორიუმისა და ბისმუტის მაღალი კონცენტრაციები. მათში ამ მეტალის შემცველობები მერყეობს 117 გ/ტ-დან 266 გ/ტ-მდე ინტერვალში, ხოლო ბისმუტის 143 გ/ტ-დან 2470 გ/ტ-ის ფარგლებში. როგორც ვხედავთ, ნადაბურის ჭრილის ჰიდროთერმულად შეცვლილ გნეისურ კვარციან დიორიტებში ანომალიურადაა გაზრდილი თორიუმისა და ბისმუტის კონცენტრაციები, რაც შემდგომ შესწავლას მოითხოვს.

6.3.3. მდინარე ბუჯას პეგმატიტების კობალტის ანომალია

რკვიის პლუტონი. მდ. ბუჯას კობალტის ანომალიურად მაღალი შემცველობის გრანიტული პეგმატიტები, რკვიის პლუტონის დასავლეთ ნაწილში შიშვლდება. ეს პლუტონი წარმოადგენს ფელზურ მძლავრ მაგმურ წარმონაქმნს, რომელიც გვიანვარისკული ტექტონიკურ-თერმული აქტივობის დროს შეიჭრა ძირულის მასივის დაგნეისებულ კვარციანი დიორიტები. პლუტონს გააჩნია სუბგანედური

მიმართულების ლინზისებური ფორმა და მოიცავს დაახლოებით 65კმ² ფართობს. მისი მაქსიმალური სიგრძე 15 კმ-ია, ხოლო მაქსიმალური სიმძლავრე, რომელიც პლუტონს ცენტრალურ ნაწილში გააჩნია 5,5კმ-ს აღწევს (ნახ. 6. 25).



ნახ. 6.25. რკვის პლუტონისა და მისი შემცავი ქანების სქემატური გეოლოგიური რუკა. რიცხვები წრეში - ნიმუშების აღების ადგილები (ჩაგელიშვილი, 2006).

რკვის პლუტონის გეოლოგიური ასაკი განისაზღვრება ზედაპალეოზოურსა და ქვედაიურულს შორის, ვინაიდან იგი კვეთს ზედაპალეოზოურ გნეისურ კვარციან დიორიტებს, ხოლო თვითონ გადაფარულია ქვედაიურული კვარცპორფირების წყებით. იზოტოპური გეოქრონოლოგიის მიხედვით, ეს პლუტონი

თარიღდება გვიანკარბონული ასაკით (მაგ., **Дудаური, Тогоნიძე, 1999;**
Okrostsvavidze, Clarke, 2004).

რკვის პლუტონის ფორმირება რამდენიმე ფაზის განმავლობაში მოხდა. პირველი, ძირითადი ფაზა, წარმოდგენილია მიკროკლინიანი პორფირისებრი გრანიტებით, რომლებიც მთელი ინტრუზივის 70-75%-ს შეადგენს. დასავლეთ ნაწილის სამხრეთ და ჩრდილო პერიფერიებში აღინიშნება გრანიტული პეგმატიტების მძლავრი ველები. ამასთან ერთად, პლუტონი იკვეთება ძარღვული ფაციესის სხვადასხვა ქანებით: გრანიტაპლიტებით, წვრილმარცვლოვანი მუსკოვიტისანი გრანიტებით, საშუალომარცვლოვანი ორქარსიანი გრანიტებით, კვარცპორფირებით, გაბროებით და დიაბაზებით. ინტრუზივში იშვიათად აღინიშნება რესტიტები და შლირული ჩანართები. გამონაკლისს წარმოადგენს მდ. ყვირილას მარცხენა კარნიზზე არსებული, დაახლოებით 7 მეტრი სიგრძის და 4 მ სიმაღლის, ბიოტიტ-სილიმანიტიანი მიგმატიტების რესტიტების გაშიშვლება (**ჩაგელიშვილი, 2006**).

პლუტონის ურთიერთობა შემცავ გნეისურ-კვარციან დიორიტებთან რთულია (იხ. 6. 25). მის ცენტრალურ ნაწილში (მდ. ყვირილას ჭრილი) აღინიშნება უშუალო გადასვლა შემცავ ქანებში. ამ ჭრილის სამხრეთ კონტაქტში, სოფ. რკვის რკინიგზის ხიდან, გნეისურ-კვარციანი დიორიტები დაახლოებით 80 მ. მანძილზე ვარდისფერ შეფერილობას იძენს, რაც განპირობებულია ამ ქანში ამავე ფერის მიკროკლინ-პერიტიტების ფორმირებით. ასეთივე კონტაქტურ მოვლენებს აქვს ადგილი ამ ჭრილის სამხრეთ კონტაქტში (სოფ. მორბგვეთი), მაგრამ პროცესი აქ უფრო მცირე მასშტაბისაა. ინტრუზივის ასეთი კონტაქტის გამო, ვუშვებთ, რომ აქ მისი კონტაქტი გნეისურ-კვარციან დიორიტებთან მაგმურია, თუმცა გართულებულია ტექტონიკურად.

რკვის პლუტონის ძარღვული ქანებიდან აღსანიშნავია ორქარსიანი პეგმატიტები და აპლიტები რომლებიც დაკავშირებულია ინტრუზივის ძირითადი ფაზის გრანიტებთან. მათი სიმძლავრეები დაახლოებით 0.5-დან -3 მ-მდე იცვლება და გაშიშვლებაში კარგად დაიკვირვება (ნახ. 6.26).



ნახ. 6.26. გრანიტული პეგმატიტების ორი პარალელური, დაახლოებით 1 მეტრი სიმძლავრის, ძარღვი კვეთს ქვედაპალეოზოურ გამოფიტულ გნეისურ კვარციან დიორიტებს. მდინარე ჯუსას ხეობის მარცხენა ფერდი.

დეტალურადაა შესწავლილი რკვიის პლუტონის ფორმირების თერმობარული პირობები (Okrostsvaridze et al., 2011). ამ ნაშრომის მიხედვით, პლუტონის პროტოლითი, რომელიც წარმოდგენილი იყო გრაუვაკებით, არკოზული ქვიშაქვებითა და ტუფიტებით, საკმაოდ მაღალ ტემპერატურამდე გადახურდა. აქ ანატექტური მდნარის ფორმირება მიმდინარეობდა 800 – 850°C ტემპერატურისა და 8-10 კბ წნევის პირობებში. გრანიტული მაგმის კრისტალიზაციის თერმობარული რეჟიმი ძირითადად მოქცეული იყო 660 – 690°C ტემპერატურისა და 7,7-8,7 კბ წნევის ფარგლებში, ხოლო მაგმის კრისტალიზაციის პროცესები დაახლოებით 500°C-ზე დასრულდა (Okrostsvaridze et al., 2011). როგორც ვხედავთ, რკვიის პლუტონის საწყის ანატექტურ მდნარს მაღალი ტემპერატურა გააჩნდა, რის გამოც, ვფიქრობთ, მან ხანგრძლივი თერმულ ზემოქმედება მოახდინა შემცავ გნეისურ კვარციან დიორიტებზე. ეს მოსაზრება დასტურდება პლუტონის პერიფერიებზე პეგმატიტური ველების არსებობით.

თანამედროვე ეროზიულ დონეზე რკვიის პლუტონის დასავლეთ ნაწილში (მდ. ბუჯას ჭრილი) გნეისურ კვარციან დიორიტებსა და პლუტონს შორის, როგორც ჩრდილო, ისე სამხრეთ კონტაქტებზე, აღინიშნება დაახლოებით 2 კმ. გამწეობის გრანიტული პეგმატიტური ველები. ისინი პლუტონსა და შემცავ

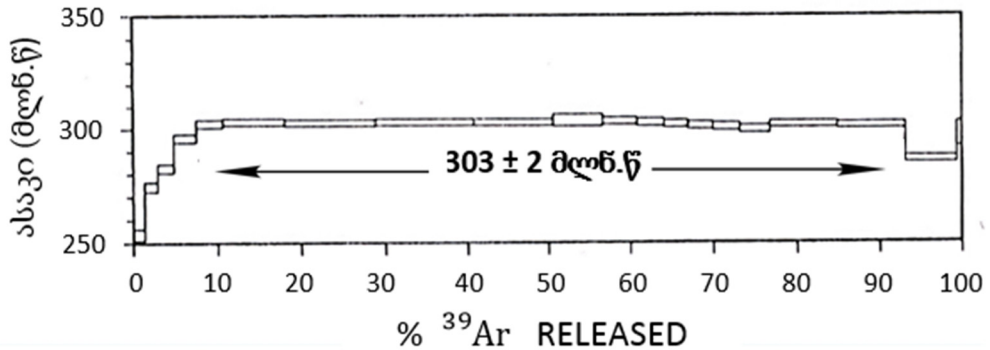
ქანებს შორის შლიან მკვეთრ საზღვარს, თუმცა პეგმატიტებში აღინიშნება პლუტონის ძირითადი ფაზის ქანები და აგრეთვე გრანიტ-აპლიტების მარღვებიც. განსხვავებით მდ. ბუჯას ჭრილისა, მდ. ყვირილას ჭრილში, რომელიც მდ. ბუჯას პარალელურად კვეთს პლუტონს მის აღმოსავლეთ ნაწილში, მძლავრი პეგმატიტური ველები არ შიშვლდება. ვფიქრობთ ეს იმითაა განპირობებული, რომ მდ. ბუჯას ჰიფსომეტრიულად დაახლოებით 200 მეტრზე უფრო ღრმად აქვს ჩაჭრილი პლუტონი, მდ. ყვირილასთან შედარებით და შესაბამისად პლუტონის უფრო ღრმა ჰორიზონტებს აშიშვლებს.

ბუჯას კანიონის ორივე პეგმატიტურ ველში ჩავატარეთ თორიუმისა და ურანის დეტალური რადიაციული და გეოქიმიური დასინჯვა, თუმცა არცერთ მათგანში მკვეთრი ანომალია არ დაფიქსირდა. მიუხედავად ამისა, ჩვენ 12 სინჯის გეოქიმიური კვლევა მაინც ჩავატარეთ. ამ კვლევამ გვიჩვენა, რომ მდ. ბუჯას სამხრეთ პეგმატიტურ ველში აღინიშნა კობალტის მაღალი შემცველობები, რასაც დეტალურად მომდევნო თავში განვიხილავთ. თუმცა, ვიდრე ამ ანომალიაზე ვისაუბრებთ, მოკლედ დავახასიათებთ ბუჯას კანიონის გრანიტულ პეგმატიტებს.

ბუჯას კანიონის გრანიტული პეგმატიტები. როგორც ცნობილია, პეგმატიტები ყალიბდება მაგმური მდნარის ნელი გაციების შედეგად, მაღალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში და ამიტომ ისინი ხშირად ქმნის იშვიათი ელემენტების საბადოებს. პეგმატიტების უდიდესი ნაწილი დაკავშირებულია გრანიტებთან, თუმცა ეს წარმონაქმნები გვხვდება აგრეთვე სიენიტებთან, გაბრონორიტებთან, ულტრაფუძე და ტუტე შედგენილობის ქანებთანაც.

ზოგადად, ძირულის კრისტალურ მასივში გრანიტული პეგმატიტები ფართო გავრცელებით სარგებლობს (**ჯავახიშვილი, 2014**). იზოტოპურად დათარიღებულია მხოლოდ რკვიის პლუტონის პეგმატიტების 3 ნიმუშის (Dz-2, Dz-9, Dz-16) მუსკოვიტები ^{40}Ar - ^{39}Ar მეთოდით, მდ. ბუჯასა და ყვირილას ხეობებში. მიღებული შედეგები პრაქტიკულად იდენტურია და შეესაბამება 303 ± 2 მლნ. წელს (ნახ. 6. 27) (**Okrostsvaridze, Clarke, 2004**).

DZR-2 მუსკოვიტი



ნახ. 6.27. რკვის პლუტონის პეგმატიტის მუსკოვიტის ^{40}Ar - ^{39}Ar ასაკი
მდ. ბუჯას ხეობიდან (ნიმ. Dz-2).

მდინარე ბუჯა რკვის პლუტონს მართობულად ჰკვეთს მთელს სიგრძეზე მის დასავლეთ ნაწილში, დაახლოებით 4 კმ მანძილზე. ამ ჭრილში ამ პლუტონის ორივე კონტაქტურ არეალში, დაახლოებით 2 კმ სიგანეზე, გაშიშვლებულია გრანიტული პეგმატიტური ველები. სამხრეთ პეგმატიტუტ ველსა და გნეისურ-კვარციან დიორიტებს შორის შემოჭრილია ბუჯას ფუძე-ულტრაფუძე ინტრუზივი (იხ. ნახ. 6.25).

ბუჯას სამხრეთი პეგმატიტური ველი. ეს პეგმატიტური ველი, პერტოგრაფიული თვალსაზრისით არაფრით არ განსხვავდება ბუჯას ჩრდილოეთის პეგმატიტური ველისგან. თუმცა, სამხრეთ პეგმატიტურ ველში გაზრდილია კობალტის კონცენტრაცია (**ჩაგელიშვილი, 2006**). სწორედ აღნიშნული მონაცემების გამო, ჩავატარეთ ამ ველში გეოქიმიური კვლევა.

ბუჯას სამხრეთის გრანიტული პეგმატიტების ველის ძირითადი სტრუქტურა ჰიპიდომორფულ-მარცვლოვანია, თუმცა აღინიშნება პორფირისებრი სტრუქტურებიც. ამ ველის ძირითადი ქანმაშენი მინერალებია ვარდისფერი მიკროკლინი, კვარცი, პლაგიოკლაზი და მუსკოვიტი, იშვიათად აღინიშნება შეცვლილი ბიოტიტი. აქცესორული მინერალებია ტურმანილი, ცირკონი და მადნეული მინერალები. მეორად მინერალებს წარმოადგენს ქლორიტი,

სერიციტი და რკინის ჰიდროჟანი. ამ ველის ძირითადი მინერალი მიკროკლინია, რომელიც მთელი ქანის მასის 40-50 %-ს ქმნის. ეს მინერალი წარმოდგენილია საკმაოდ დიდი ზომის ვარდისფერი კრისტალებით, რომელთა სიგრძეები ზოგჯერ 10 სმ-საც კი აღწევს (ნახ. 6. 28).



ნახ. 6.28 . მდ ბუჯას კანიონის მუსკოვიტ-კვარც-მიკროკლინიანი პეგმატიტები ბუჯას სამხრეთი პეგმატიტური ველიდან.

ბუჯას სამხრეთის პეგმატიტური ველიდან საანალიზოდ ავიღეთ 7 სინჯი. კორელაციისათვის ძირულის მასივის სხვადასხვა ტიპის ქანებიდანაც ავიღეთ 4 სინჯი. ამ 11 სინჯში ვანკუვერის MSALAB ლაბორატორიაში LA-ICP-MS დანადგარზე ერთდროულად განისაზღვრა 51 ქიმიური ელემენტის კონცენტრაცია. ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ მათში თითქმის ყველა ქიმიური ელემენტის შემცველობა ნორმულის ფარგლებშია და მხოლოდ ანომალიურადაა გაზრდილი კობალტის შემცველობა გრანიტულ პეგმატიტებში (ცხრ. 6. 7; ნახ. 6. 29).

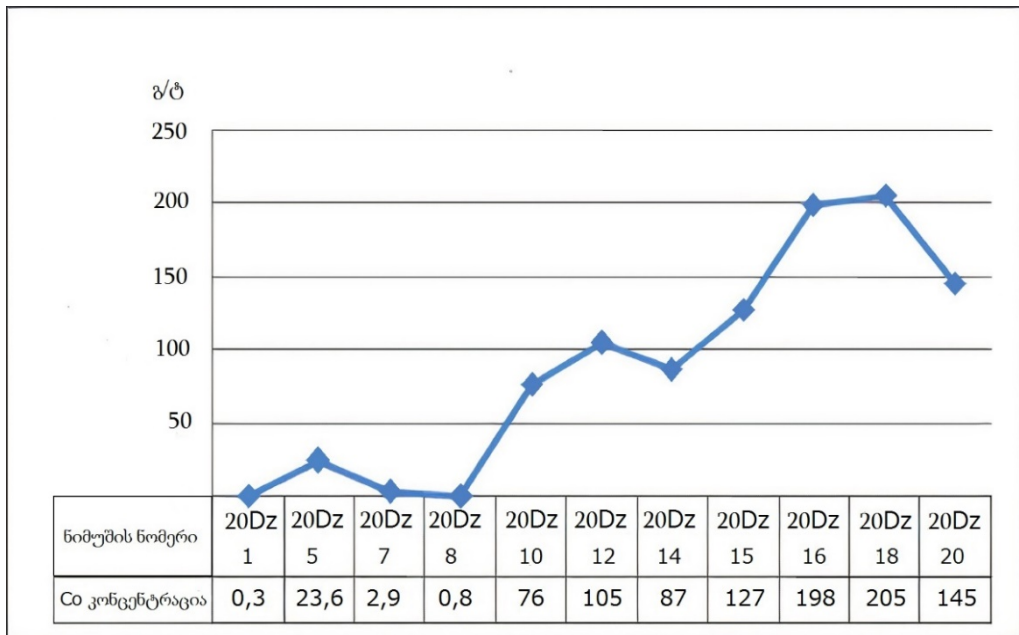
ცხრილი 6. 7. ბუჯას კანიონის სამხრეთის გრანიტულ პეგმატიტებში და ძირულის მასივის ზოგიერთ გრანიტში მიკროელემენტების შემცველობები (გ/ტ)

ნიმ	20 Dz1	20 Dz5	20 Dz7	20 Dz8	20 Dz10	20 Dz12	20 Dz14	20 Dz15	20 Dz16	20 Dz18	20 Dz20
Ba	145	337	1551	178	992	67	31	95	132	146	119
Be	3,03	1,55	1,67	1,54	1,75	6,38	4,23	4,08	4,81	8,00	73
Ce	7,31	40,98	97,12	48,79	29,84	5,90	3,38	9,08	5,80	5,45	8,8
Co	0,3	23,6	2,9	0,8	76	105	87	127	198	205	145
Cr	38	284	296	371	255	43	125	108	249	382	186
Cs	2,51	0,84	1,99	0,83	0,52	1,82	1,50	1,63	2,69	3,15	2,72
Cu	0,5	6,4	1,4	1,2	116,9	1,8	2,9	9,0	1,1	2,1	1,7
Ga	16,8	13,51	16,71	18,30	11,10	20,37	17,84	20,05	17,36	16,8	17
La	3,6	16,9	49,2	19,1	14,5	2,4	1,5	4,3	2,3	2,6	4,1
Li	11	7,3	10,1	4,8	5,3	6,7	6,7	9,8	8,8	5,5	12,4
Mn	523	729	655	74	1301	1249	1957	231	1062	729	625
Nb	9,5	7,6	5,9	17,2	1,8	15,0	7,8	14,0	8,8	10,4	9,8
Ni	0,8	35,1	4,4	5,0	68,4	1,1	6,4	2,4	3,0	4,2	2,4
Pb	23,5	11,9	29,6	23,9	12,9	18,8	10,7	12,7	22,9	27,0	20,0
Rb	146	85,0	78,6	112,8	53,2	140,7	197,1	112,7	178,8	174	170
Zn	26	41	31	33	73	29	19	19	14	12	27
Sc	2,5	35,4	5,3	2,0	41,8	1,8	1,1	4,5	1,8	1,6	1,8
Sn	3,7	9,9	1,2	1,5	1,1	7,2	4,2	5,7	5,7	6,8	6,2
Sr	42,4	124,4	236,3	18,8	624,4	10,8	5,2	33,1	58,9	61,9	58,6
Ta	2,49	1,04	0,44	1,18	0,11	3,71	1,03	2,92	2,52	3,51	2,27
Y	6,0	16,9	15,3	30,2	14,8	6,6	4,8	5,0	6,4	4,4	7,8
Zr	10,3	78,8	41,5	118,2	58,1	27,8	19,6	10,9	17,0	19,8	16,5
Th	1,1	18,8	18,4	19,5	4,0	1,4	0,8	1,3	0,7	0,8	1,4
U	2,9	3,0	1,9	3,7	1,6	3,0	2,1	1,1	1,6	1,8	2,1

ნიმუშის ტიპი და აღების ადგილი: 20Dz1-ორქარსიანი გრანიტი, მდ. სურამულას სათავე; 20Dz5 - რიკოთიტი, რიკოთის უღელტეხილი; 20Dz7-კვარცხანის დიორიტი, მდ. გეზრულას ხეობა; 20Dz8 - ორქარსიანი გრანიტი, ბუჯის ციხის ძირას; 20Dz10-დან 20Dz20-მდე მდ. ბუჯას ხეობის გრანიტული პეგმატიტები.

როგორც ცნობილია, კობალტის საშუალო შემცველობა მყავე ქანებში 1-5 გ/ტ-ს შეადგენს, ხოლო ულტრაფუძე ქანებში ეს მაჩვენებელი 100-110 გ/ტ-ს აღწევს (მაგ., **Hitzman, et al., 2017**). თუ ამ მონაცემებს გავანალიზებთ მაშინ აშკარაა, რომ ბუჯას კანიონის სამხრეთ პეგმატიტურ ველში ამ ელემენტის კონცენტრაცია (100-

200 გ/ტ) ანომალიურად მაღალია. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ბუჯას კანიონის ჩრდილოეთის პეგმატიტურ ველში კობალტის კონცენტრაცია თითქმის ნორმულის ფარგლებშია და არ სცილდება 15 გ/ტ-ს, მაშინ ასახსნელია, თუ რატომაა ასეთი სხვაობა აღნიშნული ელემენტის კონცენტრაციაში ამ ორ გენეტურად და ასაკობრივად იდენტურ წარმონაქმნში.



ნახ. 6.29. კობალტის კონცენტრაციის ვარიაციული დიაგრამა ბუჯას კანიონის სამხრეთ გრანიტულ პეგმატიტურ ველში და ძირულის მასივის ზოგიერთ გრანიტში. სინჯების ნომრები 6.7 ცხრილის სინჯების ნომრების იდენტურია.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩრდილოეთ პეგმატიტური ველისგან განსხვავებით, სამხრეთ პეგმატიტურ ველში შემოჭრილია ფუძე-ულტრაფუძე ინტრუზივი. იმის გამო რომ ამ ტიპის მაგმები დიდი რაოდენობით შეიცავს კობალტს გადავწყვიტეთ ჩაგვეტარებინა მისი გეოქიმიური კვლევა.

ბუჯას ფუძე-ულტრაფუძე ინტრუზივი. თანამედროვე ეროზიულ ჭრილში ამ ინტრუზივის სიმძლავრე 40 მ-ს არ სცილება და ლოკალიზებულია რკვიის

პლუტონის სამხრეთ კონტაქტურ არეალში. მისი გამწეობის დადგენა შეუძლებელია, ვინაიდან, როგორც დასავლეთით, ასევე აღმოსავლეთით იგი იფარება მძლავრი დელუვიონური ნალექებით. ეს სხეული პირველად აღიწერა 2006 წელს და დადგინდა, რომ იგი ფუძე-ულტრაფუძე შედგენილობის წარმონაქმნია, რომლის ცენტრალურ ნაწილში SiO_2 შემცველობა 40%-ზე ქვემოთაა, ხოლო MgO - 28-29%-ს აღწევს. პერიფერიულ ნაწილებში SiO_2 შემცველობა 48-49%-მდე იზრდება, ხოლო MgO კონცენტრაცია 20-23%-მდე მცირდება (Okrostsvaridze et al., 2006).

რაიონის გეოლოგიური აგებულებისა და ბუჯას ფუძე-ულტრაფუძე სხეულის პეტრო-გეოქიმიური ტიპიდან გამომდინარე, ვფიქრობთ, რომ მისი ფორმირება შესაძლოა დაკავშირებულია ტრიასულ მაგმურ აქტივობასთან, მსგავსად კალიშპატიანი გაბროების - რიკოთიტებისა (Okrostsvaridze et al., 2002).

ბუჯას ინტრუზივში ჩავატარეთ იშვიათი ელემენტების კვლევა და აღმოჩნდა, რომ მასში ნორმულთან შედარებით საგრძნობლად არის გაზრდილი Co, Mn და W შემცველობები, ხოლო სხვა ელემენტების კონცენტრაციები ნორმის ფარგლებშია. ვოლფრამის კონცენტრაცია საშუალოდ 100 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო კობალტის - კიდევ უფრო მაღალია და თითქმის 10-ჯერ არის გაზრდილი ნორმულთან შედარებით. კონკრეტულად, ინტრუზივის ცენტრალურ ნაწილში ამ ელემენტის შემცველობა 1100 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო პერიფერიაზე 900 გ/ტ-მდე მცირდება. ეს მოცემულობა კი მნიშვნელოვანი არგუმენტია იმისთვის, რომ სამხრეთ პეგმატიტური ველის გამდიდრება კობალტით, ბუჯას ულტრაფუძე-ფუძე ინტრუზივის შემოჭრით ავხსნათ.

დისკუსია. როგორც ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა, კობალტის მაღალი კონცენტრაციები ფიქსირდება იმ პეგმატიტურ ველში, რომელშიც ფუძე-ულტრაფუძე მაგმა შეჭრილი. ეს მაგმა კი გამდიდრებულია კობალტით, რომლის კონცენტრაციაც 1000 გ/ტ-ს სცილდება. ბუჯას პეგმატიტურ ველში არსებული ფუძე-ულტრაფუძე მაგმის აპოფიზები კი იმის უფლებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ამ მაგმურმა აქტივობამ შექმნა მძლავრი ძარღვული სისტემა, რომელსაც

თანამედროვე ეროზიული დონე ვერ ამიშვლებს.

ამასთან ერთად, თუ გავანალიზებთ კობალტის გეოქიმიას, დავინახავთ, რომ Co^{2+} და Co^{3+} იონური რადიუსები ემთხვევა Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{4+} , Fe^{3+} და Ni^{2+} იონურ რადიუსებს, რის გამოც, ეს ელემენტები მინერალურ სტრუქტურებში იზომორფულად ადვილად ანაცვლებს ერთმანეთს. ამ აქტიური გეოქიმიური თვისებების გამო, კობალტი დაახლოებით 30 მინერალის სტრუქტურაში შედის, ხოლო მცირე რაოდენობით ამ ელემენტს კიდეც სხვა 100-ზე მეტი მინერალი შეიცავს. კობალტის ეკონომიკურად მნიშვნელოვანი მინერალებია: ასბოლიტი, კაროლიტი, კობალტიტი, სკუტერუდიტი და ლინეიტი (მაგ., **Hitzman et al., 2017**).

მსოფლიოში სულ რამდენიმე საბადო არსებობს, რომელთა ექსპლუატაციაც მხოლოდ კობალტის მოპოვების მიზნით ხორციელდება. უმეტეს შემთხვევაში კი კობალტს სპილენძთან და ნიკელთან ერთად მოიპოვებენ, როგორც მომყოლ პროდუქტს. ზოგადად, კობალტის გამადნებები დაკავშირებულია, როგორც დანალექ და მაგმურ ქანებთან, ასევე პოსტმაგმურ ჰიდროთერმულ წარმონაქმნებთან. მიუხედავად იმისა, რომ კობალტის უდიდესი საბადოები, რომლებიც კონგოში მდებარეობს დანალექი ტიპისაა, ამჟამად ამ მეტალს სპილენძ-ნიკელიან და ნიკელ-ლათერიტულ ფუძე და ულტრაფუძე მაგმურ ქანებში ეძებენ (**Hitzman et al., 2017**).

ამრიგად, ჩატარებული კვლევის შედეგად, შეიძლება დავუშვათ, რომ ბუჯას სამხრეთი პეგმატიტების ველის გამდიდრება კობალტით განაპირობა ამ ქანებში ფუძე-ულტრაფუძე ინექციების შემოჭრამ. ჰიდროთერმებში არსებულმა ჭარბმა კობალტმა, როგორც მობილურმა ქიმიურმა ელემენტმა, იზომორფულად ადვილად ჩაანაცვლა პეგმატიტებში არსებული რკინა და მაგნიუმი.

დიდი ალბათობით, ამ პროცესის შედეგად ბუჯას გრანიტული პეგმატიტები გამდიდრდა კობალტით, თუმცა გამოფიტვის ზედაპირიდან ეს ელემენტი ადვილად განიცდის მიგრაციას, რაც დადასტურებულია კონგოს კობალტის საბადოების მაგალითით. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ვფიქრობთ, მისი შემცველობები სიღრმეში, გაცილებით მაღალი უნდა იყოს ვიდრე ზედაპირზე.

ამიტომ, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია მომავალში ამ ქანების დასინჯვა განხორციელდეს მცირე სიღრმული ჭაბურღილების მეშვეობით. ამასთან ერთად, თავისთავად ბუჯას გრანიტული პეგმატიტური ველი ძალიან კარგ რესურსს წარმოადგენს ფაიფურის მრეწველობისათვის და თუ მას კობალტის სამრეწველო შემცველობებიც დაემატება მაშინ, ბუნებრივია, ამ ქანების ეკონომიკური ღირებულება მნიშვნელოვნად გაიზრდება.

აღსანიშნავია აგრეთვე თვითონ ბუჯას ფუძე-ულტრაფუძე ინტრუზივი, როგორც რესურსი. ამ ინტრუზივში კობალტის შემცველობა 1000 გ/ტ-ს აჭარბებს, რაც თავისთავად სამრეწველო კონცენტრაციას წარმოადგენს, თუმცა მას გამოსავალი ზედაპირზე მცირე აქვს. ამიტომ მიზანშეწონილია ამ ინტრუზივის სიღრმული შესწავლა და მისი მასშტაბების განსაზღვრა. გარდა აღნიშნულისა, საჭიროა აგრეთვე ამ არეალში ბუჯას ულტრაფუძე სხეულის ანალოგების გეოქიმიური კვლევა, ვინაიდან მათში კობალტის შემცველობა არასდროს არავის არ შეუსწავლია. აღსანიშნავია, აგრეთვე, რომ თვით ინტრუზივის ქანები საუკეთესო მოსაპირკეთებელ მასალას წარმოადგენს (Okrostsvaridze et al., 2006).

როგორც ცნობილია, ბოლო წლებში ელექტრომობილების ინდუსტრიის განვითარების გამო, კობალტის ღირებულება მკვეთრად გაიზარდა. ვინაიდან ამ ავტომობილების აკუმულატორების კათოდი შეიცავს 30% კობალტს და 70% ლითიუმს. ამ ელემენტის ღირებულების პიკმა მიაღწია 2018 წელს, როცა მისი ერთი ტონის ღირებულება გლობალურ ბაზარზე თითქმის 90000 აშშ დოლარს გაუტოლდა. დედამიწის ქერქში ლითიუმის საბადოები მნიშვნელოვანი რაოდენობითაა, მაშინ, როცა კობალტის შეზღუდულია. თუ გავითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ ელექტრომობილების ინდუსტრია მზარდია და მომავალი, დიდი ალბათობით, ამ ტიპის ტრანსპორტს ეკუთვნის, მაშინ ცხადია, თუ როგორ გაიზრდება მოთხოვნილება ამ მეტალზე ელექტრომობილების ინდუსტრიის განვითარების პარალელურად. კობალტის ეს პერსპექტივა კი გვაავალდებულებს მნიშვნელოვანი ყურადღება და ძალისხმევა გამოვიჩინოთ მისი ძებნის პროცესში.

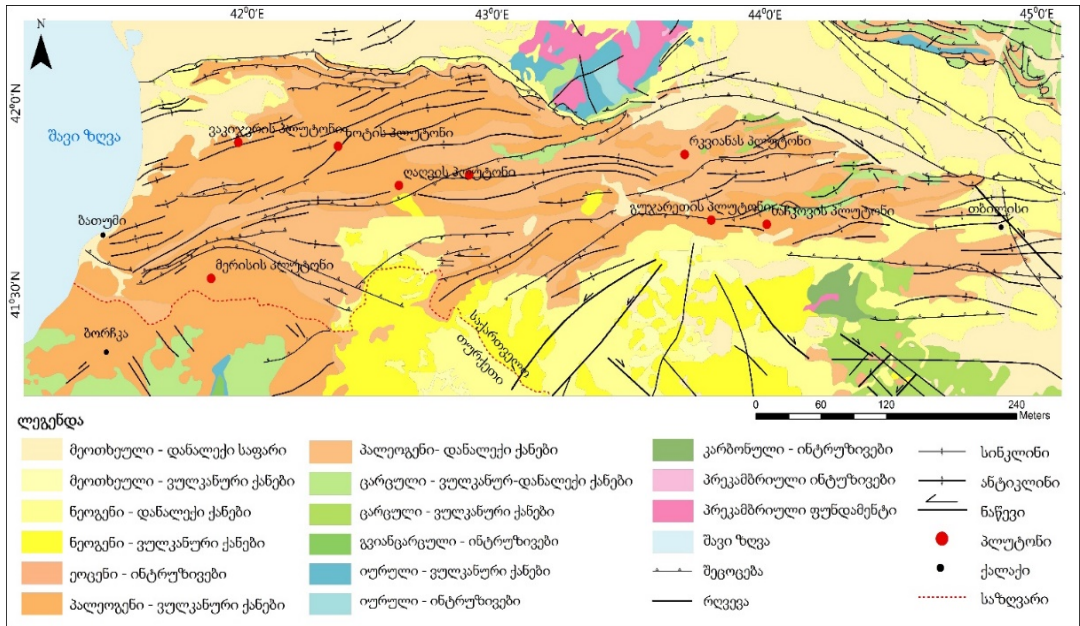
6.4. თორიუმის კვლევის შედეგები აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებით სარტყელში

აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი რიფტოგენული სარტყელი ჩამოყალიბდა კონტინენტური ტიპის ქერქის გაჭიმვისა და დესტრუქციის შედეგად, რის გამოც, მის სტრუქტურაში დომინირებს მანტიურ-ქერქული გენერაციის ტუტე და სუბტუტე მაგმური წარმონაქმნები. როგორც შესავალში აღვნიშნეთ, სწორედ ამ ტიპის მაგმებთანაა გენეტურად დაკავშირებული თორიუმის პირველადი მადან-გამოვლინებები. შესაბამისად, თეორიულად ამ სარტყელში ამ ელემენტის მადან-გამოვლინების აღმოჩენის უფრო მაღალი ალბათობა არსებობს, ვიდრე საქართველოს სხვა გეოლოგიურ წარმონაქმნებში.

6.4.1. ზოგადი ცნობები აჭარა-თრიალეთის სარტყელზე

აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი მცირე კავკასიონის უკიდურეს ჩრდილო-დასავლურ სტრუქტურას წარმოადგენს, რომელიც დროსა და სივრცეში მკვეთრად შემოსაზღვრული. იგი ჩამოყალიბდა ეოცენში და მერიდიანული მიმართულებით გაიდევნება თბილისიდან შავ ზღვამდე, დაახლოებით 350 კილომეტრ მანძილზე. ეს სტრუქტურა თანდათანობით ფართოვდება აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით და შავ ზღვასთან მისი სიგანე 50 კმ.-ს აღწევს (ნახ. 6. 30). იგი ძირითადად აგებულია ტრაქიტული და ტრაქიტანდეზიტური ვულკანოგენურ-დანალექი ქანებით, რომლებიც იკვეთება სიენიტური, მონცონიტური და კვარც-მონცონიტური შედგენილობის პლუტონებით.

თანამედროვე ეროზიულ დონეზე აჭარა-თრიალეთის სარტყელის ჩრდილოეთი საზღვარი მკვეთრად ტექტონიკურია და იგი შეცოცებულია ჩრდილოეთით ამიერკავკასიის მიკროფილაზე. სამხრეთით ეს სარტყელი ესაზღვრება ართვინ-ბოლნისის ბლოკს, რომლის შეხების ზონა თითქმის მთლიანად გადაფარულია გვიანკაინოზოური მძლავრი პიროკლასტური მასალით და ლავური განფენებით (Гамкრелидзе, 1949).



ნახ. 6.30. აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელის გეოლოგიური რუკა. მოდიფიცირებულია **Yilmaz et al., 2000; Gudjbidze et al., 2003; Gamkrelidze et al., 2015** გეოლოგიური რუკების მიხედვით.

აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა-შეცოცებითი სარტყელი გეოლოგიური კვლევის პირველ ეტაპზე განიხილებოდა როგორც ტიპური გეოსინკლინური სტრუქტურა, რომელიც ჩაისახა ცარცულის ბოლოს და განვითარდა პალეოგენის განმავლობაში (**Гамკრელიдзе, 1949**). მოგვიანებით ეს სტრუქტურა ინტერპრეტირებულ იქნა, როგორც კუნძულთა რკალის ზურგსუკანა რიფტოგენული ტროგი, რომელმაც დანაოჭება ეოცენის ბოლოს განიცადა (**Адамия и др., 1974**).

გასული საუკუნის 70-იან წლებში ჩამოყალიბდა შეხედულება, რომლის მიხედვითაც, აჭარა-თრიალეთის ტროგი ჩაისახა მეზოზოურის წინა კონსოლიდაციის, ამიერკავკასიის მიკროფილის სამხრეთ-დასავლეთ კიდეზე. დიდი ალბათობით გვიან კარბონულში ეს მიკროფილა წარმოადგენდა კონტინენტური მარჩხი ზღვისა და ვულკანოგენური ნალექების დაგროვების ერთიან არეალს. ადრეიურულში ამ ფილაზე ილექებოდა უპირატესად თიხიან-ქვიშიანი და კარბონატული მცირე სიმძლავრის ნალექები. შუაიურიდან-ადრეცარცულ პერიოდამდე ეს ფილა გაშიშვლებული იყო და ინტენსიურად ირეცხებოდა. ადრეცარცულიდან აღინიშნება ამ ფილის დესტრუქციის პროცესები, რომელიც უფრო

ინტენსიური გახდა ალუბურში და სენომანში. ამ პერიოდიდან ამიერკავკასიის მიკროფილას თანდათან ჩამოსცილდა სამხრეთის პროვინციის ბლოკები, რომლებიც კავკასიის თანამედროვე სტრუქტურაში წარმოდგენილია ართვინ-ბოლნისისა და ლოქი-ყარაბახის მასივების სახით (**Гамკრელიძე, 1977; Gamkrelidze, 1986**).

გეოფიზიკური მონაცემების მიხედვით, აჭარა-თრიალეთის სარტყელის დასავლეთის მიმართულებით, შავი ზღვის სიღრმეში, გრანიტოიდული ქერქი თანდათან თხელდება და ისოლება. ამ მონაცემების მიხედვით, მისი ფსკერის ცენტრალურ ნაწილში ეს ქერქი პრაქტიკულად აღარ არსებობს, ხოლო ბაზალტური ქერქის სიმძლავრე 5 კმ-მდე მცირდება, რომელიც გადაფარულია დაუნაოჭებელი 10-15 კმ სისქის ნალექებით (**Балавадзе и др., 1966**).

გასული საუკუნის 80-იან წლებში გეოლოგიური და გეოფიზიკური მონაცემების ანალიზის შედეგად დაშვებულ იქნა, რომ აჭარა-თრიალეთის რიფტოგენული სტრუქტურა დასავლეთით, შავი ზღვის მიმართულებითაც გრძელდება. შესაბამისად, გამოყოფილ იქნა ერთიანი შავი ზღვა-აჭარა-თრიალეთის ტროგი, რომელიც ჩამოყალიბდა და განვითარდა პალეოგენის პერიოდის განმავლობაში (**Лордкиპანიძე, 1980; Lordkipanidze et al., 1989**).

თანამედროვე სამეცნიერო ლიტერატურაში აჭარა-თრიალეთის ტროგის ფორმირების გეოდინამიკური პირობები დეტალურად არაა განხილული, თუმცა მისი ანალოგი მცირე კავკასიონის ოროგენის აღმოსავლეთ სტრუქტურაში ტალიშის (აზერბაიჯანი) და ალბორსის (ირანი) სარტყელები ინტერპრეტირებულია, როგორც ზურგსუკანა რიფტული სტრუქტურები (**Vincent et al., 2005; Asiabanha and Foden, 2012**). სხვა ავტორების მიხედვით, აღნიშნული სტრუქტურები განხილულია, როგორც პოსტკოლიზიური წარმონაქმნები (**Dilek et al., 2010; Sosson et al., 2010**).

თანამედროვე კვლევებში აჭარა-თრიალეთის სარტყლის ფორმირების გეოდინამიკური პირობები მოცემულია მხოლოდ ცენტრალური ტეთისის გეო-

დინამიკური რეკონსტრუქციის სქემაზე, სადაც ამ სტრუქტურას კუნძულთა რკალის ზურგსუკანა პოზიცია უკავია (Moritz et al., 2016) (ნახ. 6.31). თუმცა, იმის გათვალისწინებით, რომ აღმოსავლეთ ანატოლიის პლატფორმისა და ევრაზიული კონტინენტის სამხრეთ კიდის კოლიზია პონტიდების ზონაში მიმდინარეობდა პალეოცენსა და ადრეოცენურს შორის (Yilmaz et al., 1977; Topuz et al., 2011; Robertson et al., 2013), ხოლო ეს კოლიზია სომხეთ-ყარაბახის ზონაში დაიწყო ცარცული პერიოდის ბოლოს (Rolland et al., 2009; Meijers et al., 2015), მკვლევართა ნაწილი მიიჩნევს, რომ არა კუნძულთა რკალის ზურგსუკანა რიფტინგი, არამედ პოსკოლიზიური გეოდინამიკური რეჟიმი უფრო მისაღები მოდელია აჭარა-თრიალეთის სარტყელის ფორმირების ასახსნელად (Moritz et al., 2016).



ნახ. 6.31. ცენტრალური ტეთისის რაიონის გეოდინამიკური მოდელი ლუტეციური დროისათვის (48,6-40,4 მლნ. წ.) (Moriz et al., 2016).

6.4.1.1. პლუტონური მაგმატიზმი

აჭარა-თრიალეთის სარტყელის თანამედროვე ეროზიულ დონეზე, პლუტონების მცირე რაოდენობა შიშვლდება. მათ მთელი გაშიშვლებული ფართობის 6-8% უკავიათ და ძირითადად კონცენტრირებულნი არიან მაქსიმალური გაჭიმვის არეალში, სტრუქტურის დასავალეთ ნაწილში. ამ სარტყელის აღმოსავლეთით, პლუტონების რაოდენობა და გაშიშვლების ფართობები კი თანდათან მცირდება. მაგალითად, დასავლეთ ნაწილში გაშიშვლებულ მერისის პლუტონს 10 კმ.²-ზე მეტი ფართობი უკავია, ხოლო სარტყელის უკიდურეს აღმოსავლეთში, ხაჩკოვი-გუჯარეთის რაიონში, გაშიშვლებული ყველაზე დიდი ინტრუზიული სხეულის ფართობი მხოლოდ 0,1 კმ.²-ს შეადგენს. აღნიშნულიდან გამომდინარე, აშკარაა, რომ ამ სარტყელში პლუტონების მასშტაბები და რაოდენობა რიფტული სტრუქტურის გაჭიმვის ინტენსიობის პირდაპირპროპორციულია.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონებს, უპირატესად, ოვალური ფორმები გააჩნია და არ კვეთს დანაოჭებულ სტრუქტურებს. პიროკლასტური მასალის ფაციალური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ეს სხეულები ძირითადად ლოკალიზებულია ვულკანურ ცენტრების არეალებში, რის გამოც, დიდი ალბათობით, ისინი უნდა განვიხილოთ, როგორც მაგმის მომყვანი არხები.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელში გამოიყოფა რამდენიმე, შედარებით დიდი პლუტონი, რომელთანაც დაკავშირებულია მადანგამოვლინებები. ეს პლუტონებია: მერისის, ნამონასტრალის, ვაკიჯვრის, ზოტის, ჩარხის, ლაღვის, ზეკარისა და რკვიანას.

მერისის პლუტონი. შიშვლდება აჭარაში, მდ. აჭარისწყლის მარცხენა შენაკადის აკავრეთას ხეობაში. მას განედური მიმართების, ელიფსოიდური ფორმა გააჩნია, რომლის გაშიშვლებული ფართი 10.8 კმ². მოიცავს. იგი ძირითადად აგებულია გაბროებით, დიორიტებით, მონცონიტებით და სიენიტებით. ამ პლუტონთანაა გენეტურად დაკავშირებული მერისის მადნიანი ველის ფორმირება.

ნამონასტრალის პლუტონი. შიშვლდება აჭარაში, ამავე სახელწოდების სოფელში, მდ. თიკნარას აუზში, რომლის გაშიშვლებული ფართობი მოიცავს 5.2 კმ². ეს

პლუტონი აგებულია თითქმის ისეთივე ქანებით, როგორც მერისის პლუტონი.

ვაკიჯვრის პლუტონი. შიშვლდება გურიის რეგიონში, მდ. ნატანებისა და ბჟუჟას ხეობებში და თანამედროვე ეროზიულ დონეზე 8 გამოსავლითაა წარმოდგენილი. ამ პლუტონის შედარებით დიდი გამიშვლებებია ბჟუჟას (~15 კმ²), ვაკიჯვრის (~3 კმ²) და ქორისბუდის (~1.5 კმ²). ვაკიჯვრის პლუტონის უდიდეს ნაწილს წარმოადგენს პიროქსენ-ბიოტიტიანი და ბიოტიტიანი სიენიტები, ხოლო დამორჩილებული რაოდენობით გვხვდება გაბრო-მონცონიტები. ამ პლუტონთანაა გენეტურად დაკავშირებული ვაკიჯვრის მადნიანი ველი.

ზოტის პლუტონი. შიშვლდება გურიაში, მდ. გუბაზეულის მარჯვენა შენაკადის თეთრი ღელეს წყალშემკრებში და მოიცავს დაახლოებით 4,5 კმ² ფართობს. წარმოდგენილია ძირითადად გაბრო-დიორიტ-მონცონიტური ქანებით. ამ პლუტონთან გენეტურად არის დაკავშირებული ზოტის მადნიანი ველი.

ჩარხის პლუტონი. შიშვლდება გურიაში მდ. გუბაზისეულის მარცხენა შენაკად ოქროს ღელეს ხეობაში, რომლის გამოსავალი მცირეა და 200 მ²-ს არ სცილდება. ეს გამიშვლება წარმოდგენილია ძირითადად სიენიტებით და მასთან არის დაკავშირებული ჩარხის პოლიმეტალური მადანგამოვლინება.

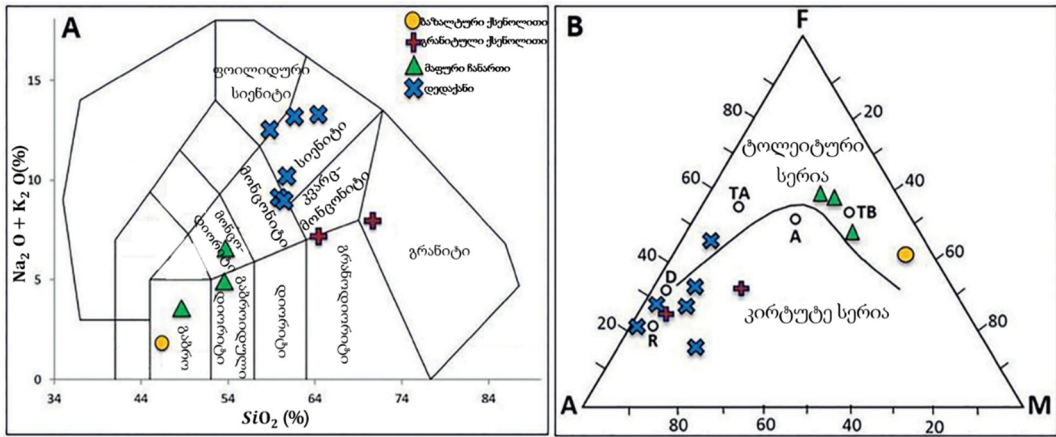
რკვიანას პლუტონი. შიშვლდება შიდა ქართლში, მდ. ძამის ხეობაში და მის მარცხენა შენაკად სათერძეს სათავეებში. იგი ძირითადად აგებულია გაბრო-ებით, დიორიტებითა და სიენიტებით, თუმცა უდიდესი ნაწილი გაბროულია. ამ პლუტონთანაა გენეტურად დაკავშირებული ძამას რკინის სკარნული და ღართას პოლიმეტალური გამადნებები.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონების დიფერენცირებული პროდუქტები შედარებით უფრო მჟავაა, ვიდრე შემცავი ვულკანოგენურ-დანალექი ქანები (ცხრ. 6.8). ისინი ძირითადად წარმოდგენილია გაბროებით, დიორიტებით, მონცონიტებით, კვარციანი მონცონიტებითა და სიენიტებით (ნახ. 6. 32). პლუტონური ქანების კონტაქტები შემცავ ტუფოგენებთან ყველგან აქტიურია და ხასიათდება ენდოკონტაქტური შეცვლებით და პოსტმაგმური ჰიდროთერმული გარდაქმნებით (Okrostsvaridze et al., 2021).

ცხრილი 6.8. აჭარა-თრაიალეთის პლუტონებისა და მათი ჩანართების ძირითადი და ზოგიერთი იშვიათი ელემენტის LA-ICP-MS ქიმიური ანალიზები

ნომ.	12GE01	12GE03	12GE04	12GE05	12GE08	12GE09	12GE12	12GE13	12GE14	12GE16	12GE19	12GE21
ძირითადი ელემენტები (წონ. %)												
SiO ₂	53,8	60,0	58,9	60,8	64,4	70,6	46,4	61,3	64,4	53,6	60,6	48,6
Al ₂ O ₃	8,5	17,3	18,5	17,5	14,2	13,5	12,5	1,54	18,1	18,9	17,3	17,2
Fe ₂ O ₃	8,5	5,7	5,1	5,7	6,7	2,8	10,1	5,1	3,6	8,2	2,1	8,5
CaO	6,1	2,4	3,3	2,5	1,9	1,9	11,6	0,2	0,4	7,7	5,8	10,8
MgO	3,4	1,7	2,1	1,7	3,1	0,8	13,4	0,8	0,4	3,2	2,5	7,9
Na ₂ O	4,1	4,2	5,8	4,8	3,3	3,6	0,3	7,8	5,9	4,2	7,5	2,7
K ₂ O	2,3	4,8	6,5	5,4	3,8	4,3	1,5	5,5	7,4	0,6	1,6	0,6
MnO	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	1,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2
TiO ₂	0,9	0,6	0,8	0,7	0,9	0,1	0,7	0,4	0,3	0,7	0,6	0,8
P ₂ O ₅	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1
იშვიათი ელემენტები (გ/ტ)												
Co	18,1	11	6.4	6.1	27	42	38,35	3,5	4,2	21	14	27
Hf	4,5	3.7	2.9	1.1	4,2	2,7	1,465	4,3	6,7	3,2	4,3	2,5
Nb	22,6	12.5	30.9	5.9	3,2	5,2	9,68	8,1	9,1	24	11.7	1,5
Rb	125,5	152	175.5	210.4	325	408	25,3	143,5	82	122	147	27
Sr	39,2	497	487.2	249.7	501	609	505,8	157,3	272	336	462	360
Ta	2,4	1.2	2.4	3.8	2,3	3,2	3,099	1,5	0,7	2,5	1,4	0,2
Th	12,9	10.7	34.1	12.2	8,7	6,2	4,21	10,5	22,3	14,2	15,7	2,3
U	4,1	3.2	9.6	3.7	4,5	3,0	2,001	4,1	6,7	5,3	3,7	0,6
V	114,0	115	107.9	25.9	70	42	200,9	72	73	112	118	362
W	3,6	2	1.4	1.3	<1	<1	1,773	6,3	1,2	2,7	1,5	0,5

გამიშვლება და ქანის ტიპები: 12GE01 – ნამონასტრალის პლუტონი, გაბრო-დიორიტი; 12GE03 – მერისის პლუტონი, მონცონიტი; 12GE04 – მერისის პლუტონი, სიენიტი; 12GE05 – ნამონასტრალის პლუტონი, სიენიტი; 12GE08 – ნამონასტრალის პლუტონი, გრანოდიორიტის ქსენოლითი; 12GE09 – ნამონასტრალის პლუტონი, გრანიტის ქსენოლითი; 12GE12 – ვაკიჯვრის პლუტონი, ბაზალტური ქსენოლითი; 12GE13 – ვაკიჯვრის პლუტონი, სიენიტი; 12GE14 – ზოტის პლუტონი, სიენიტი; 12GE16 – ზოტის პლუტონი, მონცო-დიორიტის რესტიტი; 12GE19 – ჩარხის პლუტონი, მონცონიტი; 12GE21 – ჩარხის პლუტონი, გაბროული რესტიტი.



ნახ. 6.32. აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონებისა და მათი ჩანართების პეტროქიმიური დიაგრამები: A-TAS კლასიფიკაციური დიაგრამა (**Middlemos, 1994**); B-AFM დისკრიმინაციული დიაგრამა (**Irvine, Baragar, 1971**) ($A\Box = \Box Na_2O + K_2O$ წონ. %; $F\Box = \Box FeO$ წონ. %; $M\Box = \Box MgO$ წონ. %). აბრევიატურა საშუალო შემცველობისათვის: TA - ტოლეიტური ანდეზიტები; TB — ტოლეიტური ბაზალტები; A - ანდეზიტები; D - დაციტები; R - რიოლითები.

როგორც ამ მოკლე მიმოხილვიდან ვხედავთ, აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონები ძირითადად წარმოდგენილია კვარც-მონცონიტური და სიენიტური წარმონაქმნებით. თანამედროვე კვლევების მიხედვით, ამ ტიპის მაგმური კერები შესაძლებელია ჩამოყალიბდეს სუბდუქციურ ზონებში (მაგ., **Duggen, 2005**), მანტიური პლიუმების აქტიურობის არეალში (მაგ., **Ashwal et al., 2016**), პოსტკოლიზიურ გეოდინამიურ რეჟიმში (მაგ., **Chung et al., 2005**) და აგრეთვე კონტინენტურ რიფტულ სტრუქტურებში (**Peccerillo et al., 2003**). კვარც-მონცონიტური და სიენიტური გენეტური ტიპის მაგმური მდნარების ფორმირების ასეთი მრავალფეროვანი სპექტრის გამო რთულია ცალსახად განვსაზღვროთ აჭარა-თრიალეთის სარტყელის მაგმის ფორმირების გეოდინამიკური რეჟიმი. თუმცა, ერთი უდავოა, რომ ყველა შემთხვევაში, ამ ტიპის მაგმატიზმი ვითარდება, კონტინენტური ტიპის ქერქზე, ფუძე-მაგმური მდნარების აქტიური ზემოქმედებით.

6.4.1.2. პლუტონების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგია

პროექტით დაგეგმილი საველე სამუშაოების დროს, პლუტონების ცირკონების U-Pb მეთოდით დათარიღების მიზნით, ავიღეთ 4-5 კგ წონის 20 ნიმუში, თუმცა მხოლოდ 15 მათგანიდან მოხერხდა ცირკონების გამორჩევა. ცირკონები გამოირჩა, პლუტონების შემცავი, პიროკლასტური ქანის ერთი ნიმუშიდან, ამ ქანების გადამფარავი ბაზალტური ნაკადის ერთი ნიმუშიდან, გამკვეთი გაბროს ერთი ნიმუშიდან, პლუტონების 10 ნიმუშიდან, პლუტონების 3 ქსენოლითიდან და პლუტონის 2 რესტიტიდან. სულ 15 ნიმუშიდან გამოირჩა 324 ცირკონის მარცვალი. მათი U-Pb მეთოდით დათარიღება განხორციელდა ტაივანის ნაციონალურ უნივერსიტეტში LA-ICP-MS 7500s დანადგარზე, **ი. ჩიუსა და სხვათა (2009)** მეთოდოლოგიის მიხედვით.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პიროკლასტური ქანებიდან დავათარიღეთ ერთი ნიმუში (12GE10). იგი წარმოადგენს ანდეზიტური შედგენილობის ქანს ($\text{SiO}_2=60.80\%$), რომელიც ავიღეთ მდ. აჭარისწყლის ხეობაში, დაბა ხელვაჩაურთან ახლოს. ამ ნიმუშიდან გამოირჩა ცირკონის 26 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი პასუხობს $50,00\pm 4.8$ მლნ. წელს. ამავე გაშიშვლებაში, აღნიშნული ნიმუშიდან 150 მეტრში აღმოსავლეთით ავიღეთ ნიმუში (12GE11; $\text{SiO}_2=52.10\%$), რომელიც წარმოადგენს 1,3 მ სიმძლავრის ბაზალტურ განფენს და რომლითაც გადაფარულია პიროკლასტური ნალექები. ამ ნიმუშიდან გამოირჩა ცირკონის 9 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $41,8\pm 1,5$ მლნ. წელს (**Okrostsvaridze et al., 2021**).

აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონების 10 ნიმუშიდან გამოირჩა ცირკონის 184 მარცვალი, რომლებიც თითქმის იდენტურია, როგორც ფორმებით, ასევე ქიმიური შედგენილობით. მათ გააჩნია ზონალური აგებულება, ხასიათდება პრიზმული ფორმებით, ხოლო სიგრძეები მერყეობს 80-140 მიკრომეტრის ფარგლებში. ისინი იდენტურობას ავლენენ, როგორც ქიმიური შედგენილობით, ასევე იზოტოპური პარამეტრებითაც. მათში საკმაოდ მაღალია U კონცენტრაცია,

ხოლო Th/U ყოველთვის მეტია 0,4-ზე (ცხრ. 6.8), რაც მაგმური გენერაციის ცირკონების მახასიათებელია (Wu et al., 2004).

ნამონასტრევის პლუტონი. ამ პლუტონიდან ნიმუშები ავიღეთ ს. სილაბაურიდან ჩანჩქერისკენ მიმავალ გზაზე. სოფლიდან 500 მეტრის დაშორებით. პირველი ნიმუში (12GE05) წარმოადგენს მასიურ სიენიტს ($\text{SiO}_2=60.80\%$), საიდანაც გამოირჩა 22 ცირკონი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $42,42\pm 0,52$ მლნ. წელს (ცხრ. 6.9; ნახ. 6.33). მეორე ნიმუში (12GE06) ავიღეთ ამ ნიმუშიდან 200 მეტრში აღმოსავლეთით და რომელიც წარმოადგენს დიორიტს ($\text{SiO}_2=56.70\%$). ამ ნიმუშიდან გამოირჩა ცირკონის 11 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $42,03\pm 0,83$ მლნ.

მერისის პლუტონი. ამ პლუტონიდან დათარიღდა ორი ნიმუში. პირველი ნიმუში (12GE03) წარმოადგენს საღ დიორიტს ($\text{SiO}_2=60,00\%$), რომელიც ავიღეთ ინტრუზივის დასავლეთ პერიფერიიდან, მდ. აკვარეთას ხეობაში. ამ ნიმუშიდან გამორჩეული და დათარიღებულია ცირკონის 20 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $43,42\pm 0,61$ მლნ. წელს. მეორე ნიმუში (12GE04) ავიღეთ წინა ნიმუშის აღების წერტილიდან 120 მეტრში აღმოსავლეთით და წარმოადგენს შედარებით საღ სიენიტს ($\text{SiO}_2=58,90\%$). ამ ნიმუშიდან გამოირჩა და დათარიღდა 22 ცირკონი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $42,78\pm 0,65$ მლნ. წელს.

როგორც ვხედავთ, მერისის პლუტონიდან დათარიღებული სიენიტის ორივე ნიმუშის იზოტოპური ასაკი ცდომილების ფარგლებში თითქმის იდენტურია ($43,42\pm 0,61$ მლნ. წ. და $42,78\pm 0,65$ მლნ. წ.), რაც ჩატარებული ანალიტიკური სამუშაოს მაღალ დონეზე მეტყველებს. ასევე შეიძლება ითქვას ნამონასტრევის პლუტონის შემთხვევაშიც.

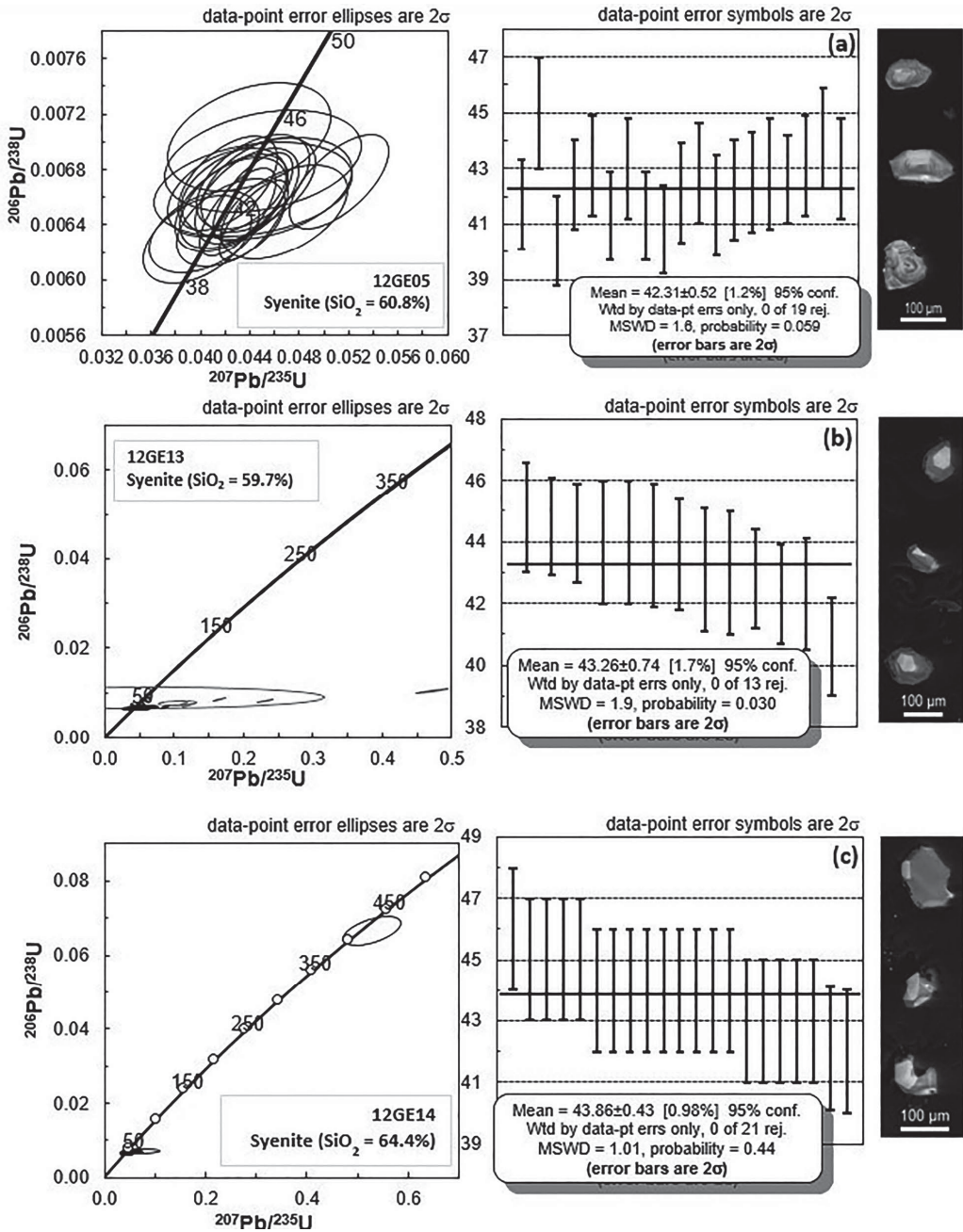
ვაკიჯვრის პლუტონი. მდ. ბჟუჟას ხეობაში შემოქმედი-გომის საავტომობილო გზის გასწვრივ ამ პლუტონიდან ავიღეთ ორი ნიმუში, ერთი თვით პლუტონის ძირითადი ფაზიდან, ხოლო მეორე ჩანართიდან. ძირითადი ფაზიდან აღებული ნიმუში (12GE13) არის საღი, მასიური სიენიტი ($\text{SiO}_2=59,70\%$). ამ ნიმუშიდან

გამოირჩა ცირკონის 22 მარცვალი (ნახ. 2), რომელთა შეწონილი საშუალო U-Pb ასაკი შეესაბამება $43,26 \pm 0,74$ მლნ. წელს.

ცხრილი 6.9. ნამონასტრევის პლუტონის სიენიტის ნიმუშის (12GE05) ცირკონების U-Th ქიმიური ანალიზები, U/Pb პარამეტრები და U-Pb ასაკი

Spot.	U (ppm)	Th/U	U/Pb ratios			Ages (Ma)			Inferred Age (Ma)
			$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	
1	841,0	1,1410	0,00649	0,04805	0,04299	41,7	102	43	41,7
2	198,8	0,7636	0,00704	0,04531	0,04397	45	-4	44	45
3	2149,9	2,3636	0,00648	0,04849	0,0433	41,6	123	43	41,6
4	360,7	0,8632	0,00629	0,04585	0,03978	40,4	-10	40	40,4
5	780,6	1,1410	0,0066	0,04864	0,04429	42,4	131	44	42,4
6	359,4	0,6090	0,00671	0,04789	0,04429	43,1	94	44	43,1
7	366,8	0,6707	0,00642	0,04799	0,04248	41,3	99	42	41,3
8	366,1	0,7142	0,00669	0,04841	0,04466	43	119	44	43
9	1377,7	1,6825	0,00643	0,05005	0,04435	41,3	197	44	41,3
10	563,8	0,9107	0,00635	0,04609	0,04033	40,8	2	40	40,8
11	360,0	0,7464	0,00655	0,04708	0,0425	42,1	53	42	42,1
12	344,0	0,8632	0,00666	0,04819	0,04424	42,8	109	44	42,8
13	259,2	1,0561	0,00649	0,05227	0,04674	41,7	297	46	41,7
14	272,1	1,2256	0,00656	0,04845	0,04385	42,2	121	44	42,2
15	328,2	0,8558	0,00657	0,04718	0,04275	42,2	58	43	42,2
16	365,4	0,7520	0,00661	0,04803	0,04376	42,5	101	43	42,5
17	166,2	0,5366	0,00666	0,04944	0,0454	42,8	169	45	42,8
18	333,3	0,9638	0,00664	0,04608	0,04216	42,6	2	42	42,6
19	291,8	0,6531	0,00687	0,04629	0,04387	44,2	13	44	44,2
20	478,5	1,0341	0,00671	0,05543	0,05126	43,1	430	51	43,1
21	329,7	0,7636	0,00686	0,04762	0,04503	44,1	80	45	44,1
22	407,9	0,7353	0,0067	0,04566	0,04221	43	-20	42	43

ზოტის პლუტონი. ამ პლუტონიდან, მდ. თეთრი დელეს ხეობაში, ავიღეთ და დავათარიღეთ ორი ნიმუში ერთი სიენიტის (12GE14) ($\text{SiO}_2=64,40\%$) და მეორე სუსტად გაკვარცხული გაბროსი ($\text{SiO}_2=53,60\%$) (12GE16). სიენიტებიდან გამოირჩა ცირკონის 24 მარცვალი, რომელთა შეწონილი საშუალო U-Pb ასაკი შეესაბამება $43,86 \pm 0,43$ მლნ. წელს (ნახ. 6. 33).



ნახ. 6.33. კონკოდიული მრუდები (მარცხენა პანელები), საშუალო შეწონილი $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ასაკი (ცენტრალური პანელები) და ცირკონების LA-ICP-MS კათოდურ-ლუმინესცენციური გამოსახულებები (მარჯვენა პანელები): ნამონასტრების (a), ვაკიჯვრის (b) და ზოტის (c) პლუტონებისათვის.

ოქროს ღელეს პლუტონი. ოქროს ღელეს პლუტონიდან დავათარილეთ ორი ნიმუში. ერთი ნიმუში (12GE19) წარმოადგენს მასიურ საშუალომარცვლოვან ბიოტიტიან სიენიტს ($\text{SiO}_2=60.60\%$). ამ ნიმუშიდან გამოირჩა და დათარილდა ცირკონის 22 მარცვალი, რომელთა შეწონილი საშუალო U-Pb ასაკი შეესაბამება $44,34\pm 0,55$ მლნ. წელს.

რკვიანას პლუტონი. ამ გაბრო-დიორიტული შედგენილობის პლუტონის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილიდან, მდ. სათერძეს სათავეებში, სამანქანო გზის გასწვრივ, ავიღეთ ერთი ნიმუში (19GE19). გაბროს ამ ნიმუშიდან ($\text{SiO}_2=48,60\%$) გამოირჩა და დათარილდა ცირკონის 22 მარცვალი, რომელთა შეწონილი საშუალო U-Pb ასაკი შეესაბამება $44,32\pm 0,51$ მლნ. წელს.

6.4.1.3. პლუტონების ჩანართების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგია

როგორც ცნობილია ქსენოლითები და რესტიტები, რომელთაც აერთიანებენ საერთო ტერმინით ჩანართები, მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაძლევს ფელ-ზური მდნარების წყაროსა და ფორმირების გეოდინამიკური რეჟიმის დასადგენად (მაგ., **Didier, 1973; Didier, Barbarin, 1991; Barbarin, 2005; Shellnutt et al. 2010; Zhao et al., 2012**). გარდა აღნიშნულისა, ჩანართების კვლევა საშუალებას გვაძლევს დეტალურად შევისწავლოთ მანტიურ მდნარებსა და ქერქს შორის მიმდინარე ასიმილაციური პროცესებიც (მაგ., **Griffin et al., 2002; Liu et al., 2013; Yu et al. 2018**).

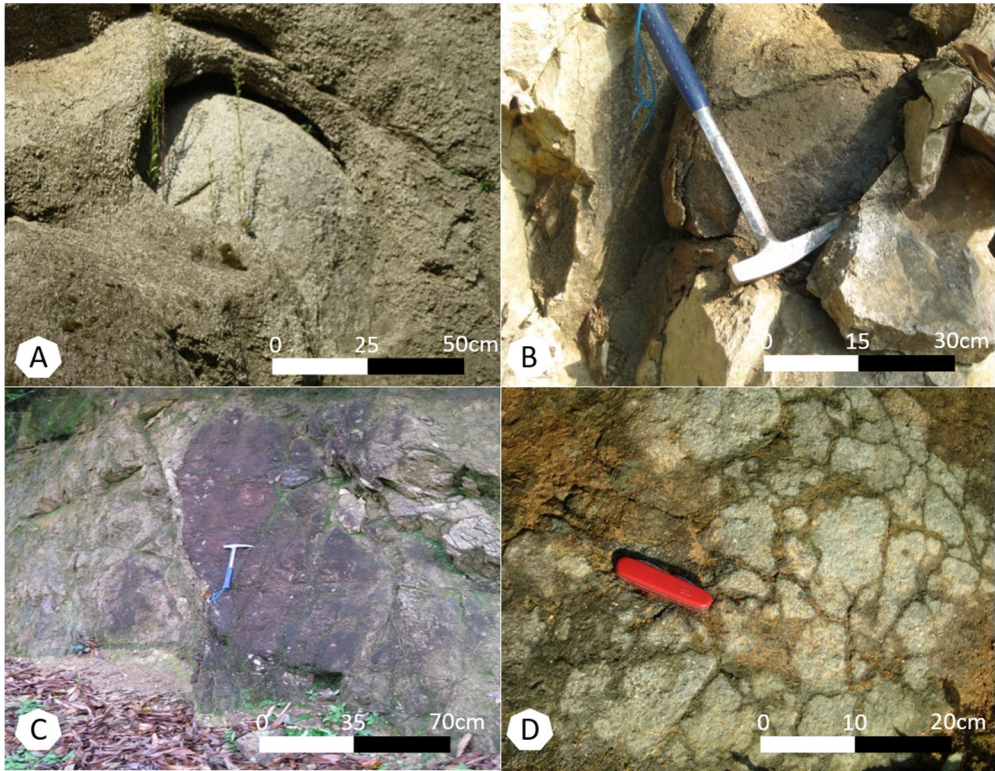
საველე სამუშაოების დროს გაირკვა, რომ აჭარა-თრიალეთის სარტყლის შუაეოცენური პლუტონები სხვადასხვა გენერაციის ჩანართებს შეიცავს. მათში გამოიყო სამი გენეტური ტიპი: გრანიტოიდული და ბაზალტური ქსენოლითები, გაბროული რესტიტები და მაფური წვრილმარცვლოვანი ჩანართები (ნახ. 6. 33).

ჩვენ შევეცადეთ ყველა ამ ტიპის ჩანართის ცირკონების U-Pb იზოტოპური ასაკი დაგვედგინა, თუმცა, სამწუხაროდ, მაფურ წვრილმარცვლოვან ჩანართებში ცირკონები არ აღმოჩნდა. აღნიშნულის გამო, დავათარილეთ მხოლოდ ორი გაბრო-დიორიტული რესტიტის, ორი გრანიტოიდული და ერთი ბაზალტური ქსენოლითის ნიმუში.

ამ ჩანართების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიურმა კვლევამ საინტერესო შედეგები გვიჩვენა. ქსენოლითები წარმოდგენილია სხვადასხვა ასკობრივი და გენეტური ტიპის ქანებით კერძოდ, ნეო-პროტერეოზოული მაგნიუმით მდიდარი ბაზალტებით, ორდოვიციული ბიოტიტ-რქატყუარინი და კარბონული მუსკოვიტ-ბიოტიტიანი გრანიტებით. რაც შეეხება მაფურ გაბრო-დიორიტულ რესტიტებს, როგორც მოსალოდნელი იყო ისინი შუა ეოცენურად დათარიღდა.

ნამონასტრევის სიენიტური პლუტონი შეიცავს საშუალომარცვლოვანი მასიური ბიოტიტიანი გრანიტების ოვალურ ქსენოლითებს. ისინი ძირითადად აგებულია: პლაგიოკლაზით, კალიუმის მინდვრის შპატით, ბიოტიტით და მუსკოვიტით; მეორადი მინერალებია: მუსკოვიტი, სერიციტი, ქლორიტი და ეპიდოტი; აქცესორული მინერალებია: ცირკონი, აპატიტი, მონაციტი და ილმენიტი. ასეთი ჩანართები განსაკუთრებით ბევრია სოფელ სილაბაურიდან ჩანჩქერისკენ მიმავალი გზის გასწვრივ, სადაც მათი დიამეტრები 20 სმ-დან 120 სმ-ის ფარგლებში მერყეობს ეს ჩანართები შემცავი სიენიტებისგან ვიზუალურად გამოირჩევა ოვალური ფორმებით, შედარებით ღია შეფერილობითა და ბიოტიტის ჭარბი შემცველობით. გარდა აღნიშნულისა, ინტენსიური გამოფიტვის პროცესის შედეგად რელიეფში ეს ჩანართები ზოგჯერ მცირე სფეროიდების სახით არის შემორჩენილი. ერთ შემთხვევაში აღინიშნება ნამონასტრალის პლუტონის სიენიტური, რუხი ფერის, ძირითად მასასთან შედარებით ღია შეფერილობის ორქარსიანი გრანიტის სფეროსებრი ჩანართი (ნახ. 6.34).

მუსკოვიტ-ბიოტიტიანი გრანიტის ქსენოლითიდან აღებული ნიმუშიდან (12GE09) გამორჩეული ცირკონის 22 მარცვლის საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $312,1 \pm 6,6$ მლნ. წელს (ცხრ. 6. 10). აღსანიშნავია, რომ ამ გენეტური ტიპისა (ანატექტური) და ასაკის (გვიანპერციინული) გრანიტებითაა აგებული ამიერკავკასიის მიკროფილის ძირულისა და ხრამის მასივების მნიშვნელოვანი ნაწილი (მაგ., **Гамкრелидзе, Шенгелия 2005; Okrostsvaridze, Tormey, 2013**).



ნახ. 6. 34. სხვადასხვა გენერაციის ჩანართები აჭარა-თრიალეთის სარტყელის შუა ეოცენურ პლუტონებში. A - გვიანპალეოზოური ბიოტიტიანი გრანიტის ჩანართი (312 ± 6.6 მლნ. წ.) ნამონასტრალის პლუტონში ($42,42 \pm 0,52$ მლნ.წ.); B-დაუთარიღებელი მაფური წვრილმარცვლოვანი ჩანართი მერისის პლუტონში ($43,42 \pm 0,61$ მლნ. წ.); C- გაბროული რესტიტი ($46,77 \pm 0,81$ მლნ. წ.) ზოტის პლუტონში ($43,86 \pm 0,43$ მლნ. წ.); D - კამბრიულისწინა (632 ± 29 მლნ.წ.; 747 ± 33 მლნ. წ.) Mg-მდიდარი ტოლეიტური ბაზალტების ჩანართი ვაკიკჯვრის პლუტონში ($43,26 \pm 0,74$ მლნ.წ.).

სხვა პლუტონებში პალეოზოური გრანიტების ჩანართებს ჩვენ ვერ მივაკვლიეთ, თუმცა, ასევე ნამონასტრალის პლუტონში, აღნიშნული გრანიტების ქსენოლითების გარდა, სოფელ სილაბაურის ახლოს შიშვლდება წვრილმარცვლოვანი რქატყუარა-ბიოტიტიანი გრანოდიორიტული ოვალური ქსენოლითი, რომლის დიამეტრი დაახლოებით 50 სმ-ია. ამ ქსენოლითებიდან აღებული ნიმუშიდან (12GE08) გამოირჩა ცირკონის 24 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $473,8 \pm 4.5$ მლნ. წელს. აღსანიშნავია, რომ ამ ასაკისა და პეტროგრაფიული ტიპის ქანები, ასევე მონაწილეობენ ამიერკავკასიის მიკროვილის ძირულისა და ხრამის მასივების აგებულებაში.

ცხრილი 6.10. ნამონასტრალის სიენიტურ პლუტონში არსებული ორქარსიანი გრანიტის ქსენოლითის ცირკონების U-Th ქიმიური ანალიზები და U-Pb ასაკი (12GE09)

Spot.	U (ppm)	Th/U	U-Th-Pb ratios			Ages (Ma)			Inferred Age (Ma)
			²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	
1	920,7	0,1558	0,05132	0,05713	0,40426	323	497	345	323
2	861,8	0,1310	0,05488	0,05327	0,40312	344	340	344	344
3	1761,8	0,0950	0,04956	0,05262	0,35953	312	312	312	312
4	260,5	1,0909	0,07863	0,05923	0,64207	488	576	504	488
5	143,1	0,7142	0,079	0,06122	0,66681	490	647	519	490
6	677,1	0,0828	0,04979	0,05326	0,3656	313	340	316	313
7	3314,8	0,0825	0,05092	0,05627	0,395	320	463	338	320
8	2646,5	0,0847	0,05047	0,05216	0,36301	317	292	314	317
9	3661,9	0,1367	0,04938	0,0529	0,36021	311	325	312	311
10	1070,0	0,1811	0,05275	0,05696	0,41421	331	490	352	331
11	712,7	0,0463	0,05628	0,05345	0,41474	353	348	352	353
12	447,6	0,1274	0,09579	0,05968	0,78816	590	592	590	590
13	2323,4	0,0033	0,04753	0,05291	0,3467	299	325	302	299
14	964,0	0,2735	0,05088	0,05678	0,39827	320	483	340	320
15	447,7	0,3732	0,07956	0,0573	0,62847	493	503	495	493
16	1105,9	0,1119	0,04829	0,05525	0,36782	304	422	318	304
17	3704,1	0,2981	0,0468	0,05315	0,34292	295	335	299	295
18	711,0	0,1332	0,05198	0,05494	0,39366	327	410	337	327
19	596,3	0,2014	0,05108	0,05317	0,37442	321	336	323	321
20	1167,0	0,2812	0,0577	0,05925	0,47135	362	576	392	362
21	5573,3	0,1257	0,04656	0,05323	0,34174	293	338	298	293
22	3106,7	0,1677	0,05063	0,0528	0,36853	318	320	319	318

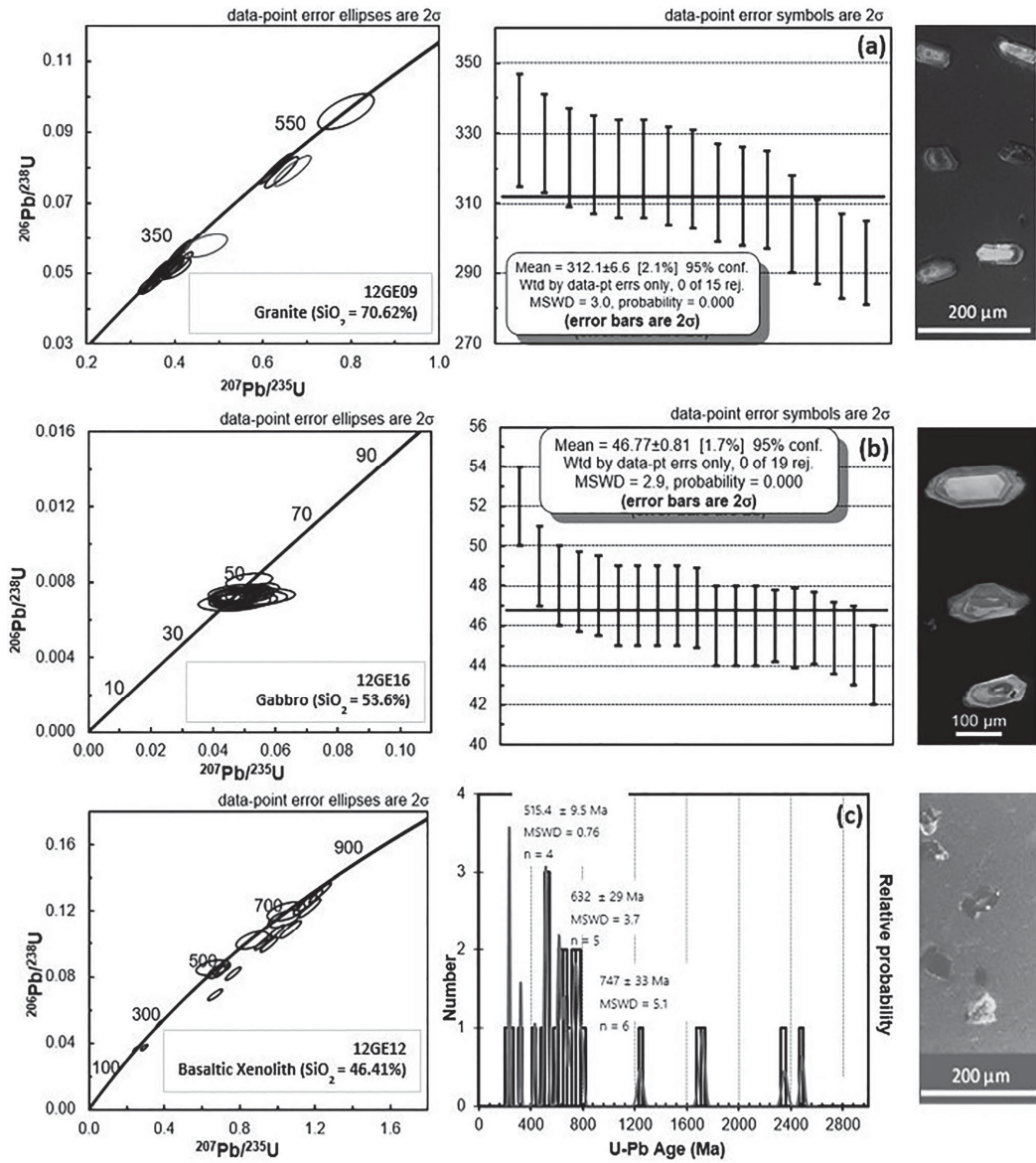
აჭარა-თრიალეთის სარტყელის შუაეოცენური პლუტონების ზოგიერთ უბანზე აღინიშნება მუქი ფერის ჩანართები, რომლებიც დიდი ალბათობით იმ მანტიური ინექციების ნარჩენებს უნდა წარმოადგენდეს, რომელთაც კონტინენტური ტიპის ქერქის გადაღობა და ასიმილაცია გამოწვია. ზოტის ინტრუზივის სამხრეთ პერიფერიაზე მდ. თეთრი ღელეს ხეობა კარგად ამიშვლებს ერთ-ერთ ასეთ ჩანართს, რომელსაც ლინზისმაგვარი (1,2 მ X 3,2 მ) ფორმა გააჩნია. ამ ჩანართიდან აღებული ნიმუშიდან (12GE16) გამოირჩა ცირკონის 22 მარცვალი, რომელთა საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $46,77 \pm 0,81$ მლნ. წელს. ამ

ჩანართში SiO_2 შემცველობა 53,69% შეადგენს, ხოლო ფერადი მინერალები წარმოდგენილია პიროქსენითა და რქატყუარით. ეს მონაცემები კი იმის უფლებას გვაძლევს დავუშვათ, რომ ეს ჩანართი, დიდი ალბათობით გაბროული ინექციის რესტიტს წარმოადგენს.

მასიური გაბროს სხეული დავათარიღეთ აგრეთვე ოქროს ღელეს პლუტონიდან, რომელიც ავიღეთ ამ ღელეს სათავიდან. სამწუხაროდ ცუდი გამოვლების გამო, კარგად არ ჩანს იგი გამკვეთია თუ რესტიტული წარმონაქმნი. ამ სხეულიდან აღებული ნიმუშიდან (12GE21; $\text{SiO}_2=48.60\%$) გამოირჩა ცირკონის 24 მარცვალი, რომელთა შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $44,84 \pm 0,59$ მლნ. წელს.

ვაკიჯვრის პლუტონის დასავლეთ პერიფერიაზე სოფ. შემოქმედიდან გომის მთისკენ მიმავალი გზის მარცხენა მხარეს, დაახლოებით 40 მეტრის სიგრძეზე და 5 მეტრის სიმაღლეზე, შიშვლდება 0.5-1.2 მ დიამეტრის ბაზალტური ოვალური ჩანართები. ამ ჩანართებს შორის სივრცეები ამოვსებულია თიხური მასით, ხოლო მათი ზედაპირი დანაწევრებულია მცირე ფრაგმენტებად. სავლეთ კვლევის მიხედვით, ეს ჩანართები შესაძლებელია განვიხილოთ, როგორც ბალიშა ლავების ფრაგმენტები, რომელიც შეიტაცა ახალგაზრდა სიენიტურმა მაგმამ.

პეტროგრაფიულად ისინი შეესაბამება მასიურ, წვრილმარცვლოვან, მუქი ფერის ოლივინიან ბაზალტებს, რომელშიც პლაგიოკლაზია $>50\%$, ოლივინი $>7\%$, ავგიტი $>30\%$, ეპიდოტი $>3\%$, ხოლო ვულკანური მინა $>10\%$. ამ ქანებში ძირითადი ქიმიური ელემენტების კონცენტრაცია ასეთია: $\text{SiO}_2=46,41\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3=12,46\%$, $\text{MgO}=13,44\%$, $\text{TiO}_2=0,73\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3=10,05\%$, $\text{CaO}=11,58\%$, $\text{Na}_2\text{O}=0,29\%$, $\text{K}_2\text{O}=1,52\%$, $\text{Nb}=4,031$ გ/ტ, $\text{Zr}=148,9$ გ/ტ, $\text{Sr}=293,2$ გ/ტ, $\text{Rb}=151,8$ გ/ტ, $\text{Hf}=1,513$ გ/ტ, $\text{Se}=0.5$ გ/ტ, $\text{Ta}=2,557$ გ/ტ, $\text{La}=9,496$ გ/ტ, $\text{Y}=30,1$ გ/ტ. ამ მონაცემების მიხედვით, ისინი წარმოადგენენ ტიპურ Mg მდიდარ, ტოლეიტურ ბაზალტებს, რომლებიც ფორმირდება შუაოკეანურ ქედებში, მანტიური პერიოდოტიტების დეკომრესიული, ნაწილობრივი ლღობის შედეგად.



სურ. 6.35. (a) ნამონასტრევის პლუტონის გრანიტის ქსენოლითის კონკორდიის მრუდები (მარცხენა პანელი), საშუალო შეწონილი ასაკი $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (ცენტრალური პანელი) და ცირკონების კათოდურ-ლუმინესენციური გამოსახულებები (მარჯვენა პანელი); (b) ზოტის პლუტონის გაბროული რესტიტის კონკორდიის მრუდები (მარცხენა პანელი), საშუალო შეწონილი ასაკი $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ (ცენტრალური პანელი) და ცირკონების კათოდურ-ლუმინესენციური გამოსახულებები (მარჯვენა პანელი); (c) ვაკიჯვრის პლუტონის ბაზალტური ქსენოლითის კონკორდიის მრუდები (მარცხენა პანელი), ასაკობრივი ჰისტოგრამები (ცენტრალური პანელი) და ცირკონების კათოდურ-ლუმინესენციური გამოსახულება (მარჯვენა პანელი).

ამ ქანებიდან აღებული ნიმუშიდან (12GE12) გამოვარჩიეთ და დავათარიღეთ ცირკონის 26 მარცვალი, რომელთა ნაწილის საშუალო შეწონილი U-Pb ასაკი შეესაბამება $515,4 \pm 9.5$ მლნ. წელს, ნაწილის 632 ± 29 მლნ. წელს, ხოლო ნაწილი დათარიღდა 747 ± 33 მლნ. წლით (ცხრ. 6. 11). ეს მოულოდნელი და საინტერესო მონაცემები მნიშვნელოვანი გეოლოგიური ინტერპრეტაციის საშუალებას იძლევა, თუმცა ამ პუბლიკაციაში ჩვენ მასზე დეტალურად არ ვიმსჯელებთ. აქ მასზე შევჩერდებით როგორც ფაქტზე, როგორც მოცემულობაზე. ვფიქრობთ ეს ჩანართები მომავალში დამოუკიდებელი კვლევის ობიექტი უნდა გახდეს, ვინაიდან ჩვენი აზრით, მათში მნიშვნელოვანი გეოლოგიური ინფორმაციაა კოდირებული.

6.11 ცხრილში შეჯამებულია აჭარა-თრიალეთის სარტყელის პლუტონების ცირკონების U-Pb გეოქრონოლოგიური კვლევის შედეგები, ხოლო გეოლოგიურ რუკაზე დატანილია ამ შედეგების ამსახველი რიცხვები (ნახ. 6.36). თუ ამ მონაცემების მიხედვით ვიმსჯელებთ, ამ სარტყელის ქვეშ არსებული კონტინენტური ქერქის იტენსიური დესტრუქცია და ვულკანოგენური პროცესები დაიწყო ~50 მლნ. წლის წინ. დესტრუქციულ კონტინენტურ ქერქში და ვულკანოგენურ-დანალექ საფარში 46-44 მილიონი წლის ინტერვალში შემოიჭრა მანტიური გაბროული ინექციები, რომელმაც გამოწვია შემცავი ქანების ასიმილაცია, ჰიბრიდიზმი და შუალედური მაგმური კერების ფორმირება. მოგვიანებით (43-42 მლნ. წ.), დანაოჭების პროცესში, ამ კერებიდან დანალექ საფარში შეიჭრა სიენიტ-მონცონიტური პლუტონები.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელში მაგმური აქტივობა დასრულდა 41-40 მლნ. წლის წინ, ბაზალტური განფენების ფორმირებით, რომელთაც გადაფარეს როგორც მძლავრი პიროკლასტური მასალა, ასევე პლუტონებიც. ამ მონაცემებიდან გამომდინარე, აშკარაა, რომ აქ ინტენსიური ეფუზიური მაგმური აქტივობა მიმდინარეობდა დროის ძალიან მცირე მონაკვეთში, დაახლოებით 9-10 მლნ. წლის განმავლობაში. ამასთან ერთად, იზოტოპური გეოქრონოლოგიური კვლევა

გვიჩვენებს, რომ ამ სარტყელში მაგმური მოქმედებები დაიწყო ერთდოულად, მთელი სტრუქტურის ღერძული ნაწილის გასწვრივ.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ამ კვლევის პროცესში პლუტონურ სხეულებში აღმოჩნდა როგორც ქვედაპალეოზოური ორქარსიანი გრანიტების (312,1±6,6 მლნ. წ.), ასევე ზედაპალეოზოური (473,8±4,5 მლნ. წ.) გრანოდიორიტების ქსენოლითები. ამ ქსენოლითების პეტროგრაფიულმა, გეოქიმიურმა და იზოტოპურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ისინი სრულ კორელაციაშია აჭარა-თრიალეთის სამხრეთ და ჩრდილო გაშიშვლებულ მეზოზოურისწინა ამიერკავკასიის ფუნდამენტის გრანიტოიდებთან (Okrostsvavidze et al., 2021). ეს ინფორმაცია კი საშუალებას გვაძლევს დავუშვათ, რომ სტრუქტურა რომელზედაც აჭარა-თრიალეთის ტროგი ჩამოყალიბდა წარმოდგენდა მეზოზოურისწინა კონსოლიდაციის კონტინენტურ ქერქს, რომელიც სრულ პეტროლოგიურ და ასაკობრივ იდენტურობას ავლენს ამიერკავკასიის მიკროფილასთან.

აღსანიშნავია, რომ ეს დაშვება კარგ შესაბამისობაშია ე. გამყრელიძის შრომებში (Гамკრელიძე, 1977; Gamkrelidze, 1989) ჩამოყალიბებულ დასკვნებთან, რომელთა მიხედვითაც, აჭარა-თრიალეთის რიფტოგენული ტროგი ჩაისახა მეზოზოურისწინა კონსოლიდაციის, ამიერკავკასიის ფუნდამენტის სამხრეთ-დასავლეთ კიდეზე და იგი წარმოდგენდა მცირე კავკასიონისა და აღმოსავლეთ პონტიდების გვიანცარცულ-ადრეპალეოგენურ კუნძულთა რკალის ზურგსუკანა რიფტს. აღნიშნული შრომების მიხედვით, ამ დესტრუქციული პროცესების შედეგად, ამიერკავკასიის ფუნდამენტს თანდათან ჩამოცილდა სამხრეთის პროვინციის ბლოკები, რომლებიც კავკასიის თანამედროვე სტრუქტურაში წარმოდგენილია ართვინ-ბოლნისისა და ლოქი-ყარაბახის ბლოკების სახით.

ამ თავის დასასრულს, გვსურს მოკლედ შევეხოთ აჭარა-თრიალეთის ოროგენული სარტყელის ფორმირების გეოდინამიკურ რეჟიმს. ვინაიდან ბოლო დროის შრომებში გამოჩნდა მოსაზრებები, რომელთა მიხედვითაც, ეს სარტყელი არა კუნძულთა რკალის ზურგსუკანა რიფტული სტრუქტურაა, არამედ პოსტ-კოლიზიური წარმონაქმნია (მაგ., Moritz et al., 2016; Rabayol et al., 2019). როგორც

ჩანს, ამ სტრუქტურის ფორმირების გეოდინამიკური რეჟიმის შესახებ ასეთი კითხვის გაჩენა განაპირობა იმ გარემოებამ, რომ, როცა ეს შრომები იწერებოდა მაშინ აჭარა-თრიალეთის მაგმატიზმის შესახებ იზოტოპური გეოქრონოლოგიური მონაცემები ფაქტობრივად არ არსებობდა.

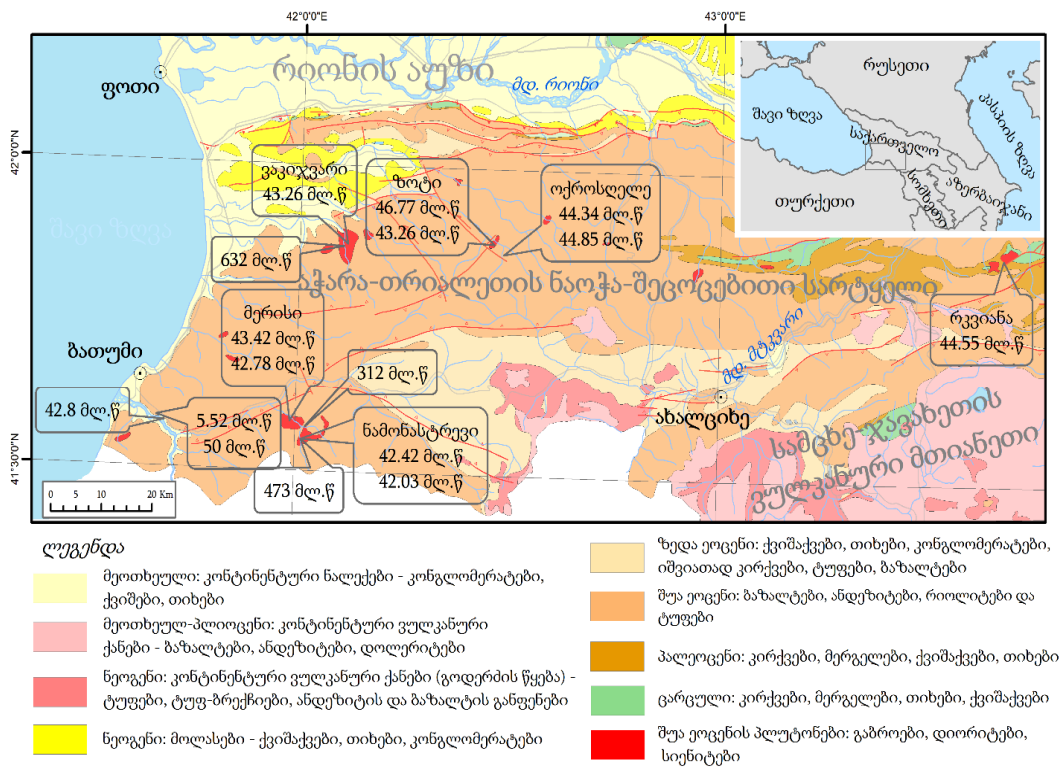
ცხრილი. 6. 11. აჭარა-თრიალეთის პლუტონებისა და მათი ჩანართების ცირკონების LA-ICP-MS U-Pb გეოქრონოლოგიის შემაჯამებელი ცხრილი

ნიმუში	პლუტონები	გრძ. (°N)	გან. (°E)	პეტროგრაფია	ასაკი (Ma) ¹	MSWD ²	n ³	ქანის ტიპი
12GE03	მერისი	41,5834	41,9661	მონცონიტი	43,4±0,6	1,6	20	პლუტონი
12GE04	მერისი	41,5835	41,9681	სიენიტი	42,8±0,7	1,6	22	პლუტონი
12GE05	ნამონასტრევი	41,5768	42,0193	მონცონიტი	42,4±0,5	1,6	22	პლუტონი
12GE06	ნამონასტრევი	41,5753	42,0213	სიენიტი	42,0±0,8	1,3	13	პლუტონი
12GE08	ნამონასტრევი	41,5695	42,0263	გრანოდიორიტი	474±5	3,6	24	ქსენოლითი
12GE09	ნამონასტრევი	41,5690	42,0263	გრანიტი	312±7	3,0	24	ქსენოლითი
12GE10	აჭარისწყლის ხეობა	41,5689	41,6722	ტრაქიტი	50,0±4,8	1,6	26	ტუფი
12GE11	აჭარისწყლის ხეობა	41,5700	41,8679	ბაზალტი	41,8±1,5	0,08	9	ნაკადი
					515±10	0,76	6	ქსენოლითი
12GE12	ვაკიჯვარი	41,8471	42,1252	ბაზალტი	632±29	3,7	9	ქსენოლითი
					747±33	5,1	8	
12GE13	ვაკიჯვარი	41,8533	42,1159	სიენიტი	43,3±0,7	1,9	22	პლუტონი
12GE14	ზოტი	41,8919	42,4663	სიენიტი	43,9±0,4	1,01	24	პლუტონი
12GE16	ზოტი	41,8919	42,4663	გაბრო	46,8±0,8	2,9	22	რესტიტი
12GE19	ოქროს დელე	41,8813	42,4624	მონცონიტი	44,3±0,6	2,1	22	პლუტონი
12GE21	ოქროს დელე	41,8834	42,4623	გაბრო	44,8±0,6	1,72	24	რესტიტი
19GE19	რკვიანა	41,8515	42,4829	გაბრო	44,5±0,3	1,62	20	პლუტონი

¹ ²⁰⁶Pb/²³⁸U საშუალო შეწონილი ასაკი

² საშუალო შეწონილი ასაკის კვადრატული გადახრა

³ ცირკონების მარცვლების რაოდენობა



ნახ. 6.36. აჭარა-თრიალეთის დასავლეთ და ცენტრალური ნაწილების გეოლოგიური რუკა. მოდიფიცირებულია საქართველოს 1:500000 მასშტაბის გეოლოგიური რუკის მიხედვით (Gudjabidze et al., 2003). მასზედ დატანილია პიროკლასტური მასალის, პლუტონებისა და მათი ქსენოლითების U-Pb ცირკონების გეოქრონოლოგიური კვლევის შედეგები.

ჩვენ მიერ ცირკონების U-Pb დათარიღებამ აჩვენა, რომ ამ სარტყელში მაგმური მოქმედება მიმდინარეობდა არა გვიანეოცენურში, როგორც მიჩნეული იყო ადრე, არამედ შუა ეოცენურში. ეს მონაცემები კი ფაქტობრივად გამორიცხავს აჭარა-თრიალეთის სტრუქტურის განხილვას, როგორც პოსკოლიზიურ წარმონაქმნს, ვინაიდან როგორც თანამედროვე მოდელური კვლევები აჩვენებს ზურგ-სუკანა აუზებში მაგმური აქტივობები, 10-15 მლნ წლით მოგვიანებით იწყება, კუნძულთა რკალურ მაგმატიზმთან შედარებით (მაგ., Magni, 2019). ამასთან, ზურგსუკანა აუზების სტრუქტურების ღერძები 10-დან 400-კმ-მდე მანძილებზე არის დაცილებული მათი კუნძულთა რკალების ღერძული ნაწილიდან (მაგ.,

Talor, Martinez, 2003). ამ პარამეტრების მიხედვით, აჭარა-თრიალეთის ზურგსუკანა აუზის ფორმირების დრო და გეომეტრია სრულ შესაბამისობაშია მცირე კავკასიონისა და აღმოსავლეთ პონტიდების კუნძულთა რკალების ამავე პარამეტრებთან. ვინაიდან, როგორც ცნობილია, ორივე მათგანში აქტიური მაგმური პროცესები მიმდინარეობდა გვიანცარცულსა და პალეოგენის დასაწყისში (მაგ., **Ylmaz et al., 1997; Yilmaz et al., 2000**), ხოლო მათი კუნძულთა რკალისა და ზურგსუკანა აუზის ღერძული ზონები, საშუალოდ 100-150 კმ მანძილით არის დაშორებული ერთმანეთისგან. ამასთან ერთად, აჭარა-თრიალეთის სტრუქტურაში ინტენსიური მაგმური აქტივობა მიმდინარეობდა დროის ძალიან მცირე მონაკვეთში, კერძოდ, 9-10 მლნ. წლის განმავლობაში, რაც ზურგსუკანა რიფტოგენული სტრუქტურების დამახასიათებელი ნიშანია (მაგ., **Talor, Martinez, 2003**).

გარდა ამისა, მრავალრიცხოვანი კვლევები აჩვენებს რომ, კავკასიის რეგიონში პოსტკოლიზიური მაგმატიზმის გააქტიურება დაიწყო 23-17 მილიონი წლის წინ (მაგ., **Гамкრелидзе И., 1989; Keskin et al., 2006; Keskin 2007; Lin et al., 2020**). გარდა ამისა, პოსტკოლიზიური მაგმატიზმი ხასიათდება ბიმოდალურობით და მასში მკვეთრადაა გამიჯნული მაფური ($SiO_2=48-52\%$) და ფელზური ($SiO_2=58-71\%$) კომპონენტები (მაგ., **Lin et al., 2020**). აჭარა-თრიალეთში სარტყელში კი, მიუხედავად იმისა, რომ აღინიშნება მაფური ინექციები, მთლიანობაში მაგმატიზმი არ იყო ბიმოდალური, ვინაიდან აქ გაბატონებულია შუალედური ქანები (ტრაქიტები, მონცონიტები და სიენიტები), რომლებშიც SiO_2 შემცველობა ძირითადად 58-63% ფარგლებში მერყეობს (**Okroscvaridze et al., 2021**).

6.4.2. აჭარა-თრიალეთის სარტყელის მადანგამოვლინებები

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ აჭარა-თრიალეთის სარტყელი ინტენსიური მადნაინი მინერალიზაციით ხასიათდება. როგორც მრავალრიცხოვანი კვლევები აჩვენებს (მაგ., **Заридзе, 1961; Гелеишвили и др., 1975; ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992; Okrostsvavidze, Bluashvili, 2014**). ყველა ეს მინერალიზაცია სივრცობრივად და გენეტურად დაკავშირებულია მონცონიტურ-სიენიტური პლუტონების მიერ შემცავი ქანების მაგმურ-ჰიდროთერმულ შეცვლებთან და ზოგიერთ უბანზე ეს შეცვლები ქმნის ოქრო-სპილენძ-პოლიმეტალურ-იშვიათ ლითონურ და რკინის მადანგამოვლინებებს.

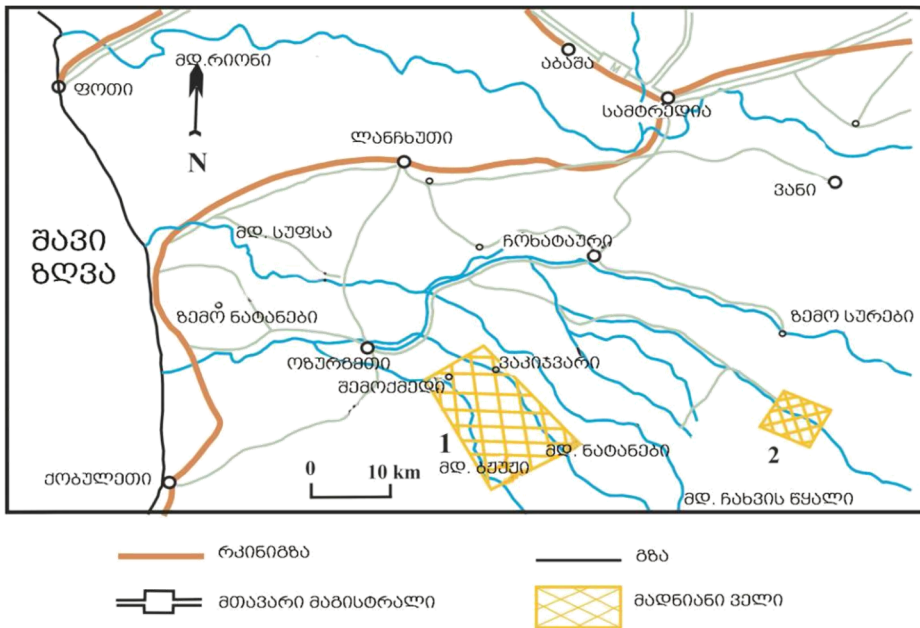
აჭარა-თრიალეთის თანამედროვე ეროზიულ დონეზე არაერთი მადანგამოვლინება შიშვლდება, რომლებიც შესაძლებელია გავაერთიანოთ 6 დიდ მადნიან ველად: მერისის, ვაკიჯვრის, ზოტის, ლაღვი-ზეკარის, ძამა-ლართისა და ხაჩკოვი-გუჯარეთის. ეს მადანგამოვლინებები სივრცობრივად ქმნის 180 კმ სიგრძის მეტალოგენურ ზონას, რომელიც მიუყვება ამ სარტყელის ღერძულ ნაწილს მთელ სიგრძეზე. აღსანიშნავია, რომ ეს ზონა, აჭარა-თრიალეთის სამხრეთ-დასავლეთის გაგრძელებაზე, აღმოსავლეთ პონტიდებში აღარ ფიქსირდება. ამ ორ სტრუქტურას მხოლოდ ის განასხვავებს, რომ აჭარა-თრიალეთში ინტენსიურადაა გამოვლენილი შუაეოცენური მონცო-სიენიტური პლუტონური მაგმატიზმი, მაშინ, როცა აღმოსავლეთ პონტიდებში ამ ტიპისა და ასაკის პლუტონური მაგმატიზმი, განსხვავებით ეფუზურისაგან, არ შივლდება (**Rabayrol et al., 2020; Okrostsvavidze et al., 2021**).

აჭარა-თრიალეთის სარტყელში ჩატარებული კვლევების შედეგად, ჩვენ თორიუმის მინერალიზაციას მივაკვლიეთ მხოლოდ ვაკიჯვრისა და მერისის მადნიან ველებში, ამიტომ ვიდრე უშუალოდ თორიუმის მინერალიზაციაზე ვისაუბრებთ, მოკლედ დავახასიათებთ ამ მადნიან ველებს.

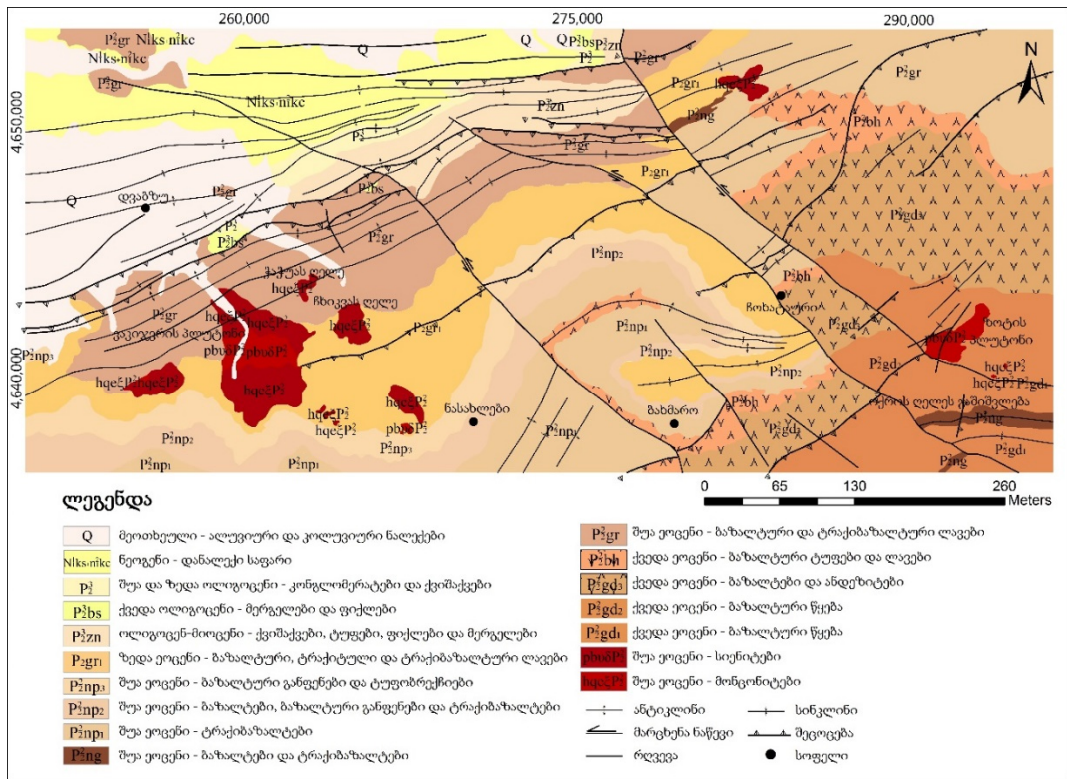
6.4.2.1. ვაკიჯვრის მადნიანი ველი

ვაკიჯვრის მადნიანი ველი მდებარეობს გურიის რეგიონში და ფორმირებულია ამავე სახელწოდების პლუტონის მაგმური კონტაქტების ჰიდროთერმული შეცვლების არეალებში (ნახ. 6. 37). ამ პლუტონს, რომელსაც აშიშვლებს მდინარეთა ღრმად ჩაჭრილი ხეობები, რამდენიმე გამოსავალი გააჩნია (ნახ. 6.38). მისი ყველაზე დიდი გამოსავალი აღინიშნება მდ. ბჟუჟას ხეობაში, რომელიც თანამედროვე ეროზიულ ზედაპირზე ~15 კმ² ფართობს მოიცავს. შედარებით მცირე სხეულები შიშვლდება ამ მდინარის შენაკადის ხეობებში (წისქვილის წყალი, აკაშა, კალოვა და სხვა). ამ პლუტონური კომპლექსის მცირე გამოშვლებები აღინიშნება მდინარე ნატანებისა და ბჟუჟას წყალგამყოფ ქედზე.

მდ. ნატანების ხეობაში ცნობილია ამ პლუტონის ორი გამოსავალი. ვაკიჯვრის (~3 კმ², სოფელ ვაკიჯვრის სამხრეთით) და ქორისბუდის (~1,5 კმ², მდ. ნატანების სათავეებში). გარდა ამისა, მცირე გამკვეთი სიენიტური სხეულები აღინიშნება აგრეთვე მდ. ნატანების შენაკადებშიც (სალორიას ღელე, ჭაჭუას ღელე, საქაჩიას ღელე და სხვ.).



ნახ. 6.37. ვაკიჯვრისა (1) და ზოტის (2) მადნიანი ველების სქემატური რუკა.



ნახ. 6.38. აჭარა-თრიალეთის სარტყელის გურიის სეგმენტის გეოლოგიური რუკა. მოდიფიცირებულია ჩხიკვიშვილისა და სხვთა (1992) რუკის მიხედვით.

ვაკიჯვრის პლუტონური კომპლექსის გამიშვლებები ერთმანეთისგან გამიჯნულია შუაეოცენური ვულკანოგენურ-დანალექი ქანებით (დათარიღებულია ფაუნისტურად), რომლებიც ლიტერატურაში აღწერილია როგორც „ჩრდილის“ წყება (მაგ., Lordkifanidze, 1980). უფრო კონკრეტულად პლუტონური ინექციები შემოჭრილია შუაეოცენური ასაკის ვულკანოგენურ-დანალექ ქანებში. ვინაიდან დანალექი ქანები ფაუნისტურად დათარიღებული იყო შუაეოცენურად, ამიტომ მათ გამკვეთ პლუტონებს ათარიღებდნენ ზედაეოცენურად (Lordkifanidze, 1980). თუმცა, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, თანამედროვე კვლევებმა აჩვენა რომ აჭარა-თრიალეთის პლუტონური მაგმატიზმი, ისევე როგორც ეფუზიური, შუაეოცენური ასაკისაა (Okrostsvavidze et al., 2018; 2021). ეს ფაქტები კი უფლებას გვაძლევს, რომ ზოგადად, აჭარა-თრიალეთის მაგმატიზმი ერთიან ეფუზიურ-პლუტონურ პროცესად განვიხილოთ.

ვაკიჯვრის პლუტონური კომპლექსი, ძირითადად, მონცონიტ-სიენიტური შედგენილობისაა, რომელშიც მკვეთრად გამოიჯნება პიროქსენ-ბიოტიტიანი და რქატყუარიანი სახესხვაობები. როგორც სავლელ დაკვირვება აჩვენებს, პიროქსენ-ბიოტიტიანი გაბრო-მონცონიტები ყველაზე ადრეული ინტრუზიული ფაზაა. ისინი ძირითადად აგებულია მინდვრის შპატებით, პიროქსენებით, ბიოტიტით და მაგნეტიტით. აქცესორული მინერალებიდან აღსანიშნავია აპატიტი, ცირკონი და სფენი. ამ პლუტონის უდიდესი ნაწილი აგებულია პიროქსენ-ბიოტიტიანი და ბიოტიტიანი სიენიტებით. ისინი უპირატესად მსხვილმარცვლოვანი ქანებია, რომლებიც აგებულია კალიშპატით, ოლიგოკლაზით, ბიოტიტით და პიროქსენით. მდ. ბჟუჟის ხეობაში დაიკვირვება გაბრო-მონცონიტების და რქატყუარა-ბიოტიტიანი სიენიტების აშკარა მაგმური კონტაქტი, სადაც გაბრო-მონცონიტები ინტენსიურ გარქაულებას განიცდის.

პლუტონური ინექციების კონტაქტები, შემცველ ტუფოგენურ ქანებთან, ყველგან აქტიურია და ხასიათდება ენდოკონტაქტური და პოსტმაგმური ინტენსიური ჰიდროთერმული შეცვლებით. სწორედ ასეთი შეცვლების არეალებშია ფორმირებული ვაკიჯვრის მადნიანი ველის მადანგამოვლინებები, რომელთაც მოკლედ ქვემოთ დავახასიათებთ.

ვაკიჯვრის მადნიანი ველი, რომელიც მოიცავს ~70კმ², აერთიანებს 12 მადანგამოვლინებას, რომლებიც სივრცობრივად და გენეტური ტიპების მიხედვით გაერთიანებულია რამდენიმე ჯგუფად კერძოდ: შემოქმედის (გონების-კარის, ჯახუას, გვერდას მადანგამოვლინებები), ფამფალეთის (ფამფალეთის, ციხისუბნის, ლაშილელეს მადანგამოვლინებები), ვაკიჯვრის (ჭაჭუას ღელეს, ჩხიკვას ღელეს, ნასახლების, ქორისბუდის მადანგამოვლინებები) და გომის (ცხინკულასა და ბჟუჟის მადანგამოვლინებები) (**ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992**).

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ყველა ეს მადანგამოვლინება გენეტურად დაკავშირებულია ვაკიჯვრის პლუტონის სხვადასხვა აპოფიზებთან და ლოკალიზებულია ჰიდროთერმული შეცვლის არეალებში. მადანგამოვლინებები წარმოდგენილია მოლიბდენ-ქალკოპირიტ-პირიტული, პირიტ-მოლიბდენ-

პოლიმეტალურ-ქალკოპირიტული, კვარც-სპილენძ-პოლიმეტალური, რკინის-მადნიან-პეგმატოიდური, გოგირდ-კოლჩედანური, სპილენძ-მოლიბდენ-პორფირული, პირიტული და ვერცხლისწყლიანი მადნიანი ასოციაციებით (ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992).

შემოქმედის ჯგუფიდან ყველაზე პერსპექტიულია გონებისკარის სპილენძ-მოლიბდენის მადანგამოვლინება, რომლის ჰიდროთერმული შეცვლის პროდუქტში ოქროს მაღალი კონცენტრაცია დაფიქსირდა. ეს მადანგამოვლინება მდებარეობს ს. გონებისკარის ჩრდილო-აღმოსავლეთით 1 კმ მანძილზე და ახლა მისი ტერიტორია მიტოვებული ჩაის პლანტაციებითაა დაფარული. აქ მჭავე წყლის მახლობლად, 1987 წელს გურიის გეოლოგიური-ძებნითი პარტიის მიერ სამშენებლო მასალების ძიების ბურღვის დროს სიღრმეში, 37-39 მეტრის ინტერვალში, დაფიქსირდა სპილენძის მასიური კოლჩედანური გამადნება. ამ მადნის ქიმიურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ იგი შეიცავს სპილენძს 17,3%-ს, ოქროს 0,44 გ/ტ-ს, ვერცხლს 7,5 გ/ტ-ს, მოლიბდენს 0,02 %-ს, დარიშხანს 5,2%-ს, ანთიმონიტს 1,4 %-ს, ბისმუტს 0,2%-ს (ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992).

ეს ზონა გადაფარულია 30-40 მეტრი სიმძლავრის ჰიდროთერმულად შეცვლილი, გაკვარცებული, სულფიდიზირებული, ლიმონტიზირებული და გათიხებული ტუფოგენური ქანებით, რომლებიც არ იყო გეოქიმიურად შესწავლილი. 2019 წელს ჩვენ განვახორციელეთ მისი გეოქიმიური კვლევა, რისთვისაც შევისწავლეთ 82 სინჯი (თითოეული 2-3 კგ წონის). ამ 82 სინჯიდან თორიუმის მაღალი კონცენტრაცია არცერთში არ დაფიქსირდა, ოქროს შემცველობა 7 სინჯში 1 გ/ტ-ზე მეტი იყო, ერთ სინჯში დაფიქსირდა 2,21 გ/ტ, ხოლო ერთში - 3,17 გ/ტ. აღსანიშნავია, რომ ეს ანალიტიკური სამუშაოები განხორციელდა კანადაში MSLAB-ში LA-ICP-MS დანადგარზე. როგორც ვხედავთ ეს მადანგამოვლინება საკმაოდ საინტერესოა და მისი შემდგომი კვლევა აუცილებლად მიგვაჩნია.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის მიხედვით, ფამფალეთის ჯგუფიდან ყველაზე პერსპექტიული ციხისუბნის მადანგამოვლინებაა, რომელიც მდებარეობს მდ. ბახვისწყლის ხეობაში. ეს მადანგამოვლინება, მძალვრი რღვევის გასწვრივ,

უშუალოდ ემიჯნება სამხრეთიდან ასკანის ბენტონიტური თიხების კარიერს. იგი წარმოადგენს გაკვარცებულ, სუსტად გამოჟანგულ, ინტენსიურად ბრექჩირებულ მასშტაბურ წარმონაქმნს. ბრექჩიების ნაპრალები ამოვსებულია ახალგაზრდა კვარცის ძარღვებით და სულფიდური მინერალებით, ძირითადად კი - პირიტით. ამ მინერალითაა გაჟღენთილი აგრეთვე გაკვარცებული ბრექჩიებიც. მისი შემცავი ქანები აგებულია შუაეოცნური გათიხებული, გაკვარცებული და პირიტოზებული ბიოტიტიანი ტრაქიტული ტუფებით. ამ ქანებში აღინიშნება გალენიტის, სფალერიტის, ქალკოპირიტისა და პირიტის მადნიანი ძარღვაკები და ბუდობები.

ჩვენ დავსინჯეთ ამ მადანგამოვლინების ბრექჩიული ნაწილი უშუალოდ კარიერის მიმდებარედ და აქ თორიუმის ანომალიას ვერ მივაკვლიეთ. თუმცა, 12 გაანალიზებული სინჯიდან, ორ მათგანში დაფიქსირდა ოქროს ამაღლებული კონცენტრაცია: ერთში - 1,41 გ/ტ, ხოლო მეორეში 0,76 გ/ტ.

თორიუმის შემცველობის თვალსაზრისით, გურიაში ყველაზე პერსპექტიული აღმოჩნდა ვაკიჯვრის რკინის ჯგუფის გამადნებები, ამიტომ მათ შედარებით დეტალურად დავახასიათებთ.

ვაკიჯვრის ჯგუფის გამადნებების ჯგუფში გაერთიანებულია მდ. ნატანების ხეობაში არსებული გამადნებები, რომლებიც სივრცობრივად და გენეტურად დაკავშირებულია ვაკიჯვრის პლუტონის აღმოსავლეთის აპოფიზებთან: ვაკიჯვრისა და ქორისბუდის. ეს მადანგამოვლინებები ფორმირებულია პლუტონის კონტაქტური შეცვლების ზონებში და წარმოდგენილია სპილენძ-მოლიბდენ-პორფირული, კვარც-სპილენძ-პოლიმეტალური და რკინის მადნიან პეგმატოიდური ასოციაციებით. თორიუმის მაღალი კონცენტრაციები რკინის გამადნებებთანაა დაკავშირებული, ამიტომ მათ მოკლედ დავახასიათებთ.

6.4.2.1.1. ჩხიკვას–ღელეს თორიუმის რკინის მადანგამოვლინება

ეს მადანგამოვლინება მდებარეობს სოფ. ვაკიჯვრის სამხრეთ–აღმოსავლეთიდან 3 კმ–ში, მდ. ნატანების მარცხენა ნაპირზე, ჩხიკვას–ღელეს ხეობაში. იგი შესწავლილია მრავალი გეოლოგის მიერ, თუმცა ბოლო კვლევა განახორციელა ჩხიკვიშვილმა და მისმა ჯგუფმა (ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992).

მადანგამოვლინება, რომლის სიმძლავრე 100 მ-ს აჭარბებს ფორმირებულია ვაკიჯვრის სიენიტური პლუტონის ჩრდილოეთის კონტაქტის ჰიდროთერმული შეცვლის ზონაში. ამ ზონაში პლუტონის, როგორც სიენიტები, ასევე მონციონიტებიც ჰიდროთერმულადაა შეცვლილი და შეიცავს მნიშვნელოვანი რაოდენობის მაგნეტიტს. აქ შემცავი ვულკანოგენური ქანები გარქაულებულია, გაკვარცებულია, სერიციტიზებულია და პირიტიზებულია. გამადნება წარმოდგენილია ძირითადად რკინის რკინის პეგმატებით, რომელთაც კონტაქტური ზონის 100 მეტრის ჭრილში დაახლოებით 60% უკავიათ. მათი მადნიანი მინერალები წარმოდგენილია: პირიტი, პიროტინით, ქალკოპირიტით, სფალერიტით, მაგნეტიტით, ჰემატიტით, ილმენიტით, მოლიბდენიტით და თვითნაბადი ოქროთი. არამადნიანი მინერალებია: ალბიტი, პიროქსენი, ბიოტიტი, რქატყუარა, აპატიტი, იშვიათად აღინიშნება კვარცი, ცირკონი და სფენი. მეორადი მინერალებია: სერიციტი, ეპიდოტი, ქლორიტი, მალაქიტი და ბორნიტი.

ჩხიკვას–ღელეს რკინის მადანგამოვლინების დეტალური კვლევა განახორციელა ზ. ჩხიკვიშვილმა და მისმა ჯგუფმა (1992). მათი დასკვნით, ამ გამადნების რკინის მადნიანი პეგმატიტები (ნახ. 6. 39), რომლებიც ძირითადად აგებულია მაგნეტიტით და ჰემატიტით, წარმოადგენს ველებს და არა მარღვებს. აღნიშნული კვლევის მიხედვით, ამ გამადნებაში Fe კონცენტრაცია 12-45%-ის ფარგლებში მერყეობს.

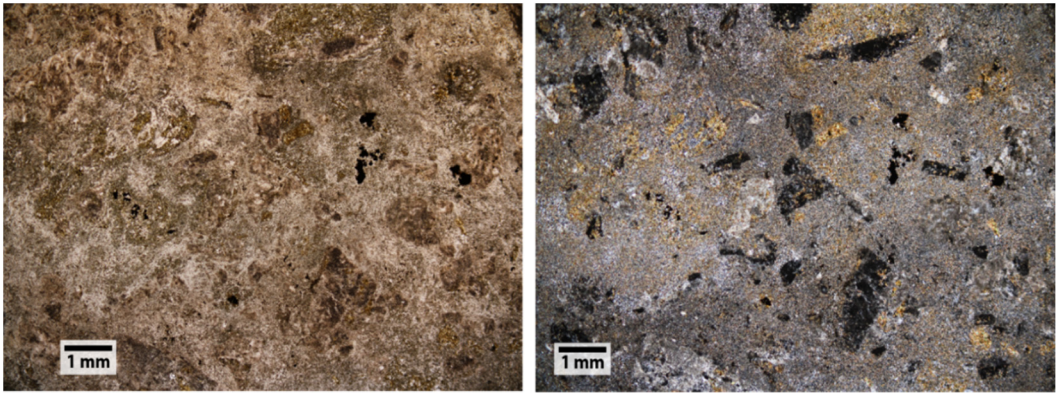
ჩხიკვას–ღელეში აღწერილია ჰიდროთერმული პირიტ–ქალკოპირიტ–მაგნეტიტიანი მარღვი, რომელიც ფორმირებულია სიენიტურ სხეულსა და პიროკლასტებს შორის. ამ მარღვში ურანის შემცველობა 6 გ/ტ-ს არ აჭარბებს, ხოლო თორიუმის კონცენტრაცია 400 გ/ტ-ს აღწევს (ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992).



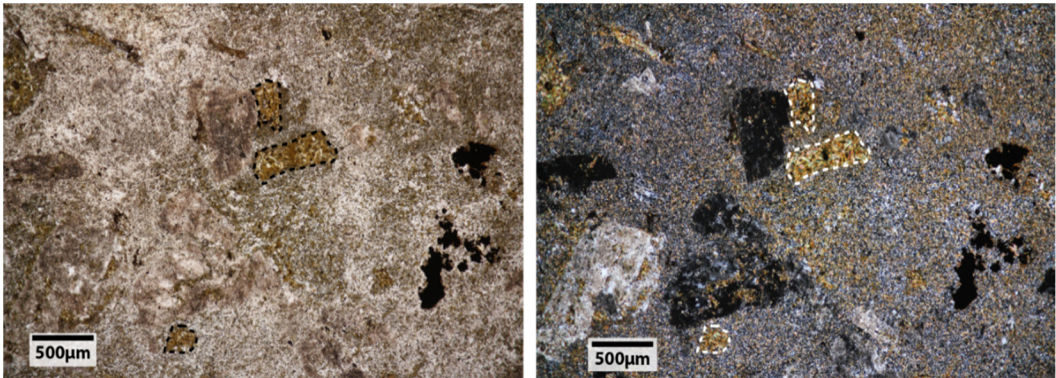
ნახ. 6.39. მაგნეტიტიანი პეგმატიტის ფრაგმენტი ჩხიკვას-ლელეს რკინის მადანგამოვლინიდან, რომელიც ინტენსიურ კარბონატიზაციას განიცდის.

ჩვენ დეტალურად შევისწავლეთ ჩხიკვას-ლელეს რკინის მადანგამოვლინება მთელი გაშიშვლების გასწვრივ. ეს გაშიშვლება დაახლოებით 200 მეტრზე გაიდევნება და შემდეგ გაუვალი ტყით იფარება. აქ რადიაციული ფონი სუსტადაა მომატებული და პარამეტრი $\mu\text{Sv/h}$ 0,4-0,5 ინტერვალში მერყეობს. აღმავალ ჭრილში რკინის შემცველობა იზრდება, შესაბამისად სუსტად იზრდება რადიაციული ფონიც, თუმცა პარამეტრი $\mu\text{Sv/h}$ 0,5-0,6-ს არ სცილდება.

ჩვენ ამ გაშიშვლებიდან ავიღეთ 15 სინჯი, რომლებიც შევისწავლეთ, როგორც პეტროგრაფიულად ასევე გეოქიმიურად. ჭრილის დასაწყისში ეს ქანები პეტროგრაფიულად წარმოადგენს კალიუმისანი ჰიდროთერმებით ინტენსიურად შეცვლილ სიენიტებს. მათში დიდი რაოდენობით აღინიშნება მადნიანი მინერალი მაგნეტიტი, რომლის რაოდენობა თითქმის 12% აღწევს (ნახ. 6. 40). აღმავალ ჭრილში პეტროგრაფია დაახლოებით ანალოგიურია, თუმცა აღინიშნება უფრო ინტენსიური გაკვარცხება და მადნიანი მინერალების მატება (ნახ. 6. 41).



ნახ. 6.40. კალიუმიანი ჰიდროთერმებით შეცვლილი სიენიტი. შეცვლილია მაგმური მინდვრის შპატები და მადნიანი მინერალი მაგნეტიტი. მარცხნივ: ერთ პოლარიზებულ სინათლეში. მარჯვნივ: ჯვარედინა პოლარიზებულ სინათლეში. ვაკიჯვრის პლუტონის ჩრდილოეთის კონტაქტური ზონა, ჩხიკვას-ღელე (ნიმ. 19Th52).



ნახ. 6.41. კალიუმიანი ჰიდროთერმებით შეცვლილი კვარციანი მონცონიტი: გადარჩენილია მაგმური რქატყუარა (წყვეტილი ხაზებითაა მონიშნული), ჰიდროთერმულად დაქუცმაცებული ბიოტიტი და მინდვრის შპატები. პლაგიოკლაზი განიცდის გაკვარცხას. გაუმჭვირვალე - მადნიანი მინერალები. მარცხნივ: ერთ პოლარიზებულ სინათლეში. მარჯვნივ: ჯვარედინა პოლარიზებულ სინათლეში. ვაკიჯვრის პლუტონის ჩხიკვას-ღელეს კონტაქტური ზონა (ნიმ. 19Th57).

ჩხიკვას-ღელეს ქრილიდან აღებული თხუთმეტივე სინჯის პუდრა მოვამზადეთ კავკასიის სამთო ჯგუფის ლაბორატორიაში. მათი გეოქიმიური ანალიზი ჩატარდა 48 ელემენტზე კანადაში, გეოქიმიურ ანალიტიკურ ლაბორატორიაში (MSALABS) LA-ICP-MS დანადგარზე, ICP-ES მეთოდით (ცხრ. 6.12).

ცხრილი 6.12. ჩიკვას-დელეს რკინის გამადნობის ქიმიური ანალიზის შედეგები. Fe და Ti ანალიზები მოცემულია %-ში, ხოლო სხვა ელემენტების - გ/ტ-ში

ნომ.№	19Th1	19Th2	19Th3	19Th50	19Th51	19Th52	19Th53	19Th55	19Th57
Cr	43	59	162	98	158	89	98	123	145
Cu	223	110	379	246	317	475	165	117	232
Ga	17,23	12,56	19,7	21,4	11,32	24,5	16,9	26,7	18,4
Hf	1,32	0,65	2,12	0,78	1,76	2,34	1,83	0,23	0,93
La	37,5	75,6	55,2	96,4	62,6	87,9	79,6	47,8	82,4
Li	12,4	9,4	7,4	21,7	10,5	11,6	17,7	13,6	18,6
Sc	4,8	6,0	4,9	-	5,6	8,0	4,9	5,5	6,9
Se	109	134	45	176	128	79	129	179	157
Sn	2,8	1,9	1,6	0,43	1,7	1,9	1,6	1,9	1,65
Sr	473,8	523,1	288,1	387,5	253,6	254	243	295,9	397
Ta	0,89	0,74	0,59	1,34	1,55	0,54	0,59	1,30	0,98
Te	0,60	0,17	0,12	0,76	0,86	0,23	0,18	0,47	0,68
Th	42,3	112,8	146,5	234,5	194	289	216,5	44,7	59,9
Ti%	0,35	0,46	0,25	0,78	0,47	0,32	0,31	0,44	0,87
Tl	0,83	0,95	0,85	0,73	0,88	0,65	0,64	0,70	0,88
U	4,71	1,27	2,27	3,54	4,45	3,83	2,61	3,05	4,81
V	204	389	269	407	279	554	289	394	679
W	2,9	2,12	1,6	2,6	1,8	2,3	2,7	2,1	3,9
Y	18,9	27,0	24,0	27,5	22,1	37,5	26,0	32,7	49,8
Zn	230	374	457	105	79	571	432	377	585
Zr	66,4	23,3	21,3	76	38,5	23,9	281,3	32,1	38,7
Mo	17,5	23,6	11,7	5,8	45,6	23,2	11,8	23,4	19,5
Ce	32,3	67,4	87,5	103,4	87,6	77,5	84,3	34,9	112,5
P	745	1060	1153	1355	982	945	1006	423	1213
Fe%	12,3	27,7	30,8	29,6	14,2	32,7	13,6	15,8	18,4

ამ 15 სინჯიდან 7 მათგანში აღმოჩნდა თორიუმის მაღალი კონცენტრაცია, რომელიც მერყეობს 42,3 გ/ტ-დან 289 გ/ტ-ის ფარგლებში. რაც შეეხება ურანს, მისი შემცველობა არაა გაზრდილი და მაქსიმალური შემცველობა 4,81 გ/ტ-ს აღწევს. მცირედითაა გაზრდილი La შემცველობა, რომლის კონცენტრაცია 87,9 გ/ტ-ს აღწევს. მომატებულია აგრეთვე V კონცენტრაცია, რომელიც მერყეობს 204-679 გ/ტ-ის ფარგლებში. რაც შეეხება რკინას, ამ ქანებში, მისი კონცენტრაცია მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი და ამ ანალიზების მიხედვით მერყეობს 12,3%-დან 32,7%-ის ფარგლებში.

6.4.2.1.2. ჭაჭუას-ღელეს თორიუმის რკინის მადანგამოვლინება

ეს მადანგამოვლინება შიშვლდება სოფელ ვაკიჯვრის სამხრეთით ~2 კმ-ზე, მდ. ნატანების მარცხენა მხარეს, ჭაჭუას-ღელეს სათავეებში. იგი ფორმირებულია ვაკიჯვრის პლუტონის ბიოტიტის სიენიტებისა და შუაეოცენურ ტრაქიტულ ვულკანიტებს შორის არსებულ ზონაში, რომელიც ~300 მეტრ მანძილზე შიშვლდება. ამ ზონაში, როგორც პლუტონები, ასევე შემცავი ვულკანიტები ინტენსიურ ჰიდროთერმულ გარდაქმნას განიცდის და შეიცავს დიდი რაოდენობით მაგნეტიტს. ეს ჭრილი მნიშვნელოვან იდენტობას ავლენს ჩხიკვას-ღელეს ჭრილთან, რის გამოც, მიუხედავად იმისა, რომ აქ ადრე თორიუმი არ იყო დაფიქსირებული, ჩავატარეთ მისი დეტალური გეოქიმიური კვლევა.

მადანგამოვლინება წარმოდგენილია ორი გამადნებული, თითქმის პარალელური სხეულით, რომელთა ჯამური სიმძლავრე 8 მეტრს აღწევს. ჭაჭუას-ღელეს სათავეების მიმართულებით სხეულების სიმძლავრე რელიეფში კლებულობს და ~200 მ-ის შემდეგ იგი ზედაპირზე აღარ ჩანს. შემცავი ვულკანიტები განიცდის ბრეჭირებას და მადნიანი სხეულები წარმოდგენილია ძარღვაკების სახით. ისე, როგორც ჩხიკვას-ღელეს შემთხვევაში, აქაც რადიაციული ფონი სუსტადაა გაზრდილი და პარამეტრი $\mu\text{Sv/h}$ 0,4-0,55 ინტერვალში მერყეობს.

პეტროგრაფიული კვლევის მიხედვით, ამ ჭრილის ჰიდროთერმული პროცესები და ქანთა ასოციაციები დიდად არ განსხვავდება ჩხიკვას-ღელეს ჭრილისგან. აქაც მადნიანი მინერალები ძირითადად წარმოდგენილია მაგნეტიტით, ჰემატიტით, პირიტით, ქალკოპირიტით, ილმენიტით და მოლიბდენიტით.

ჩვენ ჭაჭუას-ღელეს ჭრილიდან ავიღეთ 22 სინჯი, რომლებიც შევისწავლეთ, როგორც პეტროგრაფიულად, ასევე გეოქიმიურად. ოცდაორივე სინჯის პუდრა გეოქიმიური ანალიზისთვის მოვამზადეთ კავკასიის სამთო ჯგუფის ლაბორატორიაში. მათი გეოქიმიური ანალიზი ჩატარდა 48 ელემენტზე კანადაში, ქიმიურ ანალიტიკურ ლაბორატორიაში (MSALABS) LA-ICP-MS დანადგარზე, ICP-ES მეთოდით (ცხრ. 6. 13).

ცხრილი 6.13. ჭაჭუას-ღელეს რკინის გამადნობის ქიმიური ანალიზის შედეგები. Fe და Ti ანალიზები მოცემულია %-ში, ხოლო სხვა ელემენტების - გ/ტ-ში

ნომ.№	19Ch1	19Ch2	19Ch3	19Ch7	19Ch8	19Ch10	19Ch12	19Ch15	19Ch17
Cr	89	98	192	112	158	109	88	113	155
Cu	323	157	499	286	298	485	195	167	298
Ga	19,23	10,96	18,4	22,4	17,32	29,4	15,9	29,6	15,6
Hf	1,82	0,95	1,12	0,98	1,96	2,34	1,91	0,45	0,69
La	55,8	43,6	65,2	67,4	37,6	77,9	79,6	47,7	66,4
Li	22,4	11,8	16,4	28,7	14,5	27,6	28,9	14,2	17,6
Sc	7,8	6,8	5,9	6,7	9,9	11,4	7,9	4,5	9,6
Se	105	134	45	176	128	79	129	179	157
Sn	4,8	1,9	1,6	0,43	1,7	1,9	1,6	1,9	1,65
Sr	363,8	523,1	288,1	387,5	253,6	384,1	387,1	295,9	397,9
Ta	0,69	0,74	0,59	1,34	1,55	0,54	0,59	1,30	0,98
Te	0,58	0,17	0,12	0,76	0,86	0,23	0,18	0,47	0,68
Th	52,7	128,8	176,5	124,5	198,6	218,6	116,5	54,7	255
Ti%	0,67	1,46	0,95	1,78	0,89	0,82	1,34	0,94	0,77
Tl	0,73	0,95	0,85	0,73	0,88	0,65	0,64	0,72	0,88
U	3,71	1,27	2,27	3,54	4,76	3,29	2,87	3,26	3,81
V	389	332	369	427	309	454	287	367	476
W	1,5	1,12	2,6	2,9	2,8	2,7	2,2	2,7	4,9
Y	18,9	25,0	29,0	25,5	23,5	35,5	24,0	35,7	45,4
Zn	258	387	357	125	179	471	452	399	543
Zr	30,4	28,3	21,3	45	39,5	23,9	91,3	42,1	38,7
Mo	17,5	13,6	11,7	15,8	45,6	20,2	15,8	28,4	20,5
Ce	45,3	87,5	100,6	86,7	92,4	112,4	79,9	36,8	78,5
P	890	1132	1289	1034	1008	1347	847	643	1203
Fe%	16,3	15,7	20,9	18,5	22,7	31,7	26,5	24,6	34,9

ზონის ჰიდროთერმულად შეცვლილი ქანების ქიმიურმა ანალიზმა აჩვენა რომ მასში სასარგებლო კომპონენტები გვხვდება კლარკულის ფარგლებში, თუმცა ერთეულ სინჯებში აღინიშნება იშვიათი და გაბნეული ელემენტების ამაღლებული კონცენტრაციები. შეცვლილ ქანებში რკინა არათანაბარადაა განაწილებული და მისი კონცენტრაცია მერყეობს 2.75 - დან 6.5%-ის ფარგლებში. მადნიან ძარღვებში რკინის შემცველობა საკმაოდ მაღალია და მისი შემცველობა

16,3%-დან 34,9%-ის ფარგლებში მერყეობს. ამ ქანებში საგრძნობლადაა გაზრდილი თორიუმის შემცველობა და გაანალიზებული 22 ნიმუშიდან 7 მათგანში მისი კონცენტრაცია მაღალია და მერყეობს 52,7 გ/ტ-დან 255 გ/ტ-ის ფარგლებში. რაც შეეხება ურანს - ჭაჭუას-ღელეს მადნებში მისი კონცენტრაცია არ არის გაზრდილი და მერყეობს 1,27-3,54 გ/ტ-ის ფარგლებში.

ამრიგად, როგორც ვხედავთ ჭაჭუას-ღელეს მადანგამოვლინება, როგორც პეტროგრაფიული თვალსაზრისით, ასევე გეოქიმიურად და რადიაციული ფონის მიხედვით, მნიშვნელოვან ანალოგიას ავლენს ჩხიკვას-ღელეს რკინის მადანგამოვლინებასთან. ამ მადანგამოვლინებაში, ისე როგორც ჩხიკვას-ღელეს მადანგამოვლინების შემთხვევაში, გაზრდილია რკინისა და თორიუმის კონცენტრაცია, ხოლო ურანის შემცველობა ნორმულის ფარგლებშია.

ამ მადანგამოვლინებაში, ისე როგორც ჩხიკვას-ღელეს მადანგამოვლინებაში განსაკუთრებულ ყურდღებას იქცევს თორიუმის შემცველობები. ჩხიკვას-ღელეს მადანგამოვლინების გაანალიზებულ 7 სინჯში, თორიუმის შემცველობა მერყეობს 42,3 გ/ტ-დან 289 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო ჭაჭუას-ღელეს გაანალიზებულ 10 სინჯში ამ ელემენტის კონცენტრაცია მერყეობს 52,7 გ/ტ-დან 255 გ/ტ-ის ფარგლებში. გარდა აღნიშნულისა, ეს ორი მადანგამოვლინება სრულიდენტურობას ავლენს სხვა იშვიათი მეტალების შემცველობების მიხედვითაც, მათ შორის La, Y, Ta, Te, V, W, U, Ce და სხვ. ამ მადანგამოვლინებების გეოლოგიური, გეოქიმიური და რადიაციული იდენტიფიკაცია კი იმის უფლება გვაძლევს დავუშვათ, რომ მათ ერთი და იგივე მაგმურ-ჰიდროთერმული წყარო გააჩნდათ, რომელშიც თორიუმის ამაღლებული კონცენტრაცია იყო. თუ ეს ასეა, მაშინ ვაკიჯვრის მადნიანი ველის სხვა რკინის მადანგამოვლინებებშიც უნდა ვეძიოთ ამ ელემენტით გამდიდრებული უბნები.

რაც შეეხება საკითხს თუ რომელი მინერალითაა წარმოდგენილი თორიუმი ჩხიკვას-ღელესა და ჭაჭუას-ღელეს მადანგამოვლინებებში, როგორც ამ მადანგამოვლინებების ქიმიურმა ანალიზმა გვიჩვენა (ცხრ. 6.12 და ცხრ. 6.13), მათში საგრძნობლადაა გაზრდილი Ce, La და P შემცველობები. ეს მოცემულობა კი,

დიდი ალბათობით, იმას გვიჩვენებს, რომ თორიუმი ამ მადანგამოვლინებებში წარმოდგენილი უნდა იყოს მონაციტით [(Ce,La,Th)PO₄]. ვინაიდან, როგორც ცნობილია, ეს მინერალი, ხშირად, უწვრილესი კრისტალების სახით, ჩართულია მაგნეტიტის კრისტალებში (მაგ., Van Gosen et al., 2009).

6.4.2.1.3. ნასახლების თორიუმიანი მადანგამოვლინება

ეს მადანგამოვლინება შიშვლდება მდ. ნასახლების (მდ. ნატანების მარჯვენა შენაკადი) სათავეში, სოფ. ვაკიჯვრის სამხრეთ-აღმოსავლეთით ~8 კმ. მანძილზე. გამადნება დაკავშირებულია ვაკიჯვრის სიენიტურ პლუტონში მოქცეულ, ჰიდროთერმულად შეცვლილ, შუაეოცენურ ტრაქიტულ ვულკანიტებთან (ჩხიკვი-შვილი და სხვ., 1992). ამ გამადნებაში დაფიქსირდა აჭარა-თრიალეთის სარტყელში თორიუმის ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია, რის გამოც, გადავწყვიტეთ მისი გეოქიმიური შესწავლა. თუმცა, აქ ყველა შტოლნა ჩამონგრეული დაგვხვდა, ხოლო თხრილები უკვე აღარ ჩანს. ეს ტერიტორია უკვე დაფარულია გაუვალი ეკალებარდებით, რის გამოც, ამ მადანგამოვლინებიდან ნიმუშების აღება ვერ შევძელით.

ნიმუშები ავიღეთ მდ. ნასახლების სათავეში, გამადნების შემცველი, ვაკიჯვრის პლუტონის მცირე გაშიშვლებიდან და მიმდებარე ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონიდან. აქ პლუტონი წარმოდგენილია მსხვილმარცვლოვანი, ვარდისფერი სიენიტებით, რომლებიც ძირითადად აგებულია ანორთოკლაზ-პერტიტით, ანდეზინ-ოლიგოკლაზის რიგის პლაგიოკლაზით, ავგიტით და ბიოტიტით. მეორადი მინერალებია: სერიციტი, ეპიდოტი, ქლორიტი; აქცესორებია: მაგნეტიტი, ჰემატიტი, აპატიტი და სფენი. შეცვლილ კონტაქტურ ზონას გააჩნია პორფირული სტრუქტურა და ძირითადად აგებულია კალიშპატით, ოლიგოკლაზ-ანდეზინის რიგის პლაგიოკლაზებით, ბიოტიტით, ჰიდროთერმული გენერაციის კვარცით და მაგნეტიტით. ჩვენ გეოქიმიურად დავსინჯეთ როგორც

პლუტონი, ასევე ჰიდროთერმულად შეცვლილი ზონა, თუმცა არცერთ მათგანში თორიუმის ამაღლებული კონცენტრაცია არ დაფიქსირდა.

შექმნილი რეალობის გამო, ნასახლების მადანგამოვლინების შესახებ ინფორმაცია მხოლოდ ზ. ჩხიკვიშვილისა და სხვ. (1992) ანგარიშის მიხედვით გაგვაჩნია. ამ ანგარიშის მიხედვით ნასახლების მადანგამოვლინებაში გამოიყოფა ორი მინერალიზებული ზონა: ნასახლები I და ნასახლები II.

მინერალიზებული ზონა ნასახლები I სივრცობრივად დაკავშირებულია 40 მ სიმძლავრის ჰიდროთერმულად ძლიერ შეცვლილი სიენიტებისა და ვულკანოგენური ქანების ზონასთან. ეს ზონა ძირითადად გამდიდრებულია ქალკოპირიტით და მოლიბდენიტით და აქ რადიაქტიური ანომალიის ინტენსივობა შეადგენს 245–255 მკრ/სთ-ს. გაყვანილი თხრილების ღარული სინჯების ანალიზმა, რომელიც ჩატარდა „კალცოვგეოლოგიის“ ლაბორატორიაში (ქალაქი ესენტუკი), აჩვენა, რომ აქ ურანის კონცენტრაცია ნორმულის ფარგლებშია, თუმცა მომატებულია თორიუმის შემცველობა, რომელიც 1600 გ/ტ-ს აღწევს. იმ პერიოდისთვის ეს ანომალია შეფასდა უარყოფითად, ვინაიდან მაშინ თორიუმზე კომერციული მოთხოვნილება არ არსებობდა. აღსანიშნავია, რომ აღნიშნულ ლაბორატორიაში ამ ზონაში, გარდა თორიუმისა, დადგინდა ოქროს შემცველობა 10 გ/ტ-მდე, სპილენძი - 1,5%-მდე და თუთია - 2% - მდე.

მინერალიზებული ზონა ნასახლები II მდებარეობს ნასახლები I ზონიდან 300 მ ჩრდილო-აღმოსავლეთით, მდ ნასახლების სათავეებში. იგი წარმოადგენს 0.7 მ სიმძლავრის მოლიბდენით მდიდარ კვარცის ძარღვს, რომელიც ფორმირებულია კონტაქტური შეცვლის ზონაში. ამ ძარღვშიც გაზრდილია რადიაქტიური ანომალია, რომელიც მერყეობს 180–220 მკრ/სთ-ის ინტერვალში. აღებული სინჯები განისაზღვრა იგივე ლაბორატორიაში და შედეგები ასეთია: ურანი – 4 გ/ტ, თორიუმი - 200 გ/ტ და მოლიბდენი - 200 გ/ტ.

როგორც ვხედავთ, ზ. ჩხიკვიშვილისა და სხვ. (1992) მონაცემების მიხედვით, ნასახლების მადანგამოვლინების ორივე ზონაში თორიუმის კონცენტრაცია

საგრძნობლადაა მომატებული და მისი კონცენტრაცია ცალკეულ სინჯებში სამრეწველო შემცველობასაც კი აღწევს.

ამრიგად, ვაკიჯვრის მადნიან ველში ჩატარებული გეოლოგიური სამუშაოების ანალიზის შედეგად, აშკარაა, რომ აქ ყველა მადანგამოვლინება სივრცობრივად და გენეტურად დაკავშირებულია მონცო-სიენიტური შედგენილობის ვაკიჯვრის პლუტონის თერმულ კონტაქტურ არეალებთან. ეს არეალები წარმოდგენილია ჰიდროთერმულად ინტენსიურად შეცვლილი და მინერალიზებული ქანებით, სადაც რამდენიმე ტიპის მადნიანი ასოციაცია ჩამოყალიბდა.

ამ მადნიანი ველის რესურსების პროგნოზი ჩაატარეს ზ. ჩხიკვიშვილმა და მისმა კოლეგებმა (1992). მათი მონაცემებით, აქ P₃ კატეგორიის პროგნოზული რესურსებით ოქრო 136 ტონას შეადგენს, ვერცხლი – 430 ტონას, სპილენძი – 2322 ათას ტონას, ტყვია – 750 ათას ტონას, თუთია – 1135 ათას ტონას, მოლიბდენი – 20 ათას ტონას, კობალტი – 5 ათას ტონას, ბისმუტი – 25 ათას ტონას, ხოლო რკინის P₂ კატეგორიის მარაგი შეადგენს 11,8 მილიონ ტონას, ხოლო P₂+P₁ – შეადგენს 13,2 მილიონ ტონას.

ჩვენ აღნიშნული პროგნოზული მარაგების კომენტარებისგან თავს შევიკავებთ, მაგრამ ვაკიჯვრის მადნიანი ველი, რომ რკინის უზარმაზარ რესურსს შეიცავს, ამაზე გურიის შავი ზღვის სანაპიროზე და წვერმაღალას მეოთხეული ტერასის ნალექებში მაგნეტიტისა და ჰემატიტის დიდი კონცენტრაციებიც მეტყველებს. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ვაკიჯვრის მადნიანი ველის რკინის გამადნებები გარკვეული რაოდენობით თორიუმსაც შეიცავს, მაშინ უნდა ვიფიქროთ, რომ მასში ამ ელემენტის მნიშვნელოვანი რესურსებია კონცენტრირებული. ეს მონაცემები კი, ვაკიჯვრის მადნიან ველში თორიუმის მინერალიზაციის შემდგომი კვლევის მიზანშეწონილობის მნიშვნელოვანი არგუმენტია.

6.4.2.1.4. შავი ზღვის გურიის სანაპიროს მაგნეტიტიანი ქვიშები

მდ. ნატანები და მისი შენაკადები ინტენსიურად რეცხავს ვაკიჯვრის მადნიან ველს, მათ შორის, რკინის შემცველ პეგმატიტებს. ეროდირებული მასალა გამოიტანება მდ. ნატანების მიერ და ეფინება გურიის შავი ზღვის სანაპიროზე აღნიშნული მდინარის შესართავიდან მდ. სუფსის შესართავამდე, 14 კმ მანძილზე, სადაც მაგნეტიტის შემცველობა ქვიშებში 10-22%-ის ფარგლებში მერყეობს. შესაბამისად, ურეკისა და შეკვეთილის პლაჟებზე არსებული მაგნეტიტიანი ქვიშები ვაკიჯვრის მადნიანი ველიდანაა ტრანსპორტირებული.

მაგნეტიტიანი ქვიშები, ამ პლაჟებზე რამდენიმე მეტრის სისქის ნალექებს ქმნის (ნახ. 6. 42), რომელთა სამკურნალო თვისებები საყოველთაოდ არის ცნობილი. შესაძლებელია ამ თვისებებს მათში სწორედ თორიუმის მცირე კონცენტრაცია და მისი სუსტი რადიაციული ველი განაპირობებს. ვინაიდან, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მაგნეტიტები ზოგჯერ უმცირესი ზომის, თორიუმის შემცველ მინერალ მონაციტს შეიცავს, რომლის ქიმიზმის დადგენა მხოლოდ ლაზერული წერტილოვანი ანალიზის გზითაა შესაძლებელი.

აღსანიშნავია, რომ მაგნეტიტიანი ქვიშების 5-30 სმ სისქის შუაშრეები აღინიშნება გურიის სანაპიროს ჩაუდური ტერასის ნალექებშიც (ნახ. 6. 43), რაც იმის უტყუარი არგუმენტია, რომ ჩაუდურ დროშიც (~300000 წლის წინ), როცა ეს ტერასა წარმოადგენდა შავი ზღვის სანაპიროს, ვაკიჯვრის მადნიანი ველი უკვე გაშიშვლებული იყო და მისი გადარეცხვა მიმდინარეობდა.

შავი ზღვის გურიის მაგნეტიტიტიანი ქვიშები, როგორც თანამედროვე პლაჟიდან, ასევე ჩაუდის ტერასიდან შესწავლილ იქნა თორიუმის კონცენტრაცია (გოგოლაძე, 2017). ამ ქვიშებიდან აღებული 20 სინჯი მოიფქვა კავკასიის ალ. თვალჭრელიძის მინერალური ნედლეულის ინსტიტუტში, ხოლო ქიმიური ანალიზი ჩატარდა კანადაში MS ანალიტიკურ (MS Analitical) ლაბორატორიაში, მულტიელემენტური IMS-230 მეთოდით. თითოეულ სინჯში თორიუმთან ერთად განისაზღვრა 33 ქიმიური ელემენტი, მათ შორის, იშვიათი მიწა ელემენტებიც.



ნახ. 6.42. შავი ზღვის შეკვეთილის პლაჟის მაგნეტიტის კვანძების გამოშვლება.



ნახ. 6.43. შავი ზღვის ჩაუდური ტერასის გამოშვლება სოფელ წვერმადალას გზაზე. მუქი ფერის - მაგნეტიტით გამდიდრებული ქვიშის შუაშრები.

ჩატარებული კვლევის მიხედვით, ამ ქვიშებში თორიუმის კონცენტრაციები მიახლოებულია მისი ქერქული გავრცელების ნორმულ მაჩვენებელთან და მერყეობს 8,1-12,8 გ/ტ-ის ფარგლებში. ურანის შემცველობაც ნორმულის ფარგლებშია და მერყეობს 0,5-5,2 გ/ტ-ის ფარგლებში. რკინის შემცველობა ამაღლებულია და 4-9%-ის ფარგლებში მერყეობს. მცირედითაა მომატებული იშვიათი ელემენტების Zr, Sc და Y კონცენტრაციები.

ამრიგად, ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ შესწავლილი ქვიშები თორიუმს ნორმულის ფარგლებში შეიცავს, თუმცა, მათი წყაროს გათვალისწინებით, მათში თორიუმის კონცენტრაცია უფრო მაღალი უნდა იყოს. ვფიქრობთ, ამ ქანების დასინჯვის ჯაჭვში ხარვეზი იქნა დაშვებული, თუნდაც ის, რომ საანალიზო პუდრა არ იყო კონდიციური ICP-MS ანალიზისათვის. ამიტომ, ვფიქრობთ საჭიროა მათი ხელახალი გეოქიმიური დასინჯვა, აღნიშნული შედეგების გადამოწმების მიზნით.

6.4.2.2. მერისის მადნიანი ველი

ეს მადნიანი ველი შიშვლდება მდ. მერისის სათავეებში და მოიცავს დაახლოებით 175 კმ² ტერიტორიას. იგი ფორმირებულია შუაეოცენური ნამონასტრევისა და მერისის პლუტონების კონტაქტურ არეალებში, ჰიდროთერმულად შეცვლილ, ტრაქიტულ პიროკლასტებში და ანდეზიტურ განფენებში. ნამონასტრალის პლუტონში (~8 კმ²) ჭარბობს წვრილმარცვლოვანი, ჰიპიდომორფული ბიოტიტის კვარციანი მონცონიტები, ხოლო მერისის პლუტონში (~10 კმ²) - წვრილმარცვლოვანი, ჰიპიდომორფული რქატყუარიან-კვარციანი მონცონიტები.

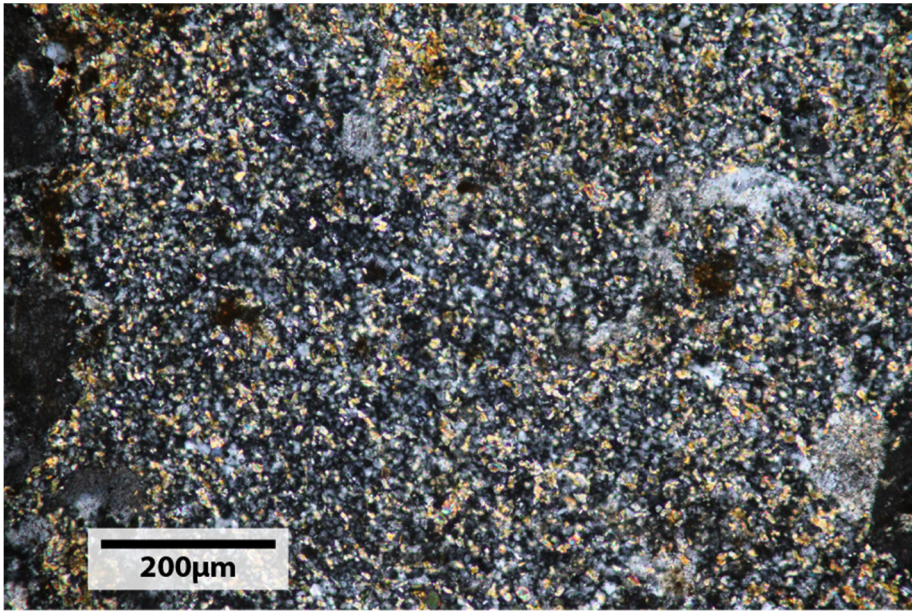
6.4.2.2.1. მერისის თორიუმის მადანგამოვლინება

მერისის მადნიან ველში ჰიდროთერმულად შეცვლილ ქანებში დეტალურად შევისწავლეთ რადიაციული ფონი, რომელიც თითქმის ყველგან ნორმულის ფარგლებშია. მაღალი რადიაციული ფონი მხოლოდ მერისის ჩანჩქერიდან სოფელ ნამონასტრევისკენ მიმავალ გზაზე გაშიშვლებულ ჰიდროთერმულად შეცვლილ ქანებში აღინიშნა. აქ რადიაციული დოზა გაზრდილია თითქმის 300 მეტრი სიგრძის გაშიშვლებაში, სადაც $\mu\text{Sv/h}$ პარამეტრი სცილდება 0,5-ს და ზოგ მონაკვეთზე 0.7- მდე იზრდება.

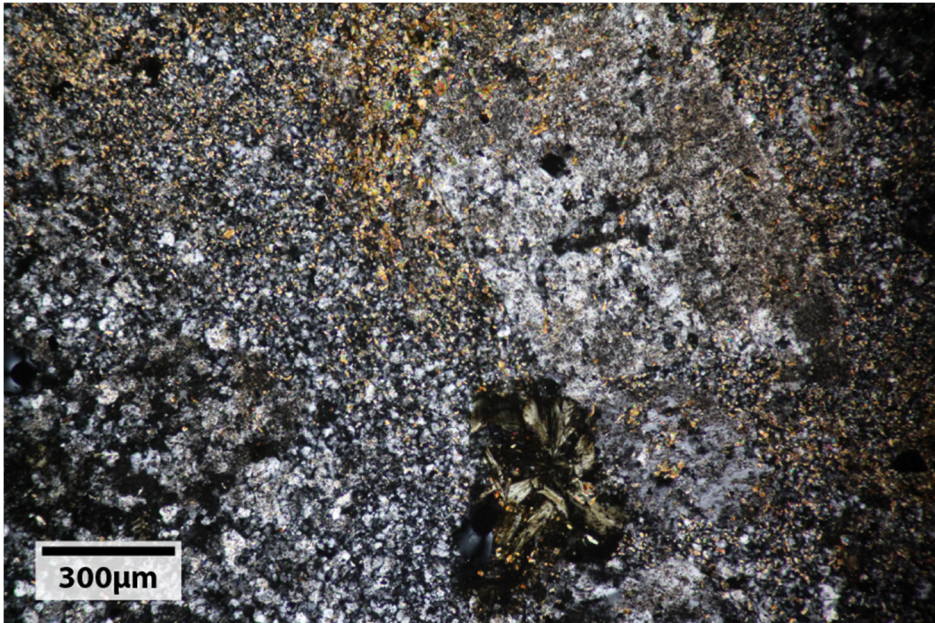
ეს გაშიშვლება წარმოადგენს ჰომოგენურ წვრილმარცვლოვან მუქ-ნაც-რისფერ მასას, რომელიც თანდათანობით ანაცვლებს პლუტონის შეუცვლელ ქანებს და შემდეგ გადადის პიროკლასტურ ქანებში, რომლებიც ასევე შეცვლილია ჰიდროთერმულად. მაღალი რადიაციული ფონი აღინიშნება მხოლოდ პლუტონის შეცვლილ ზონაში, ხოლო პიროკლასტურ მასაში პარამეტრი $\mu\text{Sv/h}$ 0,4-ს არ სცილდება. ჩვენ ამ გაშიშვლებიდან ავიღეთ 17 ნიმუში, რომლებიც შევისწავლეთ, როგორც პეტროგრაფიულად, ასევე გეოქიმიურად.

მიკროსკოპულად ეს ქანები წამოადგენს წვრილმარცვლოვან, ძირითადად კვარც-ბიოტიტიან წარმონაქმნებს, რომლებიც ზოგიერთ უბანზე ქლორიტიზაციას განიცდის. ამ ქანებში მადნიანი მინერალები წარმოდგენილია ქსენომორფული, უმცირესი ზომის მარცვლების სახით, რომელთა შემცველობა 5-4%-ს არ სცილდება (ნახ. 6. 44; ნახ. 6. 45). მცირე ზომებისა და ქსენომორფული ფორმების გამო, პოლარიზებულ მიკროსკოპში მათი იდენტიფიკაცია შეუძლებელია. მომავალში მიკროზონდური წერტილოვანი ანალიზის მეშვეობით, ალბათ მოგვეცემა საშუალება ამ მინერალთა იდენტიფიკაციისა.

მერისის ჩანჩქერის მიმდებარე ჭრილიდან აღებული ჩვიდმეტივე სინჯის პუდრა მოვამზადეთ კავკასიის სამთო ჯგუფის ლაბორატორიაში. მათი 48 ქიმიური ელემენტის შემცველობა, კანადაში, MS ანალიტიკურ ლაბორატორიაში განისაზღვრა (MSALABS) LA-ICP-MS დანადგარზე, ICP-ES მეთოდით.



ნახ. 6.44. ნამონასტრევის პლუტონის კვარციანი მონცონიტი მასიურ კვარც-ბიოტიტიან ჰიდროთერმულ შეცვლას განიცდის და გარდაქმნილია წვრილმარცვლოვან მასად. მუქი ფერის - მადნიანი მინერალები (ჯვარედინა პოლარიზებულ სინათლეში). მერისის ჩანჩქერის მიმდებარე გამიშვლება, ნიმ. 20Ad1.



ნახ. 6.45. ნამონასტრევის პლუტონის კვარციანი მონცონიტი მასიურ კვარც-ბიოტიტიან ჰიდროთერმულ ქანადაა გარდაქმნილი. ამასთან ერთად, ბიოტიტი განიცდის ქლორიტიზაციას. მუქი ფერის - მადნიანი მინერალებია. (ჯვარედინა პოლარიზებულ სინათლეში). მერისის ჩანჩქერის მიმდებარე გამიშვლება, ნიმ. 20Ad7.

მერისის ჩანჩქერის მიმდებარე ტერიტორიიდან გაანალიზებულ 17 სინჯიდან 9-ში აღმოჩნდა თორიუმისა და ურანის ამაღლებული შემცველობები (ცხრ. 6.14). ამ ნიმუშებში თორიუმის კონცენტრაცია მერყეობს 52,3 გ/ტ-დან 147,7 გ/ტ-ის, ხოლო ურანის 6,2 გ/ტ-დან 17,5 გ/ტ-ის ფარგლებში. გარდა აღნიშნულისა, ამ ქანებში გაზრდილია აგრეთვე La (53-75 გ/ტ) და Y (19,9-59,8 გ/ტ) შემცველობებიც.

ცხრილი 6.14. მერისის თორიუმის მადანგამოვლინების ქიმიური ანალიზის შედეგები. რკინის შემცველობა მოცემულია პროცენტებში, ხოლო სხვა ელემენტების გ/ტ-ში

ნომ.№	20Ad1	20Ad2	20Ad4	20Ad5	20Ad6	20Ad7	20Ad9	20Ad15	20Ad17
Ce	108,4	167,7	168,5	111,4	118,7	127,7	151,9	136,8	125,7
Pb	121,2	125,0	113,0	113,6	133,2	207,4	207,8	113,6	157,9
Rb	97,6	44,1	32,1	61,6	95,8	79,4	34,1	61,6	107,1
Re	0,003	<0,002	<0,002	<0,002	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
S	0,52	0,01	0,01	0,01	0,52	0,043	0,06	0,01	0,08
Sb	1,2	2,8	1,6	1,3	1,5	4,6	3,5	1,3	4,9
Sc	4,8	6,0	4,9	5,5	5,6	8,0	4,9	5,5	6,9
Nb	44,1	48,7	43,5	40,6	56,4	39,7	53,8	48,7	37,9
Sn	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	2,9	2,6	1,4	2,7
Sr	173,8	323,1	248,1	265,9	153,6	344,1	287,1	265,9	327,9
Ta	2,89	3,74	2,54	2,30	2,55	5,54	4,59	2,30	5,98
Te	0,60	<0,05	<0,05	<0,05	0,76	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Th	147,3	116,8	56,5	94,7	139,7	107,8	52,3	94,7	158,8
Ti	0,38	0,47	0,35	0,34	0,42	0,47	0,35	0,34	0,97
Tl	0,73	0,15	0,15	0,29	0,68	0,15	0,15	0,29	0,78
U	13,6	12,2	9,2	13,0	17,7	13,8	6,2	13,0	14,8
V	55	76	69	74	79	84	99	74	69
W	1,9	2,2	1,7	2,1	1,8	3,3	1,7	2,1	5,9
Y	19,9	29,0	25,0	30,7	21,1	32,5	29,0	30,7	59,8
Zn	70	64	52	74	79	69,8	32	74	89
Zr	266,4	523,3	401,3	432,1	178,5	423,9	481,3	432,1	678,7
La	53	65	58	57	62	75	54	55	61
Hf	5	9	8	7	6	9	11	6	9
Ga	18,8	17,9	16,8	18,9	20,9	16,7	21,6	19,6	19,6
Fe%	2,35	2,75	2,66	2,79	2,36	3,04	3,14	2,39	2,82

ამ მონაცემების მიხედვით განხილული ზონა, საინტერესო წარმონაქმნია თორიუმისა და ურანის მინერალიზაციის თვალსაზრისით. აშკარაა, რომ იგი გენეტურად დაკავშირებულია ნამონასტრალის პლუტონის ჰიდროთერმულ პროცესებთან. როგორც ჩანს, აქ ნარჩენი მდნარი იმავე მიზეზით გამდიდრდა თორიუმითა და ურანით, როგორც შხარის მინერალიზაციის შემთხვევაში. კერძოდ, ვინაიდან ამ ელემენტებს გააჩნია დიდი იონური რადიუსი და მაღალი ვალენტობა, ისინი სილიკატური მდნარების კრისტალიზაციის დროს ძნელად შედიან მინერალების სტრუქტურაში და ნარჩენ მაგმაში რჩებიან. შესაბამისად, გვიანდელი ჰიდროთერმული ფლუიდები გამდიდრებულია ამ ელემენტებით (მაგ., **Kukkonen and Lauri 2009; Chen et al., 2019**). ვინაიდან ეს ჰიდროთერმები სილიკატური შედგენილობისაა (იხ. ნახ. 44 და ნახ. 45), ვფიქრობთ, რომ ამ ქანებში Th და U, დიდი ალბათობით, წარმოდგენილი უნდა იყოს მინერალი ურანოთორიტით $[(Th,U)SiO_4]$ (მაგ., **Cuney and Kyser, 2017**).

6.5. წყალტუბოს რადონიანი წყლის გენეზისი

6.5.1. წყალტუბოს რაიონის მოკლე გეოლოგიური დახასიათება

მსოფლიო მნიშვნელობის ბალნეოლოგიური კურორტი წყალტუბო მდებარეობს 80-120 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან, მცირე დეპრესიაში, რომელიც E-W-N მხრიდან შემოფარგლულია 600-800 მ. სიმაღლის სამგურალის ქედით. ქედი ძირითადად აგებულია ქვედა ცარცული ასაკის, ინტენსიურად დაკარსტული კირქვებით. ამ დეპრესიაში, მდ. წყალტუბოს წყლის კალაპოტში, გამოდის რადონის შემცველი თბილი წყაროები, რომლებიც მის ირგვლივ არსებული კარსტული მთების გრუნტის წყაროებით იკვებება. სამგურალის კარსტული ქედი იკვებება შუაეოცენური გაბროული დაიკებით, რომელთა ნაწილიც უშუალოდ წყალტუბოს დეპრესიაში გამოდის და დიდი ალბათობით რადონის შემცველი წყლები ზედაპირზე ამ დაიკების მიერ შექმნილ ბარიერს მოუყვება (Напваладзе, Гоциридзе, 1978). მიჩნეულია, რომ ეს თბილი წყაროები ჰიდროთერმული გენერაციისაა (მაგ., Буачიძე, 1987).

წყალტუბოს რაიონის ტერიტორიაზე შიშვლდება როგორც ინტრუზიული, ასევე ვულკანოგენურ-დანალექი და დანალექი ქანები, დაწყებული ქვედა იურულიდან დამთავრებული მეოთხეულით, თუმცა, უდიდესი ნაწილი წარმოდგენილია ცარცული ასაკის კირქვებით. რაიონში აგრეთვე ფართოდაა განვითარებული თანამედროვე ალუვიური და დელუვიური წარმონაქმნები.

კურორტ წყალტუბოს ტერიტორიის ამგები ქანებიდან უძველესს წარმოადგენს ქვედა ცარცული ასაკის ბარემული კირქვები. ისინი შიშვლდებიან წყალტუბო-ცხუნკურის საავტომობილო გზაზე, მდ. წყალტუბოსწყლის სათავესთან და მის მარცხენა კარნიზებზე. ეს ქანები ლითოლოგიურად წარმოდგენილია მასიური, სქელშრებრივი, მკვრივი ნაცრისფერი და მოვარდისფრო-ნაცრისფერი კირქვებით, რომლებშიც აღინიშნება კაჟის ჩანართები. ორგანული ნარჩენი წარმოდგენილია ფორამინიფერების ორსადგულიანი ნიჟრებით. ეს ქანები თანხმობით ადევს ალბურ ნალექებს და ვიზუალურად მათი განცალკევება რთულია. აღმავალ ჭრილში ეს ქანები ასევე თანხმობით გადადის

ტურონულ ნალექებში, რომლებიც ნაცვლდება სენომანური წარმონაქმნებით. უკანასკნელნი ძირითადად წარმოდგენილია გლაუკონიტის ტუფებით და ტუფოქვიშაქვებით, აგრეთვე გრაუვაკური ქვიშაქვებით.

სენომანზე თანხმობითაა განლაგებული ე. წ. მთავრის წყების ტურონული ასაკის ორგანოგენული კირქვები, ტუფობრექჩიები, ტუფოქვიშაქვები, ბაზალტური განფენები და მათი გამკვეთი პორფირიტული და დიაბაზური დაიკები.

მეოთხეული ნალექები საკვლევ ტერიტორიაზე ფართოდაა გავრცელებული, მაგრამ მათი ყველაზე მნიშვნელოვანი გამიშვლებები ფიქსირდება მდ. წყალტუბოსწყლის, წყაროსწყლების, თავუკულმა ღელეს და სხვა ღელეების ხეობებში (Огили, 1931; Джавахишвили и др., 1939). მდ. წყალტუბოსწყლის აუზში მეოთხეული ნალექები წარმოდგენილია ღია-ყავისფერი, მსუბუქი თიხებითა და ქვიშებით, რომლებიც გავრცელებულია მდინარის მთელ აუზში, თუმცა მის ცენტრალურ ნაწილში თიხებს მთლიანად ანაცვლებს ქვიშები. ამ ნალექების სიმძლავრე ცენტრალურ ნაწილში ~8 მ-დეა, ხოლო პერიფერიებისკენ მცირდება 1 მ-მდე. წყალტუბოს წყლის ძველი კალაპოტი გადიოდა ამ თიხებში, თუმცა იგი ამჟამად ხელოვნურად ამოვსებულია წყალგაუმტარი ე. წ. ცხიმოვანი თიხებით, რადონიანი წყლის მომყვანი გზების ჩაკეტვისა და მისი მარაგების გაზრდის მიზნით. ამ ძველი კალაპოტის ირგვლივ გაყვანილია ორი ხელოვნური არხი მდინარის წყლის დინებისათვის.

რადონიანი თერმული წყლების მომყვანი ჭაბურღილები განლაგებულია მდინარის ძველი კალაპოტის გასწვრივ NE-SW მიმართულებით 850 მ-ის მანძილზე. მოქმედი ჭაბურღილების სიღრმეები არ აღემატება 94,5 მეტრს, საიდანაც თერმული წყალი თვითდინებით მოედინება (შპს „გამა“-ს ანგარიში, 2015). ჩატარებული ბურღვითი სამუშაოების დროს წყალტუბოს მინერალური წყლის გამოსავლების უბნებში ალუვიური ნალექების ქვემოთ, კირქვები გაკვეთილია ბაზალტური დაიკებით, რომელთა რაოდენობას 8-მდე ითვლიან (Джавახишвили и др., 1939).

რაც შეეხება წყალტუბოს სამკურნალო წყლის რესურსებს, მიჩნეულია, რომ

ატმოსფერული ნალექები, რომელიც საკმაოდ ინტენსიურია რეგიონში, ხვდება რა ასხის მასივისა და სამგურალის ქედის კირქვების ღრმა ჰორიზონტებში, ისინი ცხელდება. ეს ჰიდროთერმული წყლის მასები, რეგიონის გეოლოგიური აგებულების გამო, გადაადგილდება სამხრეთით, კურორტ წყალტუბოს მიმართულებით. ნავარაუდევია, რომ სწორედ ზემოთ აღნიშნული ბაზალტური დაიკები წარმოადგენს იმ ბარიერს, რომლის გასწვრივაც წყალი ამოედინება ზედაპირზე. ამ წყლის რადონით გამდიდრება კი მიმდინარეობს მეოთხეულ ალუვიურ ნალექებში (მაგ., **Агили, 1931; Джавахишвили и др., 1939; Буачидзе, 1987; შპს „გამა“-ს ანგარიში, 2015**).

6.5.2. ძეძილეთის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინება

რადონის ნორმულზე მაღალი შემცველობები როგორც წყალში, ასევე ჰაერშიც, იმაზე მეტყველებს, რომ ამ რეგიონის ქანებში არსებობს ურანის ან თორიუმის ან ორივესი ერთად ანომალიურად მაღალი კონცენტრაციები. სწორედ ამიტომ შევისწავლეთ ძეძილეთის ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინები, რომლებიც აღწერილია წყალტუბოს ჩრდილოეთით არსებულ სამგურალის ქედზე (**Нацваладзе, Гоциридзе, 1978**). გეოლოგიურად ეს ტერიტორია წარმოადგენს ოკრიბის აზევების ჩრდილო-დასავლეთ დაძირვის ზონას, რომელიც გაიდევნება მდინარე ცხენისწყალსა და სემს შორის და რომელიც ძირითადად აგებულია ქვედა ცარცული წარმონაქმნებით. იგი მოიცავს დაახლოებით 10 კმ² ფართობს, რომელსაც კვეთს წყალტუბო-ცაგერის საავტომობილო გზა. ურანისა და თორიუმის მინერალიზაცია ფორმირებულია კარბონატული ნალექებისა და მცირე ზომების ჰიპაბისური ტუტე დაიკების (სპილიტები და ლამპროფირიტები) კონტაქტური არეალების ჰიდროთერმულად შეცვლილ ზონაში (**Нацваладзе, Гоциридзе, 1978**).

ამ ავტორების მიხედვით, რადიაქტიურ ზონას გააჩნია 1-5 მ სიმძლავრე და სეგმენტურად გაიდევნება 1,2 კმ მანძილზე. ამ ზონაში რადიაციული ფონი მერყეობს 40-220 მკრ/სთ ინტერვალში, ურანის კონცენტრაცია 30 გ/ტ-დან 200 გ/ტ-

ის ფარგლებშია, ხოლო თორიუმის კი - 60-150 გ/ტ-ის ინტერვალში. სინჯების ქიმიური ანალიზი ჩატარდა საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ქიმიურ ლაბორატორიაში, სპექტრული მეთოდით. ავტორების აზრით, ეს მინერალიზაცია გენეტურად დაკავშირებულია ჰიდროთერმულ პროცესებთან, რომელიც გამოწვია დაახლოებით 40 მ სიმძლავრის ფუძე-ტუტე დაიკების შემოჭრამ.

აღსანიშნავია, რომ ამ ზონაში ჩვენ ჩავატარეთ სავსე სამუშაოები და ვერცერთ ჭრილში მაღალ რადიაციულ ფონს ვერ მივაკვლიეთ, ამასთან ერთად, ზონიდან აღებულ არცთუ სინჯში არ დაფიქსირდა არც ურანის და არც თორიუმის ამალღებული კონცენტრაციები. მომავალში გადამოწმების მიზნით, ვგეგმათ კვლავ ჩავატაროთ სავსე სამუშაოები ამ რეგიონში, ვინაიდან სწორედ ამ მადანგამოვლინებას უკავშირებს ბევრი მკვლევარი წყალტუბოს რადონის შემცველი წყლის გენეზისს.

ამ ანგარიშის დასკვნაში ერთი მნიშვნელოვანი ინფორმაციაც არის მოცემული, რომელიც ეხება რეგიონის ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციას, კერძოდ, წყალტუბოს რადიაციულ ანომალიას, რომელიც „კაპტაჟმინვოდის“ მე-5 ჭაბურღილში დააფიქსირა ესენტუკის კალცოვოს ექსპედიციამ. ამ მონაცემების მიხედვით, ჭაბურღილმა გაკვეთა ცარცული ნალექები და შევიდა ბაიოსის პორფირიტულ წყებაში. ამ წყებაში 700-დან 800 მეტრამდე ინტერვალში დაფიქსირდა რადიაციული ანომალია 120 მკრ/სთ-ში, რაც ურანის ან თორიუმის საკმაოდ მაღალ კონცენტრაციაზე მეტყველებს. ეს ინფორმაცია ვფიქრობთ ძალიან მნიშვნელოვანია წყალტუბოს რადონიანი წყლის გენეზისის ასახსნელად, რაზედაც ქვემოთ ვისაუბრებთ.

6.5.3. წყალტუბოს რადონიანი წყლის დახასიათება

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რადონიანი წყლის არსებობა უტყუარი მტკიცებულებაა რეგიონში ურანის ან თორიუმის ან ორივეს ერთად მინერალიზაციის

არსებობის. ამასთან ერთად, წყალტუბოს ჩრდილოეთით არსებულ სამგურალის ქედზე აღწერილია ურანისა და თორიუმის ე. წ. ძეპილეთის მადნიანი მინერალიზაცია (**Нацваладзе, Гоцириძე, 1978**). ამ ორი ფაქტორის გათვალისწინებით, შვეისწავლეთ წყალტუბოს რეგიონის გეოლოგიური აგებულება და სავლე სამუშაოებიც ჩავატარეთ ანომალიური რადიაციული არეალების გამოვლენის მიზნით, მათ შორის ძეპილეთის ზონაში. ზედაპირული რადიაციული კვლევის შედეგად ვერსად მივაკვლიეთ მაღალი რადიაციის მქონე არეალებს, თუმცა რაიონის შესახებ არსებული გეოლოგიური ინფორმაციის ანალიზის შედეგად, ჩამოგვიყალიბდა ჩვენი შეხედულება წყალტუბოს რადონის შემცველი თერმული წყლის გენეზის შესახებ. ამიტომ გადავწყვიტეთ ამ ნაშრომში ზოგადად განგვხილა ეს საკითხი. აღსანიშნავია, რომ ამ თემაზე თეზისები გამოვაქვეყნეთ გოლდშმიდტის საერთაშორისო გეოქიმიურ კონფერენციაზე (**Okrostsvaridze et al, 2020**).

წყალტუბოს სამკურნალო წყაროები დედამიწის ზედაპირზე საკმაოდ ინტენსიურად ამოედინება, რომელთა 24 საათიანი საერთო დებიტი დაახლოებით 13-15 მლნ. ლიტრს შეადგენს. ამ წყალს გააჩნია სუსტი მინერალიზაცია 0.5-0,6 გ/ლ, ტემპერატურა +30 - +35⁰C ფარგლებშია, ხოლო რადონის შემცველობა 27±9 - 86±28 ბკ/ლ ინტერვალში მერყეობს. ქიმიურად იგი ასე განისაზღვრება: სუსტად რადონიანი, აზოტიანი, ქლორიდულ-სულფატურ-ჰიდროკარბონატული, ნატრიუმ-მაგნიუმ-კალციუმიანი მინერალიზებული წყალი, სუსტი ტუტე რეაქციით (pH-7,1-7,6) (**შპს გამას ანგარიში, 2015**). მისი ძირითადი სამკურნალო კომპონენტი კეთილშობილი აირი რადონია, რომლის სუსტი რადიაცია დადებითად მოქმედებს ბევრ დაავადებაზე, ხოლო წყლის მაღალი ტემპერატურა მისი შეთბობის გარეშე, გამოყენების საშუალებას იძლევა. დისკუსიურია სწორედ ეს ორი კომპონენტი: რადონის წყარო და წყლის მაღალი ტემპერატურა. ვიდრე ამ საკითხებს განვიხილავდეთ, მოკლედ გავეცნოთ რადონის თვისებებს.

6.5.4. რადონის ზოგადი დახასიათება

რადონი კეთილშობილი აირია, ატომური ნომრით 86 და Rn სიმბოლოთი. ოთახის პირობებში იგი უფერო, სიცოცხლისათვის საშიში რადიაქტიური ნივთიერებაა, რომელსაც რამდენიმე იზოტოპი გააჩნია, თუმცა ყველაზე გავრცელებულია ^{222}Rn , რომლის ნახევარდაშლის პერიოდი 3,8 დღე-ღამეა. მისი ჩასუნთქვა აზიანებს ბრონქიალურ სისტემას და მსოფლიოში ფიტვების კიბოს ~10% სწორედ ამ აირის ზემოქმედებითაა გამოწვეული (Otton, 2012).

პირველად რადონი დააფიქსირა ცნობილმა ინგლისელმა ფიზიკოსმა ჰენრი რეზერფორდმა 1899 წელს, როცა იგი იკვლევდა თორიუმის თვისებებს და მან მას „თორიუმის ემანაცია“ უწოდა. ის წარმოადგენს ^{238}U , ^{235}U და ^{232}Th ნახევარდაშლის ჯაჭვის ერთ-ერთ პროდუქტს. ეს ელემენტები ჯერ გარდაიქმნება რადიუმად, ხოლო შემდეგ რადიუმი იშლება და გამოყოფს რადიაქტიურ აირს, რომელსაც რადონი უწოდეს. თავად რადიუმს პერიოდულ სისტემაში გააჩნია 88 ნომერი, ატომური მასით 226. იმისა გამო, რომ ამ იზოტოპის ნახევარდაშლის პერიოდი ძალიან მცირეა და შეადგენს მხოლოდ 1602 წელიწადს, ამიტომ იგი ძალიან მცირე რაოდენობითაა გარემოში. აღმოჩენიდან დღემდე (~100 წელი) რადიუმის მხოლოდ ~2.4 კილოგრამია მოპოვებული. საინტერესოა, რომ დედამიწის ქერქში ყოველ სამ მილიონ ატომზე მოდის მხოლოდ რადიუმის ერთი ატომი (Haynes, 2011).

რადონი, ისევე როგორც ჰელიუმი, მუდმივად წარმოიქმნება ^{238}U , ^{235}U და ^{232}Th რადიაქტიური დაშლის შედეგად, თუმცა განსხვავებით ჰელიუმისგან, რადონი რადიაქტიური აირია. მისი მობილურობისა და ქიმიური ინერტულობის გამო იგი ადვილად ტოვებს პირველად სტრუქტურას და იხსნება როგორც წყალში, ასევე სხვა აირებში. პირველადი სტრუქტურიდან გამოთავისუფლებული აირი, ტექტონიკური რღვევების, ნაპრალებისა და მიკროზხარების მეშვეობით მიგრაციას განიცდის მაღალი წნევის არეალებიდან დაბალი წნევის არეალებისაკენ და შესაბამისად ხვდება როგორც გრუნტში, ასევე ნიადაგსა და ჰაერში (Otton, 2012).

რადონს გააჩნია ოთხი ბუნებრივი იზოტოპი, ყველაზე ფართოდ გავრცელებულია ^{222}Rn , რომელიც ხანგრძლივად არსებობს, თუმცა მისი ნახევარდაშლის პერიოდიც საკმაოდ მცირეა და მხოლოდ 3,8 დღეს შეადგენს. ალფა დაშლის გზით, ეს იზოტოპი გარდაიქმნება ჯერ ^{214}Po (3 წუთში), შემდეგ ^{210}Bi (19,7 წუთში) და ბოლოს ^{206}Pb (27 წუთში) სტაბილურ იზოტოპად. აღსანიშნავია, რომ ამ პროცესში მეორად პროდუქტად გამოიყოფა ჰელიუმის აირი (^4He). ჩვენი კვლევის შემთხვევაში ყველაზე საყურადღებო ისაა, რომ რადონი (^{222}Rn) ტყვიის სტაბილურ იზოტოპად (^{206}Pb) გარდაქმნის პროცესში მნიშვნელოვანი რაოდენობის სითბურ ენერგიას გამოჰყოფს, რომელიც შეესაბამება 5,5903 eV-ს (**The NIST Reference, 2019**) [განმარტება: ელექტრო ვოლტი (eV) ენერგიის საზომი ერთეულია ატომურ ფიზიკაში].

6.5.5. დისკუსია და დასკვნა

ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა რომ ის გეოლოგიური არგუმენტები, რომლითაც ახსნილია წყალტუბოს რადონის შემცველი თერმული წყლის ფორმირების პირობები ბევრ კითხვას აჩენს. სწორედ ამ საკითხზე ვიმსჯელებთ ამ დისკუსიაში, ხოლო ვიდრე მას დავიწყებდეთ კიდევ ერთხელ გავიხსენოთ წყალტუბოსწყლის მახასიათებლები: წყალტუბოს სამკურნალო მინერალური წყალი შეიცავს კეთილშობილ აირ რადონს, აზოტს და ჰელიუმს და მიეკუთვნება სუსტად რადონიან წყლებს (1-2,7 ნკი/ლ; ან 3-75 ერთ. მახე; ან 40-100 ბკ). მისი საერთო მინერალიზაცია არის 0,5-0,7 გ/ლ, ხოლო ბუნებრივი ტემპერატურა $+30-35^{\circ}\text{C}$ ფარგლებში მერყეობს. რადონით ამ წყლის გამდიდრება ხდება მეოთხეულ ალუვიურ ნალექებში, ხოლო წყაროების დღე-ღამური დებიტი შეადგენს 13-15 მლნ. ლიტრს. ეს წყალი გამოირჩევა სტაბილური ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლებით, რაც დასტურდება უკანასკნელი 80 წლიანი მონიტორინგით“ (**შპს „გამას“ ანგარიში, 2015**).

თუ ამ მახასიათებლებს დეტალურად გავაანალიზებთ, მაშინ ჩნდება მთელი რიგი შეკითხვებისა, კერძოდ:

1. წყალტუბოს მინერალური წყლის მინერალიზაცია (0,6-0,7 გ/ლ) თერმული წყლებისათვის დამახასიათებელი ზღვრული ნორმების ქვევითაა. ეს მოცემულობა კი ეჭვქვეშ აყენებს მის, როგორც ტიპურ ჰიდროთერმულ მინერალიზებული წყლის განსაზღვრება. როგორც ცნობილია მინერალიზებულ წყლებში მარილების კონცენტრაცია 1 გ/ლ-ზე მაღალია, მაშინ როცა წყალტუბოს წყლის შემთხვევაში ეს პარამეტრი 0.7 გ/ლ-ს არ სცილდება. ამდენად შეიძლება დავასკვნათ, რომ წყალტუბოს რადონიანი წყალი ქიმიური კომპონენტების შემცველობის მიხედვით არ შეესაბამება მინერალიზებულ წყალს. შედარებისათვის აქვე აღვნიშნავთ, რომ წყალტუბოს რაიონის მეოთხეულ ნალექებში ჩვეულებრივი გრუნტის წყლის მინერალიზაცია 0,6 გ/ლ-ს შეესაბამება (**შპს „გამას“ ანგარიში, 2015**), რაც პრაქტიკულად იდენტურია წყალტუბოს სამკურნალო წყლის პარამეტრისა (0,7 გ/ლ). თუმცა შესაძლებელია, რომ კონცენტრაციაში ეს 0.1 გ/ლ სხვაობა განპირობებულია წყლის ტემპერატურის მატებით, რაც ზრდის მის გამხსნელობით შესაძლებლობას.

2. მიჩნეულია, რომ წყალტუბოს სამკურნალო წყალი წარმოადგენს სიღრმული გენერაციის ტიპურ ჰიდროთერმულ წარმონაქმნს, რომლის ტემპერატურა +30-35⁰C ფარგლებში მერყეობს. ასეთი რაოდენობის (დღე-ღამეში 13-15 მლნ. ლ.) ჰიდროთერმული წყალი შეუძლებელია ჩამოყალიბდეს წყალტუბოს რაიონში, გამომდინარე მისი გეოლოგიური აგებულებიდან. რეგიონში უკანასკნელი დიდი მაგმური აქტივობა ~90 მლნ. წლით თარიღდება (ტურონული ვულკანოგენები, ე. წ. მთავრის წყება) და ძნელად წარმოსადგენია ისეთი მოცულობითი ნარჩენი მაგმური კერა, რომელიც ასეთი რაოდენობის ჰიდროთერმებს მოგვცემდა. ამასთან ერთად, კავკასიონის სამხრეთი ფერდის ცარცულ კირქვებში, რომელსაც რამდენიმე ასეული კილომეტრის სიგრძე გააჩნია, გრუნტის წყალს ყველგან 12-18⁰ C ტემპერატურა გააჩნია. ეს წყაროები დაახლოებით ისეთივე გენერაციისაა როგორც წყალტუბოს რაიონში, თუმცა +30-35⁰C ტემპერატურის მქონე წყალი სხვაგან არსად ფიქსირდება.

3. არავითარი არგუმენტი არ არსებობს იმის მტკიცებულებად, რომ

წყალტუბოს რადონიანი წყალი რადონით მხოლოდ მეოთხეულ ნალექებში მდიდრდება; მაშინ ეს ნალექები ურანს ან თორიუმს ან ორივეს ერთად უნდა შეიცავდეს. პირიქით, ეს წყალი რომ არგონით უკვე კირქვებშია გამდიდრებული, ამის მტკიცებულებაა ფაქტი, რომ ამჟამად მოქმედი ჭაბურღილები, საიდანაც რადონიანი წყალი მოედინება, საშუალოდ 80-100 მეტრზეა გაბურღული. ამ სიღმეებზე კი წყალტუბოს გრუნტის ქვეშ უკვე ქვედაცარცული ნალექები შიშვლდება. გარდა აღნიშნულისა, წყალტუბოს ჭაბურღილებში წყლის ტემპერატურისა და რადიაქტიურობის შესახებ საინტერესო ინფორმაცია მოცემულია გ. ჯავახიშვილისა და სხვათა ანგარიშში (1939). მასში მოცემულია 1937 წელს, სხვადასხვა სიღმის ჭაბურღილებში (75 მეტრიდან 214 მეტრამდე ინტერვალში) წყლის ტემპერატურა და რადიაქტიურობა. ფაქტობრივ მონაცემებზე დაყრდნობით, ნაჩვენებია, რომ ამ სიღრმეებზე წყალს გააჩნია 27-28^o C ტემპერატურა, უკვე შეიცავს რადონს და საკმაოდ რადიაქტიურიცაა. უფრო მეტიც, ავტორები სვამენ კითხვას, თუ სადაა რადონის წყარო? ყოველივე ზემოთ განხილული კი უტყუარი დასტურია იმისა, რომ დისკუსიური წყალი უკვე ძირითად ქანებში, კონკრეტულად ქვედა ცარცულ კირქვებში არის რადონით გამდიდრებული. ამასთან ერთად, ამ წყალს წყალს სიღრმეში უფრო დაბალი ტემპერატურა გააჩნია ვიდრე ზედაპირზე, რაც გამორიცხავს მის ჰიდროთერმულ გენეზისს, ვინაიდან ზედაპირისკენ მოძრაობისას ჰიდროთერმული წყლის ტემპერატურა მცირდება. ეს კი, კიდევ ერთი დამატებითი მტკიცებულებაა, რომ წყალტუბოს რადონიანი წყალი არ წარმოადგენს ჰიდროთერმულ წარმონაქმნს.

ამრიგად, წყალტუბოს რაიონის გეოლოგიური აგებულებისა და რადონის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების კომპლექსური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ წყალტუბოს სამკურნალო წყლის ფორმირების პროცესი გაცილებით რთულია ვიდრე არსებული მოდელი გვთავაზობს.

როგორც რადონის ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლებიდან დავინახეთ მისი ფორმირებისათვის აუცილებელია თორიუმის ან ურანის ან ორივეს ერთად არსებობა, ვინაიდან ეს აირი მათი რადიაქტიური დაშლის პროდუქტს წარმოადგენს.

გამარტივებულად ამ ელემენტების ალფა რადიაქტიური დაშლის სქემა ასეთია: ^{238}U – ^{232}Th – ^{226}Ra – ^{222}Rn – ^{216}Po – ^{206}Pb . როგორც რადონის დახასიათებისას ვაჩვენებთ, ეს აირი ადვილად ტოვებს პირველად სტრუქტურას და იხსნება როგორც წყალში ასევე სხვა აირებში. გამოთავისუფლებული აირი ნაპრალებისა და მიკრობზარების მეშვეობით მიგრაციას განიცდის დედამიწის ზედაპირისკენ და შესაბამისად, ხვდება, როგორც გრუნტში, ასევე ნიადაგსა და ჰაერში.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რეგიონში ურანისა და თორიუმის მინერალიზაციის ორი გამოვლინებაა გამოყოფილი: ძეძილეთის, რომლის იდენტიფიცირებაც ჩვენ ვერ შევძელით და ბაიოსური პორფირიტული წყების, რომელიც წყალტუბოს დეპრესიის ქვეშ, 600-დან 700 მ-მდე ინტერვალში დააფიქსირა კალცოვოს ექსპედიციამ.

აღნიშნული მონაცემების შეჯერების შედეგად ვუშვებთ, რომ წყალტუბოს რადონის შემცველი წყლის ფორმირება მიმდინარეობს ბაიოსის ვულკანიტების მაღალ რადიაციულ ზონაში გამოყოფილი რადონის მიგრაციითა და ქვედა ცარცულ კირქვებში გრუნტის წყალთან შერევის შედეგად. ეს წყალი, ამავე ზონაში, მდიდრდება ჰელიუმითაც, რომელიც აგრეთვე რადიუმის რადონად იზოტოპური გარდაქმნის პროდუქტს წარმოადგენს. აღნიშნული აირით გამდიდრებული წყალი, გაბროული დაიკების ბარიერის გავლით, ამოედინება წყალტუბოს დეპრესიაში და ქმნის მცირე ნაკადულებს. რაც შეეხება ამ წყლის გათბობას $+30-35^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურამდე, დიდი ალბათობით, განაპირობებს ის სითბური ენერგია, რომელიც რადონის ტყვიად იზოტოპური გარდაქმნის პროცესში გამოიყოფა (**The NIST Reference, 2019**).

7. საქართველოში თორიუმის მადანგამოვლინებების კვლევის შედეგების შეჯამება

ჩვენ მიერ განხორციელებული კვლევის შედეგად საქართველოში გამოვლინდა როგორც თორიუმის ასევე ურანის ახალი მადანგამოვლინებები, რაც უპირველეს ყოვლისა განაპირობა თანამედროვე მაღალტექნოლოგიური ხელსაწყოების, კერძოდ, რადიოდოზიმეტრ FAG-FH40F2-ის, POLIMASTER-ისა და ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებული პლაზმური მასოსპექტრომეტრის (LA-ICP-MS) გამოყენებამ. რადიაქტიურობის დოზიმეტრებმა საშუალება მოგვცა ველზე მიგვეკვლია მაღალი რადიაციის მქონე უბნებისათვის, ხოლო მასოსპექტრულ დანადგარებზე ერთ სინჯში, ერთდროულად, გაგვეანალიზებინა 40-ზე მეტი ქიმიური ელემენტის შემცველობა, მათ შორის თორიუმისა და ურანის. აღსანიშნავია, რომ ანალიტიკური სამუშაოები ძირითადად ჩატარდა კანადის ანალიტიკურ ლაბორატორია MSALABS-ში, IMS-230 მეთოდით და ამერიკის შეერთებული შტატების გეოლოგიური სამსახურის, დენვერის რეგიონული ცენტრის გეოქიმიურ ლაბორატორიაში ICP-ES მეთოდით.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის მნიშვნელოვანი შედეგები და ასევე საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ფონდებში არსებული შედარებით არგუმენტირებული მონაცემები, როგორც თორიუმზე, ასევე ურანზე, შეჯამებულია 7.1 ცხრილში. ამ ცხრილში აღწერილი მაგანდამოვლინებების ადგილმდებარეობები კი დავიტანეთ საქართველოს გეოლოგიურ რუკაზე (ნახ. 7.1).

ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ საქართველოში, ისევე როგორც მსოფლიოს სხვა რეგიონებში, თორიუმის ძირითად წყაროს წარმოადგენს ტუტე და სუბტუტე მაგმური მდნარები. როგორც წესი ამ ტიპის მაგმატიზმთან დაკავშირებული თორიუმის საბადოები ფორმირდება პოსტმაგმურ ნატრიუმიანი და კალიუმიანი ჰიდროთერმული შეცვლების პროცესებში (მაგ., **Van Gosen et al. 2009**). მიჩნეულია, რომ ამ გენეტური ტიპის საბადოებში თორიუმის შემცველობამ შესაძლებელია მიაღწიოს 1500 ტ/ს-ს, თუმცა ზოგადად იშვიათად

აჭარბებს 50 გ/ტ-ს (მაგ., **Rene, 2017**). ამ მოსაზრების კიდევ ერთ დამატებით არგუმენტს წარმოადგენს ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევა. ამ კვლევის მიხედვითაც თორიუმის მადანგამოვლინებები გენეტურად დაკავშირებულია ტუტე და სუბტუტე პოსტმაგმურ ჰიდროთერმულ პროცესებთან და ასეთ მადანგამოვლინებებში ამ ელემენტის საშუალო კონცენტრაცია 50 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს, თუმცა ფიქსირდება 1500 გ/ტ-ზე მეტი შემცველობებიც.

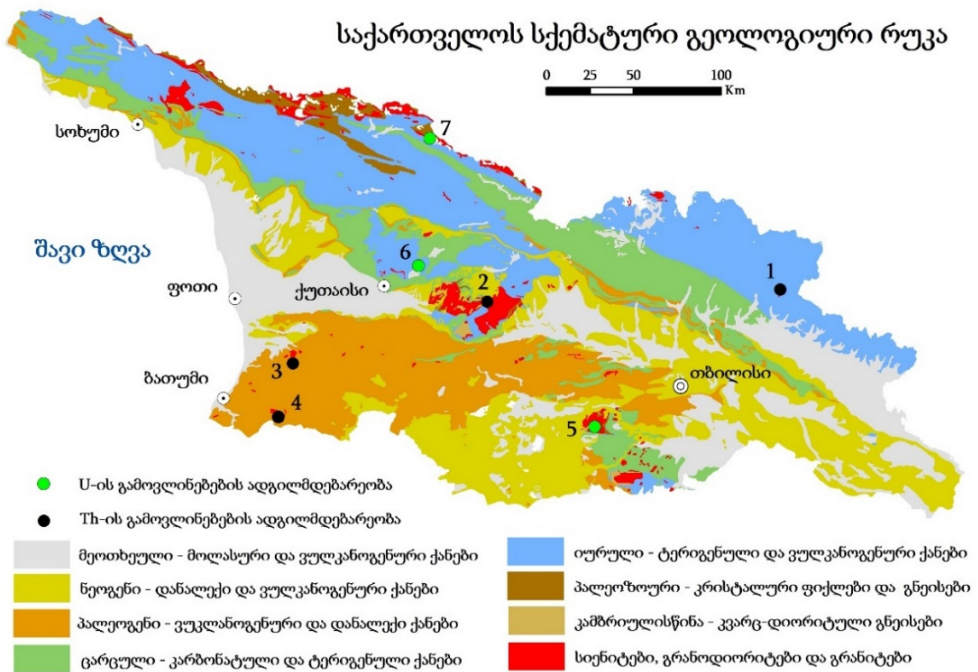
ცხრილი 7.1. საქართველოში Th და U მადანგამოვლინებები, მათი გენეტური ტიპები, ადგილმდებარეობა და შემცველი ქანები. თორიუმის, ურანისა და ბისმუტის კონცენტრაციები მოცემულია გ/ტ-ში, ხოლო რკინის - %-ში

მადანგამოვლინება	გენეტური ტიპი	ადგილ - მდებარეობა	შემცვ. ქანები/ მადანგ. ასაკი	ელემენტ. კონცენტრ.
1. სტორის Th-Bi მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	სტორის ხეობა, კავკასიონი	თიხაფიქლები, შუაიურული	Th= 50-3842 Bi=197-4806
2. ნადაბურის Th-Bi მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	ძირულას ხეობა, ს. ნადაბურთან	გნეისები გვიანპალეოზ.	Th=117-266 Bi=143-2470
3. ვაკიჯვრის Th-Fe მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	ნატანების ხეობა, ვაკიჯვრის პლ.	სიენიტები შუაეოცენური	Th=47,5-272 Fe=14,3-33,8
4. მერისის Th-U მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	მერისის ჩანჩქ. მიმდებარედ	მონცონიტი, შუაეოცენური	Th=52-158 U=10,2-17,7
5. ხრამის U -Th მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	ღრმა ხევი, ხრამის მასივი	გრანიტები გვიანპალეოზ.	U= ~300 Th= ~80
6. მუხურის U-Th მადანგამოვლინება	ტერი-გენული	მუხურის უღელ. დასაწყისი	ქვიშაქვები შუაიურული	U= 200-250 Th=150-200
7. შხარის U და Th მადანგამოვლინება	ჰიდრო-თერმული	მდ. ენგურის სათ. შხარის მასივი	პლაგიოგრ. გვიანპალეოზ.	U= 62-291 Th=26-51

1-ლი, მე-2, მე-4 და მე-7 მადანგამოვლინებები ჩვენი კვლევის შედეგადაა მიკვლეული, ხოლო მე-3, მე-5 და მე-6 - საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის მონაცემების მიხედვით არის გამოყოფილი. ვაკიჯვრის მადანგამოვლინებაში შეჯერებულია ჩხიკვასა და ჭაჭუას დედეების მონაცემები.

ლაზერული აბლაციის ინდუქციურად დაწყვილებულმა პლაზმურმა მასო-სპექტრომეტრებმა (LA-ICP-MS) საშუალება მოგვცა ერთ ნიმუშში ერთდროულად განგვესაზღვრა როგორც თორიუმის ასევე ურანის კონცენტრაციები, რის შედეგადაც გამოვლინდა ასევე ურანის ახალი მადანგამოვლინებებიც. ურანის მი-

ნერალიზაციის შემთხვევაშიც, ჩვენ მიერ მიკვლეული მადანგამოვლინებების გენეზისი სრულ შესაბამისობაშია მათი ფორმირების არსებულ გენეტურ მოდელებთან. დიდი ალბათობით ამ ელემენტების დაგროვების მიზეზს წარმოადგენდა პლუტონურ მაგმურ კამერაში კრისტალური ფრაქცირების პროცესში ნარჩენი მდნარის ურანითა და თორიუმით გამდიდრება. მოგვიანებით, ქერქის გვიანოროგენული გაჭიმვის პროცესში, ამ ელემენტებმა ჰიდროთერმული მობილიზაცია განიცადეს და მარღვაკებისა და ბუდობების სახით დაგროვდნენ მაგმური კამერის შემცველ ქანებში.



ნახ.7.1. ურანისა და თორიუმის მადანგამოვლინებების ადგილმდებარეობები საქართველოს გეოლოგიურ რუკაზე. რუკა მოდიფიცირებულია საქართველოს 1:500000 მასშტაბის გეოლოგიური რუკის მიხედვით (Gudjabidze et al., 2003).

მადანგამოვლინებები: 1 - სტორის თორიუმის, 2 - ძირულის თორიუმის, 3 - ვაკიჯვრის თორიუმის, 4 - მერისის თორიუმის, 5 - ხრამის ურანის, 6 - მუხურის ურანის, 7 - შხარის ურანის.

შხარის U და Th მადანგამოვლინება. იგი აღმოჩენილ იქნა 2020 წელს, ჩვენი ჯგუფის მიერ, მდ. ენგურის სათავეებში, ამავე სახელწოდების გვიან ვარისკულ გრანიტოიდულ პლუტონში (Okrostsvaridze et al., 2021, 2022). საველე სამუშაოების დროს, კავკასიონის მთავარი ღრვევის გასწვრივ, ამ პლუტონის ~3 მ სიმაღლის ბიოტიტიანი პლაგიოგრანიტის ძარღვში დაფიქსირდა ანომალიურად მაღალი რადიაციული ფონი. ამ ქანში მიკროსივერტი ($\mu\text{Sv/h}$) 1-დან 3-მდე ინტერვალში მერყეობს, რაც ნორმულ ფონთან ($\mu\text{Sv/h}=0.15$) შედარებით თითქმის ერთი რიგითაა გაზრდილი. რთული რელიეფის გამო ვერ შევძელით ამ სხეულის დეტალური კარტირება, თუმცა ანალოგიური ქანების უზარმაზარი ლოდები (~1.5 მ X ~2.5 მ), ასევე მაღალი რადიაციული ფონით, აღინიშნება მდ. ენგურის სათავეში. ეს კი, ამ რადიექტიური ელემენტების მინერალიზაციის დიდი მასშტაბების უტყუარი მტკიცებულებაა.

ჩვენ დეტალურად შევისწავლეთ ამ ქანის პეტროგრაფია, ქიმიზმი, მათი ცირკონების იზოტოპური $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ასაკი, Th და U კონცენტრაცია, ურანინიტის ძარღვების ქიმიური შედგენილობა და ასაკი. ჩატარებული კვლევის შედეგად გაირკვა რომ იგი წარმოადგენს ბიოტიტიან კვარც-პლაგიოკლაზიან ჰიდროთერმულ პლაგიოგრანიტს, რომელშიც SiO_2 შემცველობა 75-85%-ის ფარგლებში იცვლება. ამ ქანში თორიუმის კონცენტრაცია მერყეობს 26 გ/ტ-დან 50 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო ურანის - 55 გ/ტ-დან 291 გ/ტ-ის. მასში ურანის კონცენტრაცია ნორმულთან შედარებით 100-200 - ჯერ არის გაზრდილი, რაც ძარღვული ტიპის საბადოებისათვის სამრეწველო შემცველობებია. პეტროგრაფიული და გეოქიმიური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ურანის შემცველ მინერალს წარმოადგენს მაღალტემპერატურული Th-იანი ურანინიტი (UO_2), რომელიც ურანის ჰიდროთერმული ძარღვული მადნების ძირითადი სამრეწველო მინერალია.

ელექტრონულ მიკროზონდ JEOL-JXA-8230-ზე ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ ურანინიტის ძარღვები შედგება ურანის, თორიუმის, ტყვიისა და

იტრიუმისგან. ამ ძარღვებში UO_2 შემცველობა მერყეობს 79,5 %-დან 82,6% -ის ფარგლებში, ThO_2 – 6,7%-დან 8,4%-მდე, PbO - 2,95-დან 3,9%-მდე, ხოლო Y_2O_3 – 1,15-დან 3,77%-ის ფარგლებში. ამ მონაცემების მიხედვითაც აშკარაა, რომ გაანალიზებული ნივთიერება თორიანიტ-ურანიტი სერიის (ThO_2-UO_2) წარმონაქმნია, კონკრეტულად კი თორიუმისანი ურანიტი, რომელიც, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ურანის მადნის ძირითად მინერალს წარმოადგენს.

ამ ქანების ცირკონების LA-ICP-MS $^{206}Pb/^{238}U$ იზოტოპური ასაკი $310,2 \pm 7,5$ მლნ. წლით განისაზღვრა, რაც გვიან ვარისკულ ოროგენულ აქტივობას შეესაბამება. რაც შეეხება ამ ძარღვების U-Pb ქიმიურ ასაკს, რომელიც მიკროზონდ JEOL-JXA-8230-ზე განისაზღვრა, მერყეობს 286-290 მლნ. წლის ინტერვალში, რაც ადრეპერმულ პერიოდს შეესაბამება. ეს მონაცემები კი იმის მნიშვნელოვანი მტკიცებულებაა, რომ ამ ქანებში ურანიტი მინერალიზაცია პოსტკოლიზიურ ეტაპზე განვითარებულა.

ჩატარებული კვლევის მიხედვით, შხარის პლუტონის U და Th მინერალიზაცია სრულ კორელაციაშია მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონის ანალოგიურ ძარღვული ტიპის საბადოებთან, მათ შორის ცენტრალური ევროპის ვარისციდების (მაგ., **López-Moro, 2018; Yu et al., 2020**). აღსანიშნავია, რომ დაახლოებით მსგავს გეოლოგიურ პირობებშია ჩამოყალიბებული მსოფლიოს მრავალი ჰიდროთერმული გენეზისის ურანის საბადო. მათ შორისაა ნამიბიის საყოველთაოდ ცნობილი ურანის საბადოები (როსსინგი და ჰუსაბი), საიდანაც ამჟამად მსოფლიოს ურანის ნედლეულის დაახლოებით 10%-ს მოიპოვებენ (**IAEA raport, 2018**). აღსანიშნავია, რომ ამ საბადოებში ურანის საშუალო კონცენტრაცია 200 გ/ტ-ს შეადგენს (მაგ., **Basson and Greenway, 2004**) რაც დაახლოებით ისეთივე მაჩვენებელია როგორც შხარის გამადნებაში ფიქსირდება. ბუნებრივია ეს მოცემულობა კიდევ უფრო აძლიერებს ინტერესს ამ გამადნებისადმი.

ზემოთ განხილული მონაცემების ანალიზიდან გამომდინარე, ვფიქრობთ, რომ შხარის ურანიტი მინერალიზაციას მნიშვნელოვანი პერსპექტივები გააჩნია, შესაბამისად აუცილებელია განხორციელდეს მისი დეტალური ძებნა-

მიება. ამასთან ერთად, როგორც ცნობილია შესწავლილი გენეტიური ტიპისა და ასაკის პლაგოგორანიტული წარმონაქმნები ფართოდაა გავრცელებული კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის გრანიტ-მიგმატიტურ კომპლექსში. რის გამოც, ვფიქრობთ, რომ მომავალში არა მარტო შხარის მასივში უნდა ჩატარდეს აღნიშნული სამუშაოები, არამედ მთლიანად კავკასიონის კრისტალური ფუნდამენტის გრანიტ-მიგმატიტურ კომპლექსშიც.

მერისის Th-U მადანგამოვლინება. ამ მადანგამოვლინებას მივაკვლიეთ მერისის მადნიან ველში, მერისის ჩანჩქერიდან სოფელ ნამონასტრევისკენ მიმავალ გზაზე. აქ რადიაციული ფონი გაზრდილია თითქმის 300 მეტრი სიგრძის გაშიშვლების მქონე ჰიდროთერმულად შეცვლილ ქანებში, სადაც $\mu\text{Sv/h}$ პარამეტრი სცილდება 0,5-ს და ზოგ მონაკვეთზე 0,7-მდეც კი აღწევს.

ეს ქანები წარმოადგენს წვრილმარცვლოვან, ძირითადად კვარცბიოტიტთან წარმონაქმნებს, რომლებიც ინტენსიურ ქლორიტიზაციას განიცდის. ამ ქანებში მადნიანი მინერალი წარმოდგენილია ქსენომორფული, უმცირესი ზომის მარცვლების სახით, რომელთა შემცველობა 4-5%-ს არ სცილდება. ამ ქანების გეოქიმიურმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ მათში თორიუმის კონცენტრაცია მერყეობს 52,3 გ/ტ-დან 147,7 გ/ტ-მდე, ხოლო ურანის 6,2 გ/ტ-დან 17,5 გ/ტ-ის ფარგლებში. გარდა აღნიშნულისა, ამ ქანებში გაზრდილია აგრეთვე La (53-75 გ/ტ) და Y (19,9-59,8 გ/ტ) შემცველობებიც.

თუ გავითვალისწინებთ მერისის Th-U მადანგამოვლინების ეპითერმულ გენეზისსა და მის დიდ მასშტაბებს, მაშინ იგი პერსპექტიულ წარმონაქმნად უნდა მივიჩნიოთ.

ნადაბურის Th და Bi მადანგამოვლინება. იგი შიშვლდება ძირულის კრისტალურ მასივში, მდ. ძირულის ხეობაში, სოფ. ნადაბურის ჩრდილოეთით, ადრეპალეოზოურ გნეისურ-კვარციან დიორიტებში. ამ ჭრილში, დაახლოებით 700 მეტრის მანძილზე, ეს ქანები ინტენსიურ ჰიდროთერმულ შეცვლას და სულფიდურ მინერალიზაციას განიცდის, სადაც სულფიდური მინერალები წარმოდგენილია პირიტითა და პიროტინით. ამ გაშიშვლებაში, ჩვენ მიერ,

დაფიქსირდა თორიუმისა და ბისმუტის მაღალი კონცენტრაციები, სადაც Th შემცველობა მერყეობს 117 გ/ტ-დან 266 გ/ტ-მდე ინტერვალში, ხოლო Bi 143 გ/ტ-დან 2470 გ/ტ-მდე ინტერვალში. როგორც ამ მონაცემებიდან ვხედავთ ნადაბურის ჰიდროთერმულად შეცვლილ ქანებში ანომალურადაა გაზრდილი თორიუმისა და ბისმუტის კონცენტრაციები, რის გამოც, საჭიროა განხორციელდეს მისი შემდგომი დეტალური კვლევა.

სტორის Th და Bi მადანგამოვლინება. ეს მადანგამოვლინება შიშვლდება სტორის ჰიდროთერმული მადნიანი ველის ფარგლებში, რომელიც ფორმირებულია კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე. მადანგამოვლინება ლოკალიზებულია სინემურულ-პლინსბახური თიხაფიქლებისა და ქვიშაქვების ჰიდროთერმულად შეცვლილ ზონაში, რომელსაც აშიშვლებს მდ.სტორი და მისი შენაკადები. ამ ველში ჰიდროთერმული შეცვლები სეგმენტურადაა განვითარებული მდ. სტორის ხეობის დასაწყისიდან აბანოს ხიდამდე, რომელთა საერთო სიგრძე 4 კმ-ს შეადგენს. შეცვლილი ქანები წარმოადგენს ტიპურ ჰიდროთერმულ ფილიტებსა და პროპილიტებს, რომლებიც, როგორც წესი, ვითარდება მძლავრი პორფირული გამადნებების ფრონტალურ არეალებში.

სტორის Th-Bi მინერალიზაცია ლოკალიზებულია საერთო კავკასიური მიმართების მძლავრი რღვევის ზონაში, რომელიც მადნიანი ველის ჩრდილო ნაწილშია განვითარებული. ამ ზონაში კარბონატიზებული, 30-40 სმ სიმძლავრის კვარც-პლაგიოკლაზიანი მარღვები კვეთს პლინსბახურ თიხაფიქლებს. ერთ-ერთ ასეთ მარღვში თორიუმის შემცველობა 3882 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო ბისმუტის - 4806 გ/ტ-ს. გარდა ამ მარღვებისა, სტორის გაშიშვლების ქანებში ზოგადად აღინიშნება თორიუმისა და ბისმუტის გაზრდილი შემცველობები, კონკრეტულად კი Th შემცველობა მერყეობს 51-203 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო Bi 57-881 გ/ტ-ის ფარგლებში.

გარდა სტორის მადნიანი ველისა, თორიუმისა და ბისმუტის მაღალი კონცენტრაციები ასევე აღინიშნება მდ. სტორის პარალელურ, მდ. მახვალის ხეობაშიც. აქაც, ჰიდროთერმულად შეცვლილ პლინსბახურ თიხაფიქლებში,

თორიუმის კონცენტრაცია მერყეობს 40-127 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო ბისმუტის 57-881 გ/ტ-ის ფარგლებში.

ამრიგად, როგორც ამ მოკლე მიმოხილვიდან ვხედავთ, სტორის მადნიან ველში თორიუმისა და ბისმუტის შემცველობები სამრეწველო კონცენტრაციებს აღწევს. თუმცა, ურთულესი რელიეფის გამო, პრაქტიკულად შეუძლებელია ამ მინერალიზაციის მასშტაბების განსაზღვრა. ამასთან ერთად, სტორის ხეობაში გადის თუშეთის რეგიონთან დამაკავშირებელი ერთადერთი საავტომობილო გზა, რის გამოც, აქ საძიებო-გეოლოგიური სამუშაოების ჩატარება პრაქტიკულად შეუძლებელია. მახვალის ხეობაში კი, სამწუხაროდ, არაა ისეთი დიდი მასშტაბების შეცვლები, როგორც სტორის ხეობაშია.

ხრამის U და Th მადანგამოვლინება. ამ მადანგამოვლინების იდენტიფიცირება მოვახდინეთ საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ანგარიშის მიხედვით (Гоциридзе и др., 1985), რომელშიც შეჯამებულია ურანის ძებნითი სამუშაოების შედეგები ხრამის კრისტალურ მასივში. ამ ანგარიშში შესწავლილ ტერიტორიაზე გამოყოფილია 13 პერსპექტიული ზონა, მათ შორის ურანისა და თორიუმის ერთობლივი მინერალიზაციით. ამ ზონებში ურანის მაქსიმალური შემცველობა 300 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის 340 გ/ტ-ს (Гоциридзе и др., 1985).

ამ ანგარიშის მიხედვით, ხრამის მასივის სამხრეთ პერიფერიაზე, თორიუმისა და ურანის მადანგამოვლინებები გენეტურად დაკავშირებულია მამულოს ჰიდროთერმულ სულფიდურ მადნიან ველთან, რომელიც ფორმირებულია ხრამის მასივის პალეოზოურ გრანიტებში. ეს მადნიანი ველი ~1,5 კმ სიმძლავრით გაიდევნება ჩრდილო-აღმოსავლეთის მიმართულებით დაახლოებით 8 კმ მანძილზე და სივრცობრივად დაკავშირებულია მამულო-შიხალის სიღრმულ რღვევასთან. ამ მადნიან ველში აღწერილია რამდენიმე რადიაქტიური ანომალია, რომელთაგანაც, ჩვენი აზრით უფრო საინტერესოა ღრმა-ხევის. ამ უბანზე რადიაციული ფონი 180 მკრ/სთ-ის ფარგლებში მერყეობს, სადაც ურანის შემცველობა 300 გ/ტ-ს აღწევს, ხოლო თორიუმის -80 გ/ტ-ს (Гоциридзе и др., 1985).

მუხურის U და Th მადანგამოვლინება. ეს მადანგამოვლინება გამოვყავით საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის კ. ნაცვალაძისა და კ. გოცირიძის ანგარიშის (1978) მიხედვით, რომელშიც შეჯამებულია ოკრიბის აზევებაში ურანის ძებნის სამუშაოები. ამ ანგარიშის მიხედვით, მუხურის უღელტეხილის დასაწყისში მიკვლეულია U და Th მადანგამოვლინება, რომელიც ფორმირებულია ბათური ასაკის ალევროლითებსა და ქვიშაქვებში არსებულ 250 მ. სიგრძისა და 25 მ. სიმაღლის ტექტონიკური მსხვრევის ზონაში. სპექტრომეტრული ანალიზის მიხედვით ამ ქანებში ურანის შემცველობა საშუალოდ 200-250 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო თორიუმის -150-200 გ/ტ-ის.

მუხურის U და Th მადანგამოვლინება შეისწავლა აგრეთვე კალცოვოს ექსპედიციამ. ამ ექსპედიციის ანგარიშის მიხედვით ეს მადანგამოვლინება გაიდევნება 180 მ მანძილზე და ზედაპირზე რადიაქტიური ფონი შეადგენს 3000 მკრ/სთ-ში. მათ მიერ გაზურღულმა ორმა ჭამ, 20 მ-დან - 46 მ-მდე სიღრმეში, გადაკვეთა პროდუქტიული ფენა, რომელშიც რადიაქტიურობა 3000 მკრ/სთ-ზე მაღალი იყო. ერთ-ერთ ჭაში 10 მეტრის სიღრმეში დაფიქსირდა ურანის საშუალო შემცველობა 350 გ/ტ, ხოლო ერთ მონაკვეთზე, რომელსაც 1 მეტრი სიმაღლერე გააჩნდა, ურანის კონცენტრაციამ 1500 გ/ტ-ს მიაღწია (Нацваладзе, Гоциრიძე, 1978).

ამრიგად, თუ ეს მონაცემები რეალურია, მაშინ მუხურის ურანისა და თორიუმის მინერალიზებული ზონა საინტერესო მადანგამოვლინებად უნდა მივიჩნიოთ, რომლის შემდგომი დეტალური კვლევა აუცილებელია.

ვაკიჯვრის Th და Fe მადანგამოვლინებება. ვაკიჯვრის მადანგამოვლინებები შიშვლდება აჭარა-თრიალეთის გურიის რეგიონში და წარმოადგენს ვაკიჯვრის მადნიანი ველის (მოიცავს ~70 კმ²) აღმოსავლეთ შემადგენელ ნაწილებს. ისინი წარმოდგენილია კვარც-სპილენძ-პოლიმეტალური, სპილენძ-მოლიბდენ-პორფირული და რკინამადნიან-პეგმატოიდური ასოციაციებით (**ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992**).

ვაკიჯვრის რკინისა და თორიუმის მადანგამოვლინებაში ჩვენ გავაერთიანეთ ჩხიკვას-ღელეს, ჭაჭუას-ღელეს და ნასახლების უბნები, რომლებიც

სხვადასხვა ხეობებში შიშვლდება. ეს მადანგამოვლინება სივრცობრივად და გენეტიურად დაკავშირებულია რკინამადნიან-პეგმატოიდურ ასოციაციებთან, რომლებიც დეტალურად შეისწავლა საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ექსპედიციამ (ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992).

ჩხიკვას-ღელეს რკინის მადანგამოვლინება მდებარეობს სოფ. ვაკიჯვრის ჩრდილოეთით 3 კმ-ში, მდ. ნატანების მარცხენა ნაპირზე. მისი სიმძლავრე 100 მ-ს აჭარბებს და ფორმირებულია ვაკიჯვრის პლუტონის სამხრეთ-აღმოსავლეთის კონტაქტური ზონის ჰიდროთერმული შეცვლის არეალში. მადანგამოვლინება წარმოდგენილია ძირითადად რკინიანი პეგმატებით, რომელთაც მთელი გამიშვლების დაახლოებით 60% უკავია. ზ. ჩხიკვიშვილისა და სხვ. (1992) მიხედვით, ამ გამადნებაში Fe კონცენტრაცია 12-45%-ის ფარგლებში მერყეობს, U შემცველობა 6 გ/ტ-ს არ აჭარბებს, ხოლო Th კონცენტრაცია 400 გ/ტ-ს აღწევს.

ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის მიხედვით, ამ მადანგამოვლინებაში რადიაციული ფონი სუსტად არის მომატებული და პარამეტრი $\mu\text{Sv/h}$ 0,4-0,5 ინტერვალში მერყეობს. აქ კალიუმთან ჰიდროთერმულ შეცვლას განიცდის რქატყუარიანი მონცონიტები და ფორმირდება ჰიდროთერმული ბიოტიტი და მადნიანი მინერალები, რომელთა საერთო რაოდენობა დაახლოებით 17%-ს აღწევს. ამ მადანგამოვლინებაში თორიუმის კონცენტრაცია მერყეობს 4,3 გ/ტ-დან 289 გ/ტ-ის ფარგლებში, ხოლო ურანის შემცველობა 4,81 გ/ტ-ს აღწევს. რაც შეეხება რკინას ამ ქანებში, ჩვენი მონაცემების მიხედვით, მისი კონცენტრაცია 12,3 %-დან 32,7%-ის ფარგლებში მერყეობს.

ჭაჭუას-ღელეს რკინის მადანგამოვლინება შიშვლდება სოფელ ვაკიჯვრის სამხრეთით ~2 კმ-ზე, მდ. ნატანების მარცხენა მხარეს, ჭაჭუას ღელეს სათავეში. მადანგამოვლინება ფორმირებულია ვაკიჯვრის პლუტონის ბიოტიტიანი სიენიტებისა და შუაეოცენურ ტრაქიტულ ვულკანიტებს შორის არსებულ კონტაქტურ ზონაში, რომელიც დაახლოებით 300 მეტრ მანძილზე შიშვლდება. ამ ზონაში, როგორც პლუტონები, ასევე შემცავი ვულკანიტები, ინტენსიურ ჰიდროთერმულ შეცვლას განიცდის და შეიცავს დიდი რაოდენობით მაგნეტიტს.

ამ კვლევამ საინტერესო შედეგი გვიჩვენა, ვინაიდან ამ მადანგამოვლინებაში რკინის მაღალი კონცენტრაციის ფონზე (16,3%-34,9%) გაზრდილია ასევე თორიუმის შემცველობაც, რომელიც 52,7 გ/ტ-დან 255 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს. რაც შეეხება ურანს, ჭაჭუას-ლელეს მადნებში მისი კონცენტრაცია 1,27-3,54 გ/ტ-ის ფარგლებში მერყეობს.

აჭარა-თრიალეთის სარტყელში თორიუმის ყველაზე მაღალი კონცენტრაცია დაფიქსირებულია ნასახლების სპილენძ-მოლიბდენის მადანგამოვლინებაში (**ჩხიკვიშვილი და სხვ., 1992**). იგი მდებარეობს მდ. ნასახლების (მდ. ნატანების მარჯვენა შენაკადი) ხეობაში, სოფ. ვაკიჯვრის სამხრეთ-აღმოსავლეთით დაახლოებით 8 კმ მანძილზე. მადანგამოვლინება დაკავშირებულია ვაკიჯვრის სიენიტურ პლუტონში მოქცეულ, ჰიდროთერმულად შეცვლილ, შუაეოცენურ ტრაქიტულ ვულკანიტებთან. აქ რადიაქტიური ანომალია 245–255 მკრ/სთ-ს შეადგენს, ხოლო დარული სინჯების ანალიზმა აჩვენა, რომ აქ ურანის შემცველობა ნორმულის ფარგლებშია, თუმცა გაზრდილია თორიუმის კონცენტრაცია, რომელიც 1600 გ/ტ-ს აღწევს.

ამრიგად, ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ საქართველოში შიშვლდება თორიუმისა და ურანის რამდენიმე პერსპექტიული მადანგამოვლინება, რომლებიც შემდგომ დეტალურ შესწავლას საჭიროებს. ჩვენი მონაცემების მიხედვით, განსაკუთრებულ ინტერესს იმსახურებს პალეოზოურ პლაგიოგრანიტებში ფორმირებული შხარის ურანიტის მადანგამოვლინება, რომლის მონაცემებიც სრულ კორელაციაშია მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონის ანალოგიური ტიპის საბადოებთან.

**Avtandil Okrostsvaridze, Karlo Akimidze, David Bluashvili,
Salome Gogoladze, Giorgi Boychenko, Rabi Gabrielashvili**

Thorium - the Energy Source of the Future and its Ore Occurrences in Georgia

SUMMARY

The book is printed with financial support of the Shota Rustaveli
National Scientific Foundation, project FR-18-8122



Tbilisi 2022

Introduction

Against the background of our planet's permanent pollution and overall reduction of hydrocarbons, the main issue of modern civilization is the search for new environmentally-friendly, free of CO₂ emission energy resources. To overcome this global challenge, experts regard renewable and nuclear energy as the future energy. However, many consider thorium and not uranium as the core energy of the future in nuclear power.

Thorium occurs naturally in a solid phase of ²³²Th. Just like uranium, it can be used to fuel nuclear reactors. However, compared to uranium thorium has a number of advantages: extraction and enrichment of thorium is much cheaper than that of uranium; it is less radioactive; complete utilization of its waste is possible; thorium yields much more energy than uranium, and several other advantages (e.g., **Van Gosen and Tulsidas, 2016**). Because of these unique properties, researchers consider thorium as the green energy source of the 3rd millennium of our civilization.

At present, the efforts of the world's developed countries are focused on technological improvement of thorium nuclear reactors and intensive study of its reserves. For example, India has been the most successful in this area, owning 25% of the world's thorium reserves and aims to produce 30% of its electricity through thorium-based reactors by 2050.

A special research work for studying thorium reserves has never been conducted in Georgia, despite the fact that the available information on thorium occurrences give grounds for optimism. Georgia is located in the central part of the Caucasian collisional orogen, comprising all of its three structural units, and thorium occurrences have been fixed in each of them (e.g., **Okrostsvaridze, Gogladze, 2018**).

The objective of this investigation is a detailed study of thorium occurrences in Georgia by using traditional and modern methods and prospecting of new ones. We have made significant progress in these studies, discovering new ore occurrences of uranium and thorium as well as explored the old ones.

Brief Geological Framework of Georgia

Georgia is located in the western part of the Caucasus orogen, east of the Black Sea. This orogen represents a Phanerozoic collisional formation that formed along the Eurasian North continental margin and extends over 1200 km from the Caspian to the Black Sea. Currently, it represents the Tethyan segment connecting the Mediterranean and Irano-Himalayan orogenic belts, between the Gondwana-derived Arabian plate and the Scythian platform (Fig. 1).

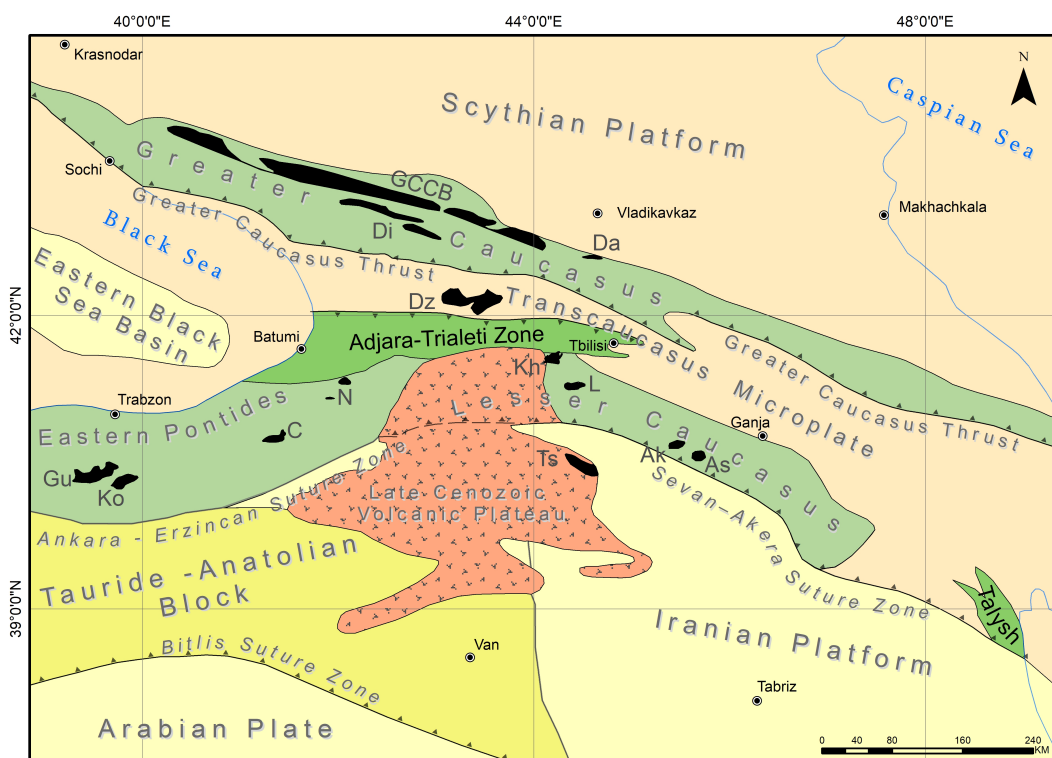


Fig. 1. Simplified schematic geological map of the Arabian–Eurasian collision segment of the Alpine–Himalayan orogenic system. Pre-Jurassic outcrops: GCCB – Greater Caucasus crystalline basement, Da – Dariali massif, Di – Dizi series, Dz – Dzirula massif, Kh – Khrami massif, L – Loki massif, Ak – Akhum massif, As – Asrikchai massif, Ts – Tsakhuniats massif, N – Nartic massif, C – Camukaua massif, Ko – Kose massif, Gu – Gumushane massif (Modified after Philip et al. 1989; Yilmaz et al. 2000; Gudjabidze et al., 2003; Moritz et al. 2016, Okay, Topuz 2017).

Traditionally, three major geological units are distinguished in its construction: the Greater and Lesser Caucasian mobile belts and the Transcaucasus block/microplate (e.g., **Gamkrelidze, 1986; Gamkrelidze, Shengelia, 2005; Okrostsvaridze, Tormey, 2013**) According of the terrane analyses, the Greater Caucasian, Black Sea-Central Transcaucasian, Baiburt-Sevanian (Lesser Caucasian) and Iran-Afghanian terranes are identified in the Caucasus orogeny (**Gamkrelidze, 1997**).

The territory of Georgia covers the southern part of the Greater Caucasus, the Transcaucasus and northern part of the Lesser Caucasus, that is why it is characterized by a complex and interesting geological structure.

The Greater Caucasus fold-and-thrust belt is the northernmost expression of the Caucasus orogen and is linked to the southern margin of the Precambrian Scythian platform of the Eurasian continent. It developed during the Late Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic as a result of north-dipping subduction of the Paleo-Tethys beneath the Scythian platform (**Zaridze, Shengelia 1978; Gamkrelidze 1986; Okrostsvaridze 2007; Somin 2011; Okrostsvaridze, Tormay 2013; Gamkrelidze et al., 2020**). The crystalline basement of the Caucasus (200 km length and 20-30 km width) was affected by the pre-Variscan and Variscan orogenies that produced Precambrian and Paleozoic crystalline schists, amphibolites, ophiolites, gneisses, migmatites and granitoids (e.g., **Gamkrelidze, Shengelia 2005; Okrostsvaridze, Tormay 2011; Gamkrelidze et al. 2020**).

The Mesozoic and Cenozoic volcano-sedimentary sequences of the Greater Caucasus are mainly composed of Lower Jurassic black-schist, Bajocian volcanic rocks and Lower Cretaceous carbonate rocks. This volcano-sedimentary sequence was intruded by Middle Jurassic plutons (**Dudauri, Togonidze 2016**).

The Greater Caucasus is bordered in the south by the Transcaucasian microplate, which comprises Meso-Cenozoic sediments and Dzirula and Khrami crystalline massifs (e.g., **Gamkrelidze, Shengelia. 2005; Okrostsvaridze, Tormay 2013**). The Dzirula crystalline massif (~1200 km²) is mainly composed of Neoproterozoic plagiomigmatites, crystalline schists, and ophiolites; Lower Paleozoic biotite granodiorite gneisses and Upper Paleozoic anatectic microcline granites. The Khrami crystalline massif represents a large uplifted part of the Artvin-Bolnisi block (~500 km²) and is mainly composed of the pre-Variscan migmatite-gneiss complexes and the Variscan granites (**Gamkrelidze, Shengelia, 2005**).

To the south of the Transcaucasian microplate, the Lesser Caucasus unit records the Mesozoic subduction of the Northern Neo-Tethyan oceanic crust and subsequent collision with the Rhodope-Pontide, Anatolide-Tauride and South Armenian blocks along the Late Cretaceous Izmir-Ankara-Erzincan and Sevan-Akera suture zones (**Gamkrelidze 1986; Zonenshayn, Le Pichon 1986; Philip et al. 1989; Rolland et al., 2012**). Therefore, the Lesser Caucasus is a complex structure consisting of several units.

The northernmost unit of the Lesser Caucasus is the Adjara-Trialeti fold-and-thrust belt (length 350 km, width 50-2 km) which is completely localized on the territory of Georgia (Fig. 1). I. Gamkrelidze (1974, 1976) suggests that Adjara-Trialeti riftogenic basin was formed on the south-eastern edge of the Transcaucasus. From the Early Cretaceous, the rifting processes started and the Transcaucasus microplate was gradually separated from the blocks of the southern province, which in the modern structure of the Caucasus are called the Artvin-Bolnisi and Loki-Karabagi massifs (e.g., **Gamkrelidze, 1986**).

Adjara-Trialeti fold-and-thrust belt is composed mostly of trachytic and trachytic-andesitic volcanogenic-sedimentary rocks, although plutonic rocks also play an important role in the structure. The plutons of this belt are dominantly composed of syenites and monzonites with minor amounts of gabbroic, gabbro and monzo-dioritic phases. New LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronological data indicate that magmatism in the Adjara-Trialeti basin began in the Early Eocene (~50 Ma) associated with the formation of pyroclastic rocks. The mafic intrusions (~46-44 Ma) led to the assimilation and contamination of the sialic crust and the formation of monzo-syenite melts emplaced at ~43-42 Ma (**Okrostsvardze et al., 2021**). Contacts of plutons with the host tuffogenic rocks are active everywhere and it should be noted that numerous ore mineralization zones of the belt are related to these areas.

Results of Investigation of Thorium and Uranium ore occurrences

Based on the conducted research, new deposits of both thorium and uranium were identified in Georgia, which were caused by the use of modern high-tech tools. In particular, radiation dosimeters FAG-FH40F2 and Polimaster and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS). Using the radiation dosimeter, we track the areas with high background radiation and using the mass spectrometers, detected simultaneously the content of more than 40 chemical elements in one sample, including thorium and uranium. It is noteworthy that analytical work was carried out at the MSALABS geochemical laboratory of Canada using the IMS-230 method and in the laboratory of the Denver Regional Center of the United States Geological Survey, using the ICP-ES method.

The significant results of our research as well as the relatively well-argued data available in the funds of the Geological Department of Georgia about both thorium and uranium are summarized in Table 7.1.

The accomplished research showed that the main source of Th in Georgia, as in other countries of the world is represented by alkaline and subalkaline magmatism. Typically, thorium deposits associated with this type of magmatism are formed during postmagmatic Na and K hydrothermal alteration processes (e.g., **Van Gosen et al., 2009**). It is believed that in this type of deposits, the Th content can reach up to 1500g/t but in general it rarely exceeds 50g/t (e.g., **Rene, 2017**). Our studies provide one more additional argument in favor of this interpretation, according to which thorium mineralization is also genetically related to alkaline and subalkaline postmagmatic hydrothermal processes and its average concentration is within 50 g/t, however, the contents of more than 1500g/t were identified.

Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA-ICP-MS) allowed us to determine both thorium and uranium concentrations in a single sample on the basis of which new uranium ore occurrences were revealed. Even in the case of uranium mineralization, the identified ore occurrences are in full compliance with the existing models of its genesis. The mechanism of their mineralization, most likely, was the U and Th enrichment of residual melts during the crystal fractionation in the magma chamber and later, hydrothermal mobilization of these elements during the late orogenic stretching processes and then, their accumulation in the form of veins and nests in the host rocks of the magma chamber.

Table 1. Th and U occurrences in Georgia, their genetic types, location, bedrocks and Concentrations. The concentrations of Th, U and Bi are given in g/t; Fe - in %

Ore occurrences	Genetic type	Location	Bedrocks and age	Concentration of elements
1. Stori Th-Bi occurrences	Hydrothermal	Stori River gorge, Greater Caucasus	Clay-shales, Middle Jurassic	Th = 50-3842 Bi = 197-4806
2. Nadaburi Th-Bi occurrences	Hydrothermal	Dzirula R. gorge, Dzirula massif	Diorite-Gneisses, Late Paleozoic	Th = 117-266 Bi = 143-2470
3. Vakijvari Th-Fe occurrences	Hydrothermal	Natanebi R. gorge, Vakijvari pluton	Monzonite, Middle Eocene	Th = 47.5-272 Fe = 14.3-33.8
4. Merisi Th-U occurrences	Hydrothermal	Near the Merisi Waterfall	Monzonite, Middle Eocene	Th = 52-158 U = 10.2-17.7
5. Khrami U-Th occurrences	Hydrothermal	Khrami Massive, Ghrma Khevi	Granite, Late Paleozoic	U = ~300 Th = ~80
6. Mukhuri U-Th occurrences	Terrigenous	The beginning of the village Mukhuri Pass	Sandstone, Middle Jurassic	U = 200-250 Th = 150-200
7. Shkhara U-Th occurrences	Hydrothermal	River Enguri R. hed, Shkhara pluton	Plagiogrinite, Late Paleozoic	U = 62-291 Th = 26-51

The data from the Chkhikvas-Ghele and Chachus-Ghele are summarized in the Vakijvari ore occurrences.

Shkhara U and Th ore occurrence. It was discovered in 2020 by our team in the headwaters of the Enguri River, in the Late Variscan granitoid pluton of the same name (Tab. 1) (Okrostsvaridze et. al., 2021, 2022). During the fieldwork, anomalously high background radiation was observed in the ~3 m thick biotite-plagiogranite vein of this pluton, along with the Main Caucasus Thrust. In this rock, the radiation varies from 1 to 3 $\mu\text{Sv/h}$, which is ten times higher than normal background radiation ($\mu\text{Sv/h}=0.15$). Due to the complex terrain, we failed to map this plutonic body in detail, but the boulders of the same rocks (~1.5 m X ~2.5 m), also with high radiation backgrounds, are observed in the head of the Enguri River. This is indisputable proof of the large-scale mineralization of these radioactive elements.

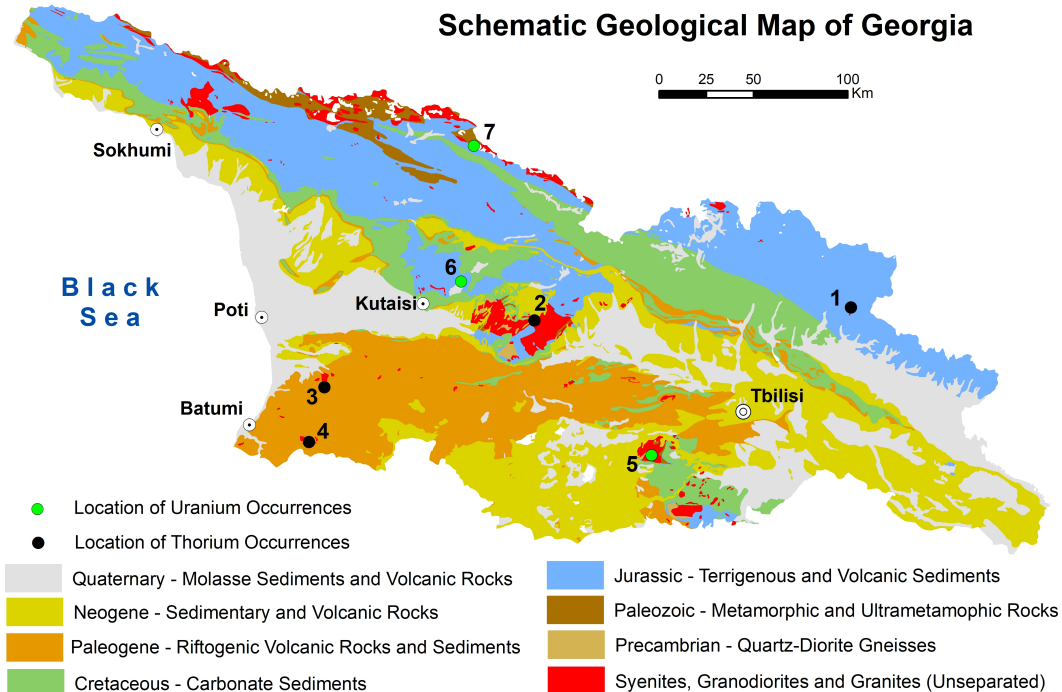


Fig. 2. Locations of Th and U occurrences on the geological map of Georgia. The map has been modified according to the 1:500000 scale geological map of Georgia (Gudjabidze et al., 2003). Th occurrences: 1. Stori; 2. Dzirula massif, 3. Vakijvari; 4. Merisi. U occurrences: 5. Khrami; 6. Mukhuri; 7. Shkhara. 1st, 2nd, 4th and 7th ore deposits are discovered based on our research, while 3rd, 5th and 6th - are identified according to the Geological Department of Georgia.

We have studied in detail the petrography, chemistry and isotopic age of $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$, Th and U contents, geochemistry of uraninite veins and the age in this rock. Based on the conducted research, this rock was identified as hydrothermally altered biotite-quartz-plagioclase plagiogranite, in which the SiO_2 content varies in the range of 75-85%. The content of Th in this rock varies from 26 to 50 g/t and the content of U changes from 55 to 291 g/t. The uranium content is 100 times higher than the normal value, that is an industrial content for vein-type deposits. Petrographic and geochemical studies have shown that the uranium mineral is high-temperature Th-bearing uraninite (UO_2), which is the major industrial mineral for hydrothermal vein-type ore deposits of uranium.

The study performed on JXA-8230 electron probe microanalyzer showed that uraninite veins consist of uranium, thorium, lead and yttrium. In these veins, the UO_2 composition varies from 79.5% to 82.6 %, ThO_2 – from 6.7% to 8,4 %, PbO – from 2.95 to

3.9%, Y_2O_3 – from 1.15 to 3.77%. Based on these data, the analyzed mineral is the product of the thorianite-uraninite series (ThO_2-UO_2), which, as mentioned above, is the main resource of uranium.

The LA-ICP-MS $^{206}Pb/^{238}U$ isotopic age for zircons of these rocks was defined as $310,2 \pm 7,5$ Ma, which corresponds to the Late Variscan orogenic activity. As for the U-Pb age of the veins, which was determined by the JEOL JXA-8230 electron microprobe (EMP), it ranges from 286 to 290 Ma corresponding to the early Permian period. These data provide significant evidence that uraninite mineralization in these rocks developed in the post-collisional stage.

Based on the conducted research, the U and Th mineralization of the Shakha pluton is in full correlation with the vein-type deposits similar to different regions of the world, including the central European Variscides (**López-Moro, 2018; Yu et al., 2020**). It is noteworthy that many of the world's hydrothermal uranium deposits are formed in approximately similar geological conditions. Among them are the commonly known uranium deposits of Namibia (Rossing and Husabi), from which about 10% of the world's uranium raw materials are currently extracted (**IAEA report, 2018**). The average uranium concentration in these deposits is 200 g/t (**Basson and Greenway, 2004**), which is about the same value as that found in the Shkhara ore deposit. Naturally, this situation further increases the interest in this deposit.

Based on the analysis of the above-mentioned data, we believe that the uraninite mineralization of the Shkhara has significant prospects, therefore it is necessary to carry out a detailed study of it. Additionally, as is known, the plagiogranite formations of studied genetic type and age are widely distributed in the granite-migmatite complex of the crystalline basement of the Greater Caucasus. Therefore, we consider that in the future, the mentioned works should be carried out not only in the Shkhara massif but also in the whole granite-migmatitic complex of the Greater Caucasus crystalline basement. For this purpose, the anatectic granite-migmatitic complex exposed in the upper part of the Nenskra River seems to us the most promising in this basement.

Merisi Th and U ore occurrence. We discovered this occurrence in the Meris ore field, on the way from the Meris waterfall to the village of Namonastrevi. Here, the background radiation is increased in the outcrop in the length of hydrothermally altered rocks of almost 300 meters, where the value of the $\mu Sv/h$ exceeds 0.5 and even reaches 0.7 in some sections.

These rocks are fine-grained formations mostly consisting of quartz-biotite, which undergo intense chloritization. In these rocks, the ore mineral is represented in the form of xenomorphic, smallest grains, the content of which does not exceed 4-5%. The geochemical study of these rocks has shown that thorium concentration ranges from 52.3 g/t to 147.7 g/t, and uranium from 6.2 g/t to 17.5 g/t. In addition to the above, the contents of La (53-75 g/t) and Y (19.9-59.8 g/t) have also increased in these rocks.

If we take into account the epithermal genesis of the Merisi Th-U ore occurrence and its large scale, then it should be considered a prospective formation. However, it should be noted that the entire area of the deposit is covered by subtropical forest, which will complicate the acquisition of a license and its further exploration.

Nadaburi Th and Bi ore occurrence. It is outcropped in the Dzirula crystalline massif, in the valley of the Dzirula River, in the northern part of Nadaburi village, in the Early Paleozoic gneissic quartz diorites. In this section, at a distance of about 700 meters, these rocks undergo intense hydrothermal alteration and sulfide mineralization, where sulfide minerals are exposed by pyrite and pirofine. In this outcrop, we observed high concentrations of thorium and bismuth, with Th content ranging from 117 g/t to 266 g/t, and Bi from 143 g/t to 2470 g/t. As can be seen from these data, the concentrations of thorium and bismuth are anomalously increased in the hydrothermally altered rocks of Nadaburi, which requires further detailed studies.

Stori Th and Bi ore occurrence. This ore deposit is exposed within the Stori hydrothermal ore field, which is formed on the southern slope of the Caucasus. The deposit is localized in the hydrothermally altered zone of Sinemurian-Plinsbachian clays and sandstones, which is outcropped by the Stori River and its tributaries. Hydrothermal alterations in this field are segmentally developed from the beginning of the Stori Valley to Abano Bridge, the total length of which is 4 km. Altered rocks are typical hydrothermal phyllites and propylites that usually develop in frontal areas of large porphyry deposits.

The Stori Th-Bi ore mineralization is localized in the fault zone of the general Caucasian direction, which is developed in the northern part of the ore field. In this zone, carbonate quartz-plagioclase veins of 30-40 cm thick intersect the Plinsbachian clay-shales. In one of these veins, thorium content reaches 3882 g/t, and bismuth - 4806 g/t. In addition to these veins, in general, the increased concentrations of thorium and bismuth are noted in the Stori outcrop, specifically, the Th content varies within 51-203 g/t, and Bi within 57-881

g/t. It should be noted that in three samples of hydrothermally altered rocks of Stori, anomalously high La contents were recorded, namely 17166 g/t, 16628 g/t, and 3204 g/t.

Besides the Stori ore field, high concentrations of thorium and bismuth are also observed in the valley of the Makhvali River, parallel to the Stori River. Here too, in the hydrothermally altered Plinsbachian clay-shales, thorium concentration ranges from 40 to 127 g/t, and bismuth from 57 to 881 g/t.

Thus, as we can see from this brief overview, thorium and bismuth contents in the Stori ore field reach industrial concentrations. However, due to the complex terrain, it is practically impossible to determine the extent of this mineralization. Besides this, only one highway connecting the Tusheti region passes through the Stori valley, which makes it practically impossible to conduct prospecting and exploration operations here. Unfortunately, there are no such large-scale alteration zones in the Makhvali valley as in the Stori valley.

Khrami U and Th ore occurrence. We identified this ore deposit according to the report of the Geological Department of Georgia (**Gotsiridze et al., 1985**), which summarizes the results for uranium prospecting in the Khrami crystalline massif. In this report, 13 prospective zones were identified in the studied area, including two with joint mineralization of uranium and thorium. In these zones, the maximum concentration of uranium reaches 300 g/t, and thorium reaches 340 g/t.

According to this report, the thorium and uranium ore deposits on the southern periphery of the Khrami massif are genetically related to the Mamulo hydrothermal sulfide ore field, which is formed in the Paleozoic granites of the Khrami massif. This ore field with a thickness of ~1.5 km extends in the northeast direction for a distance of about 8 km and is spatially connected to the Mamulo-Shikhalo zone of deep fault. Several radioactive anomalies have been described in this ore field, of which Ghrma-Khevi seems to be more interesting. In this anomalous section, the background radiation varies within ~180 μ Sv/h, where the uranium content reaches ~300 g/t, and thorium ~80 g/t (**Gotsiridze et al., 1985**).

Mukhuri U and Th ore occurrence. We identified this ore occurrence according to the report of the Geological Department of Georgia (**Natsvaladze, Gotsiridze, 1978**), that summarizes prospecting works for uranium in the Okriba uplift zone. Regarding this report, the U and Th deposit is identified at the beginning of the Mukhuri pass, which was formed in the fracture zone of 250 meters long and 25 meters thick, in the alevrolites and sandstones of the Bathonian age. Based on the spectrometric analysis, the uranium content of these rocks

varies within average values, 200 -250 g/t, while the thorium content is 150-200g/t.

The Mukhuri U and Th ore occurrence was also studied by the Kaltsovo expedition. According to the report of this expedition, this ore deposit extends to a distance of 180 m and radiation background of the surface area reaches 3000 $\mu\text{Sv/h}$. Two drilled wells intersected the layer at a depth of 20 to 46 meters, in which the radiation was higher than 3000 $\mu\text{Sv/h}$. In one of the wells, at a depth of 10 meters, the average uranium content was 350 g/t, and in one section with a 1meter thick, the uranium content reached 1500 g/t **(Natsvaladze, Gotsiridze, 1978)**.

Thus, if these data are reliable then the uranium and thorium ore occurrence of Mukhuri should be considered an interesting ore occurrence, the further detailed research of which is necessary.

Vakijvari Th and Fe ore occurrence. This ore occurrence outcrop in the Guria region of the Adjara-Trialeti belt and represent the eastern part of the Vakijvari ore field (~70km²). Vakijvari ore field was formed in the areas of magmatic-hydrothermal alteration zones of the middle Eocene monzonite-syenite pluton of the same name and is mainly represented by quartz-copper polymetallic, porphyry copper-molybdenum and iron ore-pegmatoid associations.

In the Vakijvri iron thorium ore occurrence, we combined Chkhikva-Ghele, Chachus-Ghele and Nasakhlebi districts, which are exposed in different valleys. This mineralization is spatially and genetically related to iron-ore-pegmatoid associations, studied in detail by the expedition of the Geological Department of Georgia **(Chkhikvishvili et al., 1992)**. Within the framework of this project, these ore occurrences were also investigated by us.

Chkhikva-Ghele iron ore occurrences are located 3 km north from Vakijvri village, on the left bank of the Natanebi River. Its thickness exceeds 100 m and it was formed in the area of hydrothermal alteration of the southeastern contact zone of the Vakijvri pluton. Here, the host volcanogenic rocks are quartzitized, sericitized and pyritized. The ore occurrence is mainly exposed by iron-bearing pegmatites that occupy about 60% of the entire outcrop area. According to Z. Chkhikvishvili et al. (1992), the iron content varies from 12 to 45%, U content does not exceed 6 g/t, and thorium content reaches 400 g/t.

According to our research, the background radiation is slightly elevated and the $\mu\text{Sv/h}$ value changes within the range of 0.4-0.5. Here hornblende-monzonites undergo potassic

alteration to form hydrothermal biotites and ore minerals, the total amount of which reaches about 17%. The thorium concentration in this ore deposit varies from 42.3 g/t to 289 g/t, and the uranium content reaches 4.81 g/t. As for the iron in these rocks, according to our data, its content ranges from 12.3% to 32.7%.

Chahuas-Ghele iron ore occurrence is an outcrop ~2 km south of the village of Vakijvri, on the left bank of the Natanebi River, at the head of Chachuas-Ghele. The occurrence was formed in the contact zone between the biotite syenites of the Vakijvri pluton and the middle Eocene trachytic volcanites, exposed at a distance of about 300 meters. In this zone, both the plutons and host volcanic rocks undergo intense hydrothermal alteration and contain large amounts of magnetite. This section shows significant genetic similarity to the Chkhikva-Ghele section, and therefore, although the thorium was not detected here before, we also conducted a detailed geochemical study of it.

This research showed us interesting results, against the background of high concentration of iron (16.3%-34.9%), the thorium content is also increased, ranging from 52.7 g/t to 255 g/t. As for the uranium, its concentration in Chachuas-Ghele ore deposit ranges from 1.27 g/t to 3.54 g/t.

The highest concentration of thorium in the Adjara-Trialeti belt is detected in the Nasakhlebi copper-molybdenum ore occurrence (**Chkhikvishvili et al., 1992**). It is located in the gorge of the River Nasakhlebi (left tributary of the River Natanebi), about 8 km south-east of the village Vakijvari. The occurrence is related to the Middle Eocene hydrothermally altered trachytic volcanites of the Vakijvari syenite pluton. In this area, the radioactive anomaly is 245-255 *mkR/h*, however, the analysis of channel samples showed that the uranium content here is within the normal range, while the thorium concentration is elevated, reaching 1600 g/t (**Chkhikvishvili et al., 1992**). This area is currently covered by impassable shrubbery, which makes us unable to take samples from this deposit.

Thus, as a result of our research, we can conclude that several prospective ore occurrences of thorium and uranium have been revealed in Georgia, which require further detailed study. In our opinion, the Shkhara uranium occurrence formed in the Paleozoic plagiogranites is of special interest the data of which are in full correlation with deposits of similar type in different regions of the world.

Acknowledgments

The implementation of this the project "*Thorium - Future Energy: "Investigation of its occurrences and Geological settings in Georgia (under Grant No. FR-18-8122)"*" was made possible by financial support from the **Shota Rustaveli National Science Foundation**, for which the authors would like to thank the mentioned foundation. We are really grateful to Bagrat Razmadze, a young employee of this foundation for his professionalism and assistance throughout such a challenging project project management process.

The authors wish to thank the scientific advisor of this project, Mr. Bradley Van Gosen, the researcher of the U.S. Geological Survey, Denver Federal Center, for sharing valuable experience and advice; Prof. Sun-Lin Chung, the Director of the Institute of Earth Sciences, the Taiwan Academy of Science, for the isotopic dating of rocks; Mr. Fabien Rabayrol, the researcher of the Mineral Deposit Research Unit (MDRU), of the University of British Columbia (Canada) for assistance in geochemical study of rocks; Dr. Franziska Wilke, the head of the electron-microprobes Laboratory, of the Helmholtz Centre Potsdam GFZ – German Research Centre for Geosciences, for geochemical analyses and isotopic dating of the Shkhara uraninite veins; Mr. Rudolph Geipel, a German radiophysicist, who gave us the radiation dosimeter FAG-FH40F2 as a gift; We express our gratitude to everyone who assisted us in project management as well as in field and laboratory works and publication of this book; the editor of this book, Mr. Nodar Poporadze, Professor of the Georgian Technical University, and the reviewer, Mr. Zurab Javakhishvili, Professor of the Ilia State University.

Finally, we are would like to express a special appreciation to Mr. Irakli Gamkrelidze, Academy Member of the Georgian National Academy of Sciences, for insightful consultations and critical reading of the manuscript.

გამოყენებული ლიტერატურა

აქიმიძე კ., 2010. ალაზანგაღმა კახეთის გვიანპლინსბახურ-ადრეტოარსული ვულკანიზმი. ალექსანდრე ჯანელიძის გეოლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. ახალი სერია. ტ. 125. გვ. 164-172.

ბლუაშვილი დ., 2001. ზემო სვანეთის ჰოკრილას რაიონის პეტროლოგია და მადანგამოვლინებები. დისერტაცია გეოლოგიის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 137 გვ.

გოგოლაძე ს., 2017. შავი ზღვის გურიის სანაპიროს მაგნეტიტიანი ქვიშები: გენეზისი და თორიუმის კონცენტრაცია. სამაგისტრო ნაშრომი. თბილისი, 48 გვ.

დუდაური ო., 2003. საქართველოს მეზოზოური ინტრუზიული მაგმატიზმის პეტროლოგია. სადოქტორო დისერტაციის ავტორეფერატი. თბილისი, 81 გვ.

ოქროსცვარიძე ა., 1992. პირველი მონაცემები ოქროს მაღალი შემცველობის შესახებ მდ. საკენის აჩაპარას და ჰოკრილას სათავეებში (აფხაზეთი -ზემო სვანეთი). საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის „მოამბე“, ტ. 145, №1, გვ. 120-124.

ოქროსცვარიძე ა., 1995. კავკასიონის ჰერცინული გრანიტოიდული სერიების პეტროლოგია. სადოქტორო დისერტაცია, თბილისი, 377 გვ.

ოქროსცვარიძე., 2014. საქართველოს სამთო-მოპოვებითი მრეწველობის განვითარების ზოგადი დინამიკა და თანამედროვე მდგომარეობა. კავკასიის გარემოს დაცვითი ორგანიზაციის CENN-ის პროექტის ანგარიში. თბილისი, 65 გვ.

შპს „გამა კონსალტინგი“, ანგარიში, 2015. წყალტუბოს თერმომინერალური წყლის საბადოს საექსპლუატაციო მარაგების გადათვლის შესახებ. თბილისი, 268 გვ.

ჩაგელიშვილი რ., 2006. კავკასიის შიდა მასივის ძირულის შვერილის რკვია-ბერეთისის ინტრუზიული კომპლექსის პეტროლოგია და გეოქიმია. დისერტაცია გეოლოგიის მეცნიერებათა კანდიდატის ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 144 გვ.

ჩხიკვიშვილი ზ., თ. ბანძელაძე, გოქაძე გ., კაკაბაძე რ., 1992. გურიის მადნიან რაიონში ოქროს ძებნისთვის 1:25000 მასშტაბის რუკის გეოლოგიურ-გეოქიმიურ-გეოფიზიკური მოსამზადებელი სამუშაოები. საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის ანგარიში, თბილისი, 173 გვ.

ჯავახიშვილი ი., 2014. ძირულის კრისტალური მასივის გეოლოგიურ-პეტროგრაფიული თავისებურებანი საზანოს პეგმატიტური ველის მაგალითზე. სამაგისტრო ნაშრომი, თბილისი, 67 გვ.

Авалишвили И. П., Фруидзе Т. М., Лоладзе М. Г., Копадзе Т. Ф., 1958. Геологическое описание бассейнов рек Иори, Илто, Алазани и Стори., Фонды ГПГУ, Тбилиси, 184 с.

Адамия Ш. А., Гамкрелидзе И. П., Закариадзе Г. С., Лордкипанидзе М. Б. 1974, Аджаро-Триалетский прогиб и проблема происхождения глубоководной впадины Черного моря. Геотектоника №1, pp. 78-94.

Акимидзе и др., 1980. Отчет поисковых работ м-ба 1:25000 в пределах медно-пирротинового пояса Кахетии в междуречье Лопота-Алазани за 1975-80 г.г. Фонды Геологическое управление Грузии, Тбилиси, 235 с.

Алексеева М. И., Нацваладзе Д. К., Джавахишвили З. И., 1964. Геологические итоги радиометрических поисков урана и тория в Грузии в период 1963 года. Отчет Грузинского геологического управления, Тбилиси, 44 с.

Балавадзе Б., Твалтваладзе Г., Шенгелиа Г., Сихарулидзе В., Картвелишвили М., 1966. Геофизические исследования земной коры в пределах Кавказа. Геотектоника, 3, стр. 34-43.

Буадзе В, Бенидзе Г., 1979. Условия формирования медно-пирротинового-полиметаллических рудопоявлений Горной Кахетии в свете геолого-минералогических исследований изучения состава серы в сульфидах. Материалы по полезным ископаемым Кавказа. Тбилиси. Ганатлеба, сс. 55 -76.

Буачидзе С. Г., 1987. Гидрогеология Грузии. Тбилиси, Мецниереба, 325 с.

Бухникашвили А., 1931. Отчет Иоро-Алазанской геологической партии. Грузинского геологического управления, Тбилиси, 45 с.

Варданьянц Л. А., 1940. Интрузии северной Кахетии (Кавказ). Записки Всероссийского минералогического общества, №2-3, ч. LXIX. Москва, с. 23-39.

Гамкрелидзе П. Д., 1949. Геологическое строение Аджаро-Триалетской складчатой системы, Ин-т геологии и минералогии АН ГССР, Монография, 432 с.

Гамкрелидзе И., П., 1974. Важнейшие черты тектонического развития Анатолийско-Кавказско-Иранского сегмента Средиземноморского пояса. Докл. АН ГССР, вып. 74, № 1, с. 117-120.

Гамкрелидзе И. П., 1976 Механизм формирования тектонических структур и некоторые общие проблемы тектогенеза. Труды Геол. Ин.-та, Нов. Сер., 226 с.

Гамкрелидзе И. П., 1977. Тектоническое развитие Анатолийско-Кавказско-Иранского сегмента Средиземноморского пояса. Геотектоника, №3. с. 25-36.

Гамкрелидзе И. П., Думбадзе Г. Д., Кекелия М. А., Хмаладзе И. И., Хуцишвили О. Д., 1979. Фрагмент офиолитов в Дзирульском кристаллическом массиве. Со- общ. АН ГССР, №2. с. 381-384.

Гамкрелидзе И. П., Думбадзе Г. Д., Кекелия М. А., Хмаладзе И. И., Хуцишвили О. Д., 1981. Офиолиты Дзирульского массива и проблема Палеотетиса на Кавказе. Геотектоника, №5. с. 23-33.

Гамкрелидзе И. П., 1989, Геодинамическая эволюция и механизм формирования структуры Средиземноморского складчатого пояса. В кн. „Геодинамика Кавказа“, вып. 99, с. 79-89.

Гамкрелидзе И. П., Шенгелиа Д. М., 1999. Новые данные о геологическом строении Дзирульского кристаллического массива и условия формирования магматитов Тр. ГИН АН Грузии. Нов. сер. Вып. 114. с. 46-71.

Гамкрелидзе И. П., Шенгелиа Д. М., 2001. Условия формирования магматических пород Дзирульского кристаллического массива (Кавказ) в свете тектонической расслоенности Земной коры. Геотектоника, №1. с. 60-72.

Гамкрелидзе И. П., Шенгелиа Д. М., 2005. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа. Москва, Научный Мир, 458 с.

Гиоргобиани Т. В., 2003. К вопросу о происхождении горст-антиклинория Главного хребта Восточного Кавказа. Доклады Академии наук России. Т. 388, № 3. с. 363-368.

Гоциридзе Г. Д., Нацваладзе Д.К., Турманидзе А.Т., Чиргадзе Г.К., 1985. Поискового-оценочные работы по урану на восточной и южной перифериях Храмского массива в 1983-1985 годах. Отчет Грузинского геологического управления, Тбилиси, 120 с.

Дудаури О. З., Тогонидзе М. Г. Вашакидзе Г. Г., 1999. Региональные проблемы изотопной геологии. Сб. тр., посвящен. 90-лет. со дня рожд. Г. М. Заридзе. Тбилиси, с.118-132.

Дудаури О., Тогонидзе М., 2016. Петрология и изотопная геохронология мезозойских интрузивных комплексов Грузии. Мецниереба, Тбилиси, 338 с.

Джавахишвили Г. Д., 1939. Отчет Цхалтубинской гидрогеологической партии. Тбилиси, 19 с.

Джавахишвили Ш. П., 1973. Кристаллические сланцы южного склона Большого Кавказа. Тбилиси, Мецниереба, 194 с.

Заридзе Г. М., 1961. Петрография магматических и метаморфических пород Грузии. Москва, Геосгеолтехиздат, 383 с.

Крестников В. Н., Робинсон В. Н., 1955. К вопросу о палеозое Северной Кахетии. ДАН СССР. т.105. №5. С. 1076-1079.

Лордкипанидзе М., 1980. Альпийский вулканизм и геодинамика центрального сегмента средиземноморского пояса. Мецниереба, Тбилиси, 162 с.

Нацваладзе Д. К., Гоциридзе Г. Д., 1978. О геологических итогах поисков урана на западной периферии Окрибского поднятия в период 1975-1977 годов. Отчет Грузинского геологического управления. Тбилиси, 125 ст.

Огилви Н. А., 1932. предварительный отчет Цхалтубинской гидрогеологической партии. Тбилиси, 10 с.

Одикадзе Г. Л., 1971. Уран и торий в гранитоидах Большого Кавказа и Дзирульского массива. Известия Института минерального сырья Кавказа, IX выпуск, с. 165-175.

Окроецваридзе А., Кларк Д.Б., 2004. Новые данные Sm-Nd, Rb-Sr и Ar-Ar изотопного исследования магматических пород Дзирульского выступа Закавказского срединного массива. ДАН России, т. 398, №1, с. 34-40.

Окроецваридзе А., 2007. Герцинский гранитоидный магматизм Большого Кавказа. Из-во Интеллект, Тбилиси, 223 с.

Схиртладзе Н., 1959. Постралеогеновый эффузивный магматизм Грузии, Из-во Мецниереба, Тбилиси, 297 с.

Турманидзе А.Т., Нацваладзе Д.К., 1991. Отчет по массивным поискам урана на территории Грузии. Отчет Грузинского геологического управления. Тбилиси, 225 с.

Тутберидзе Б., 2004. Геология и петрология альпийского позднеорогенного магматизма Центральной части Кавказа. Тбилиси, 245 с.

Харашвили Г. И., 1948. Минералогия Заалазанского рудного поля. Автореферат кандидатской диссертации. Тбилиси, 27 с.

Цагарели А., 1989. Четвертичная система Грузии, Из-во Мецниереба, 218 с.

Чихелидзе К. С., 1998. Петрология палеозойских гранитоидов Дзирульского кристаллического массива. Автореф. кандид. дисс. Тбилиси, 25 с.

Шенгелия Д.М., 1973. Петрология палеозойских гранитоидов Северного Кавказа. Из-во Мецниереба, Тбилиси, 277 с.

Шенгелия Д. М., Окроецваридзе А. В., 1998. Новые данные о строении Дзирульского выступа доальпийского фундамента Грузинской Глыбы. Докл. РАН., Т. 355. №6, с. 801-806.

Albarède F., 2003. Geochemistry: an introduction. Cambridge University Press. 217 p.

Andersen, T., 2002. Correction of common lead in U–Pb analyses that do not report ^{204}Pb . Chemical Geology, vol. 192, no. 1-2, pp. 59–79.

Anthony J. W., Bideaux R.A., Bladh K.W., Nichols M.C. 1990. “Uraninite” Handbook of Mineralogy. Mineralogical Society of America, vol. 14, no. 2, pp. 67–85.

Ault, T., Van Gosen, B., Krahn, S., Croff, A., 2016. Natural thorium resources and recovery: Options and impacts. *NuclearTechnology*, vol. 194, no. 2, 38 p.

Agamalian, V., 2004. The Lesser Caucasus Earth Crust formation and evolution in the collision zone of Palaeo-Tethys. *Proceedings of the 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, pp. 17-20.

Asiabanha, A., Foden, J., 2012. Post-collisional transition from an extensional volcano-sedimentary basin to a continental arc in the Alborz Ranges, N-Iran: *Lithos*, vol. 148, p. 98-111.

Ashwal L., Torsvik T., Horvath P., Harris C., 2016. A mantle-derived origin for Mauritian trachytes. *J. Petrology*, vol. 57, pp. 1645-1676.

Ballato P., Uba C.E., Landgraf A., Strecker M.R., Sudo M., Stockli D.F., Friedrich A., Tabatabaei, S.H., 2011. Arabia-Eurasia continental collision: Insights from Late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran: *Geological Society of America Bulletin*, vol., 123, pp. 106–131.

Ballouard C., Poujol, M., Boulvais P., Mercadier J., Tartèse, R., Venneman T., Deloule, E., Jolivet M., Kéré L., Cathelineau M., Cuney M., 2017. Magmatic and hydrothermal behavior of uranium in syntectonic leucogranites: The uranium mineralization associated with the Hercynian Guérande granite (Armorican Massif, France). *Ore Geology Reviews* 80, pp. 309–331. <https://doi.org/10.1016/j.oregeo-rev.2016.06.034>.

Barbarin B., 2005. Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: nature, origin, and relations with the hosts. *Lithos* 80, pp. 155-177.

Basson I. J., Greenway G., 2004. The Rössing Uranium Deposit: a product of late-kinematic localization of uraniumiferous granites in the Central Zone of the Damara Orogen, Namibia. *Journal of African Earth Sciences*, vol. 38, no.5, pp. 413–435.

Barthel F. H., Tulsidas H., 2014. Thorium Occurrences, Geological Deposits and Resources. *IAEInternational Symposiumon Uranium Raw Material for Nuclear Energy*. Vienna, Austria, 156 p.

Bogdanov Y.V., Kutyrev E. I., 1973. Classification of Stratified Copper and Lead-Zinc Deposits and the Regularities of Their Distribution. In: “Ore in Sediment”, *International Union of Geological Sciences*, vol., 3, pp. 55-63.

Bonnetti C., Liu X., Mercadier J., Cuney M., Deloule E., Villeneuve J., Liu W., 2018. The genesis of granite-related hydrothermal uranium deposits in the Xiazhuang and Zhuguang ore fields, North Guangdong Province, SE China: Insights from mineralogical, trace elements and U-Pb isotopes signatures of the U mineralisation. *Ore Geology Reviews* vol. 92, pp. 588–612. <https://doi.org/10.1016/j.oregeor-ev.2017.12.010>.

Boyle R. W., 1982. Geochemical Prospecting for Thorium and Uranium Deposits. Elsevier, p. 498.

Chen Y., Hu R., Bi X., Luo J. 2019. Genesis of the Guangshigou pegmatite-type uranium deposit in the North Qinling Orogenic Belt, China. *Ore Geology Reviews* vo.115, pp. 103-165. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103165>

Chi G., Ashton K., Deng T., Xu D., Li Z., Song H., Liang R., Kennicott J., 2020. Comparison of granite-related uranium deposits in the Beaverlodge district (Canada) and South China – A common control of mineralization by coupled shallow and deep-seated geologic processes in an extensional setting. *Ore Geology Reviews* vol. 117, pp.103-119. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103319>.

CERN to host conference on thorium technologies for energy" , 2013. Archived 19 October 2013 at the Wayback Machine, India Blooms.

Conca J., 2022. How the U.S. And Canada Share Nuclear Advances in Areas Like Thorium Reactors, *Business and Energy*, p. 12.

Chappell B. W., White A. J. R., Wyborn D., 1987. The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *Journal of Petrology*, vol.28, pp. 1111-1138.

Chiu H.-Y., Chung S. L., Wu F. Y. et al., 2009. Zircon U-Pb and Hf isotope constraints from eastern Transhimalayan batholiths on the precollisional magmatic and tectonic evolution in southern Tibet. *Tectonophysics*, vol. 477, pp. 3-19.

Chung S. L., Chu M. F., Zhang Y., 2005. Tibetan tectonic evolution inferred from spatial and temporal variations in post-collisional magmatism. *Earth-Sci Rev*, vol. 6, pp. 173-196.

Cramanske G., Rye R., 2008. Experimentally Determined Sulfur Isotope Fractionations between Sphalerte and Galena in Temperatute Gange 600 degrees to 275°C. *Cosmochim. Acta*, vol. 50, pp. 651-662.

Cuney M., 2014. Felsic magmatism and uranium deposits. *Bulletin de la Société Géologique de France* vol.185, no. 2, pp. 75–92. <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.185.2.75>.

Cuney P. M., Kyser K. 2017. Geology and Geochemistry of Uranium and Thorium Deposits. *Mineralium Deposita* vol. 52, pp. 133–134. <https://doi.org/10.1007/s00126-016-0681-9>.

DePaolo D., Managa M., 2003. Deep Origin of hotspots – the Mantle Plume Model. *Science*, vol. 300, pp. 920-921.

Descriptive Uranium Deposit and Mineral System Models, 2020. International Atomic Energy Agency (IAEA) ISBN: 978–92–0–109320–2, 313 p.

Didier J., Barbarin B., (Editores) 1912. Enclaves and Granite Petrology (Developments in Petrology). Elsevier Sciences, 626 p.

Dolníček Z., René M., Hermannová S., Prochaska W., 2013. Origin of the Okrouhlá Radouň episyenite-hosted uranium deposit, Bohemian Massif, Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. *Mineralium Deposita* vol. 49, pp. 409–425. <https://doi.org/10.1007/s00126-013-0500-5>.

Dilek, Y., Imamverdiyev, N., and Altunkaynak, S., 2010. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: Collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, vol. 52, pp. 536-578.

Duggen S., Hoernle K., Bogaard P. et al., 2005. Post-collisional transition from subduction-to intraplate-type magmatism in the westernmost Mediterranean: evidence for continental-edge delamination of subcontinental lithosphere. *Petrology*, vol. 46, pp. 1155-1201.

Edwin H., Uddin M., 2018. "Viability of thorium-based nuclear fuel cycle for the next generation nuclear reactor: Issues and prospects". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol. 97, pp. 259–275. doi:10.1016/j.rser.2018.08.019. S2CID 117681208

European Commission, 2011. Critical raw materials for the EU, 85 p.

European Commission, 2014. Annexes to the report on critical raw materials for the EU, 38 p.

"Fuel for India's nuclear ambitions", 2017. Nuclear Engineering International, Retrieved 12.

Frimmel H.E., Schedel S., Brätz H. 2014. Uraninite chemistry as forensic tool for provenance analysis. *Applied Geochemistry* vol. 48, pp. 104–121.

Gagnidze N., Okrostsvardize A., 2015. Ore-forming Processes and Ore Occurrences of the Eastern Greater Caucasus Georgian Segment. In proceeding of SEG, 2015 (Society of Economic Geologists) International Conference, Nance, France, pp. 37-47.

Gamkrelidze I., 1986. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. *Tectonophysics*, no. 127, pp. 261-277.

Gamkrelidze I. P., 1997, "Terrane of the Caucasus and adjacent areas". *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, vol.155, no, 3, pp. 75-81.

Gamkrelidze I., Gamkrelidze M., Loladze M., Tsamalashvili T., 2015. New tectonic map of Georgia (explanatory note): *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci*, vol. 9, no.1, pp. 111-116.

Gamkrelidze I., Shengelia D., Chchindaze G., Lee Y. H., Okrostsvardize A., Beridze G., Vardanashvili K., 2020. U-Pb LA-ICP-MS dating of zoned zircons from the Greater Caucasus pre-Alpine crystalline basement: Evidence for Cadomian and Variscan evolution. *Journal Geologica Carpathica*, vol. 71, no. 3, pp. 249-263.

Grice J. D., 1989. The Mineral Capital of Canada. In: Famous mineral localities of Canada. The National Museum of Natural Sciences, 190 p.

Groves D.I., Bierlein F. P., 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems. *Journal of the Geological Society* vol. 164, no.1, pp. 19–30, <https://doi.org/10.1144/0016-76492006-065>.

Gudjabidze G. E., Gamkrelidze I. P., Abesadze G. N., Buadze V. I., Djanelidze T. V., Dudaury O. Z., Kandelaki D. N., Nadareshvili G. S., Papava D. I., Pruidze M. P., Shengelia D. M., Topchishvili M. V., 2003. Geological map of Georgia: Georgian State Department of Geology and National Oil Company, Tbilisi, Georgia, scale 1:500 000.

Harris N., Pearce J., Tindle A. G., 1986. Geochemical characteristics of collision zone magmatism. *Geological Society of London, Special Publications* vol. 19, pp. 67–81, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.04>.

Haynes W. M., ed., 2011. Handbook of Chemistry and Physics, (92nd ed.) CRC press, 422 p.

Hazen R. M., Ewing R. C., Sverjensky D. A., 2009. Evolution of uranium and thorium minerals. *American Mineralogist* vol. 94, no. 10, pp. 1293–1311. <https://doi.org/10.2138/am.2009.3208>.

Hitzman M. W., Bookstrom A.A., Slack J. F., Zientek M. L., 2017. Cobalt-Styles of Deposits and the Search for Primary Deposits. Virginia U.S. Geological Survey, 237 p. <https://pubs.usgs.gov/of/2017/1155/ofr20171155.pdf> (13.06.2021)

Hofmann B., Eikenberg J. 1991. The Krunkelbach uranium deposit, Schwarzwald, Germany; correlation of radiometric ages (U-Pb, U-Xe-Kr, K-Ar, 230 Th- 234 U). *Economic Geology* vol. 86, no. 5, pp. 1031–1049, <https://doi.org/10.2113/gse-congeo.86.5.1031>.

International Atomic Energy Agency, 2003. “Thorium Resource Estimates” and Uranium: Resources Production and Demand, editions 1970–1986, OECD-NEA, Paris, 78 p.

International Commission on Radiological Protection, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication* vol. 103, no. 171, 65 p. <https://doi.org/10.1016/j.icrp.2007.10.003>.

Irvine T. N., Baragar W. R., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* vol. 8, no. 5, pp. 523–548. <https://doi.org/10.1139/e71-055>.

Jacoby M., 2009. "Reintroducing Thorium". *Chemical & Engineering News*, vol. 87 no. 46. pp. 44–46.

Kazimi M. S., 2003. “Thorium fuel for nuclear energy”, *American Scientist*, 91, pp. 305-313.

Kukkonen I., Lauri L. 2009. Modelling the thermal evolution of a collisional

Precambrian orogen: High heat production migmatitic granites of southern Finland. *Precambrian Research* vol. 168, no. 3–4, pp. 233–246. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.10.004>

Le Bas M., J., 2000. IUGS Reclassification of the High-Mg and Picritic Volcanic Rocks. *J. Petrology*, vol. 41, no. 10, pp. 1467-1470. <https://doi.org/10.1093/petrology/41.10.1467>

Lin Y. C., Chung S. L., Biñgöl A. F., Okrostsvardidze A., Yang L., Lin T. H., Lee H. Y., 2020. Diachronous Initiation of Post-Collisional Magmatism in the Arabia-Eurasia Collision Zone. *Lithos*, vol. 356-35782, pp. 82-95. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105394>

Liu K., Y., Hu Q., Ducea M. N, Hu Z., Zong K., Chen H., 2018. Magma Recharge and Reactive Bulk Assimilation in Enclave-Bearing Granitoids, Tonglu, South China. *J. Petrology*, vol. 59, Issue 5, pp. 795–824. <https://doi.org/10.1093/petrology/egy044>

Liu L., Qiu J. S., Li Z., 2013. Origin of mafic microgranular en (MMEs) and their host quartz monzonites from the Muchen pluton in Zhejiang Province, Southeast China: implications for magma mixing and crust-mantle interaction. *Lithos*, vol. 160, no. 61, pp. 145-163.

Long K.R., Van Gosen B., Foley N. K., Cordier D., 2010. The Principal Rare Earth Elements Deposits of the United States — A Summary of Domestic Deposits and a Global Perspective, U.S. Geological Survey, p. 145.

López-Moro, F.J., Romer, L. R., Rhede, D., Fernandez, A., Timón-Sánchez, S.M., Moro, M.C.. 2018. Early uranium mobilization in late Variscan strike-slip shear zones affecting leucogranites of central western Spain. *Journal of Iberian Geology*, no. 45, pp. 223–243.

Lordkipanidze M., Zakariadze G. S., Popolitov E. I., 1979. Volcanic evolution of marginal and interarc basins. *Tectonophysics*, vol. 77, no. 1, pp. 46-58.

Lordkipanidze M., Meliksetian B., Djarbashian R., 1989. Mesozoic-Cenozoic magmatic evolution of the Pontian-Crimean-Caucasus region: *Mémoire de la Société Géologique de France*, vol. 154, pp. 103–124.

Ludwig K. R., 2003. User's manual for Isoplot 3.00: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center, Special Publication 4, 74 pp.

Magni, 2019. The effects of back-arc spreading on arc magmatism. *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 519, pp. 141-151.

Marin K., 2014. "The Thing About Thorium: Why The Better Nuclear Fuel May Not Get A Chance". *Forbes*. p. 21.

Martin R. 2009. Uranium is So Last Century - Enter Thorium, the New Green Nuke. *Wired magazine*, Dec. 21. Available at www.wired.com/magazine/2009/12ff_new_nukes

Martinez F., B. Taylor B., 2002. Mantle wedge control on back- arc crustal accretion. *Nature*, vol. 416, pp.417-420.

McQuarrie N., and van Hinsbergen D. J. J., 2013. Retrodeforming the Arabia-Eurasia collision zone: Age of collision versus magnitude of continental subduction: *Geology*, vol. 41, pp. 315–318.

Mederer J., Moritz R., Ulianov A., and Chiaradia M., 2013. Middle Jurassic to Cenozoic evolution of arc magmatism during Neotethys subduction and arc-continent collision in the Kapan zone, southern Armenia. *Lithos*, vol. 177, pp. 61-78.

Meijers M.J.M., Smith B., Kirscher U., Mensink M., Sosson M., Rolland Y., Grigoryan A., Sahakyan L., Avagyan A., Langereis C., and Müller C., 2015. A paleolatitude reconstruction of the south Armenian block (Lesser Caucasus) for the Late Cretaceous: Constraints on the Tethyan realm: *Tectonophysics*, vol. 644, pp. 197–219.

Mercadier J., Annesley I. R., McKechnie C.L., Bogdan T. S., Creighton S. 2013. Magmatic and metamorphic uraninite mineralization in the western margin of the Trans-Hudson Orogen (Saskatchewan, Canada): A uranium source for unconformity-related uranium deposits?. *Economic Geology* vol. no. 108, pp. 1037–1065, <https://doi.org/10.2113/econ-geo.108.5.1037>.

Middlemost E.A. K., 1994. Naming materials in the magma/ igneous rock system. *Earth-Science Reviews* vol. 37, no. 3–4, pp. 215–224, [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9).

Moir R., Teller E., 2003. "Thorium-fuelled Reactor Using Molten Salt Technology", *Journal of Nuclear Technology*, September.

Moritz R., Melkonyan R., Selby D., Popkhadze N., Gugushvili V., Tayan R., Ramazanov V., 2016. Metallogeny of the Lesser Caucasus: From Arc Construction to Postcollision Evolution. *Society of Economic Geology, Special Publication 19*, pp. 157-192.

Okrostsvaridze A., Bluashvili D., 2000. Hokrila-Achapara Ore-bearing zone in the crystalline basement of the Greater Caucasus, Georgia. In proceeding of IGCP Project #337: Correlation, Anatomy and Magmatic Hydrothermal Evolution of Ore-Bearing Felsic Igneous System in Eurasia, Finland, Helsinki, pp.50-55.

Okrostsvaridze A., Bluashvili D., 2002. New Data about the Genesis and Isotopic Age of the Dzirula Salient Recotites (Orthoclase gabbro) of the Inner Caucasian Massif. *Bull. Geor. Acad. Sci.*, vol. 166, no. 3, pp.78-82.

Okrostsvaridze A., Clarke D. B., 2004. New data of Sm-Nd, Rb-Sr and Ar-Ar geochronology of the magmatic rocks of the Dzirula massif. *DAN Rossii*, vol. 398, no.1, pp. 34-40.

Okrostsvaridze A., Shubitidze L., Chagelishvili R., 2006. The First Data on Ultrabase Intrusive on the Budja Canyon (Dzirula Massif). Bull. of the Georgian Acad. Sci. vol.173, no. 3, pp. 533-536.

Okrostsvaridze A., Bluashvili D., 2009. The Sakeni Ore Field – Geological Evidence and Perspectives (Greater Caucasus). Bull. of Georg. Acad. Sci. vol. 3. no.1, pp. 84-87.

Okrostsvaridze A. Tormey D., 2011. Evolution of the Variscan Orogenic Plutonic Magmatism: The Greater Caucasus. Journal of Nepal Geological Society, Special Issue, vol. 403, pp. 45-52.

Okrostsvaridze A., Akhvlediani R., Chagelishvili R., 2011. Thermobaric Regime of the Formation of the Dzirula Massif Rkvia Variscan Granitoid Intrusive. Bull. Georg. Acad. Sci., vol.5, no. 3, pp.79-84.

Okrostsvaridze A., Akimidze K., Bluashvili D. 2011. The First Data on Industrial Concentration of Thorium and Bismuth in the Stori Canyon (Greater Caucasus). Bulletin of Georgian National Academy of Sciences, vol. 5, no. 2, pp. 76-82.

Okrostsvaridze A., Tormey D., 2013, “Phanerozoic Continental Crust Evolution of the Inner Caucasian Microplate”, IUGC Journal Episodes”, vol. 36, no.1, pp. 17-23.

Okrostsvaridze A., 2014. Thorium–Future Energy of Modern Civilization? and its Ore Occurrences in Georgia Republic. Bull. Georg. Natl. Acad. Sci., vol. 8., no 3, pp. 48-55.

Okrostsvaridze A., Bluashvili D., 2014. Petrology of the Vakijvari syenite plutone and characteristic of their ore field, Lesser Caucasus. In proc. of 3th int. conf. of ore potential of alkaline magmatism, Antalia, Turkey, pp. 41-43.

Okrostsvaridze A., Chung S. L., Tormey D., Bluashvili D., 2016, Gondvsn-Derived Relics in the construction of the Caucasus Collisional Orogen. Abst. SEG Conference.

Okrostsvaridze A., Gagnidze N., Boichenko G. 2016. Geology and Mineral Occurrences of the Eastern Greater Caucasus, Georgian Segment. Episodes, vol. 39, no. 3, pp. 37-47.

Okrostsvaridze A., Gogoladze S. 2017. Thorium Resources and their Energy Potential in Georgian Republic, the Caucasus. Elsevier, Energy Procedia, Proceedings of EGU 2017.

Okrostsvaridze, A., Chung, S.-L., Chang, Y.-H., Gagnidze, N., Boichenko, G., and Gogoladze, S., 2018. Zircons U-Pb Geochronology of the Ore-Bearing Plutons of Adjara-Trialeti Folded Zone, Lesser Caucasus. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 12, pp. 90-99.

Okrostsvaridze A., Chung S. L., Chang Y. H., Gagnidze N., 2019. Discovery of Pre-Cambrian relics in Paleogene Adjara-Trialeti belt pluton, Lesser Caucasus: Implication for zircons U-Pb Geochronology. *Goldschmidt 2019 Abstracts*, p. 1612.

Okrostsvaridze A., Chung S. L., Chang Y. H., Skhirtladze I., 2019. Geology and Zircon U-Pb Geochronology of the Mtkvari Pyroclastic Flow and Evaluation of Destructive Processes affecting Vardzia rock-cut City. *J. Quaternary International*, vol. 67 no. 5, pp. 57-64.

Okrostsvaridze A., Aqimidze K., Bluashvili D., Gogoladze S., Gabrielashvili R., 2021. The first data on the U-Th mineralization in the Shkhara Paleozoic Crystalline Massif, the Greater Caucasus. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, vol. 15, no. 4. pp. 88-95.

Okrostsvaridze A., Chang Y.-H., Chung S.-L., Rabayrol F., Boichenko G., Gogoladze S., 2021. Paleozoic xenoliths in Eocene plutons: evidence for the destruction of Pre-Jurassic crystalline basement beneath Adjara-Trialeti belt, Lesser Caucasus. *Journal Geologica Carpathica*, vo. 72, no. 4, pp. 299-315.

Okrostsvaridze A., Bluashvili D., Gogoladze S., Gabrielashvili R., 2022. The discovery of U mineralization in the late Variscan plagiogranite vein of the Shkhara crystalline massif (Greater Caucasus, Georgia). *GEOLOGICA BALCANICA* vol.51, no. pp. 3–14. <https://doi.org/10.52321/GeolBalc.51.1.3>

Ottom J., 212. The Geology of the Radon. U. S. Geological Survey, 29 p.

Pearce J. A., 1996. Source and setting of granitic rocks. *Episodes*, vol.19, no. 4, pp. 120–125, <https://doi.org/10.18814/epii- ugs/1996/v19i4/005>

Pearce J. A., Stern R. J., 2006. Origin of back-arc basin magmas: trace element and isotope perspectives. In: *Back-Arc Spreading Systems: Geological, Biological, Chemical, and Physical Interactions*, pp. 63–86.

Peccerillo A., Barberio M. R., Yirgu G., 2003. Relationships between mafic and peralkaline silicic magmatism in continental rift settings: a petrological, geochemical and isotopic study of the Gedemsa volcano, central Ethiopian rift. *Petrology*, vol. 44, pp. 2003-2032.

Philip H., Cisternus A., Gvishiani A., and Gorshkov A., 1989. The Caucasus: An actual example of the initial stages of a continental collision: *Tectonophysics*, vol. 161, pp. 1–21.

Plant J., Simpson P. R., Smith B., and Windley B. F., 1999. "Uranium Ore Deposits: Products of the Radioactive Earth", in Burns, P.C.; Finch, R. (eds.), *Reviews in Mineralogy*, vo. 38: Uranium: Mineralogy, Geochemistry and the Environment., Mineralogical Society of America, pp. 255–320.

Rabayrol F., and Hart C. J., 2020. Petrogenetic and tectonic controls on magma fertility and the formation of post-subduction porphyry and epithermal mineralization along the late Cenozoic Anatolian Metallogenic Trend, Turkey: *Mineralium Deposita*, pp. 1-28.

René, M. 2012. Uranium hydrothermal deposits. In: Vasiliev A.Y., Sidorov, M. (Eds), Uranium: Characteristics, Oreoccurrence and Human Exposure. Nova Science Publishers Incorporated, pp. 211–244.

Rene M., 2017. Nature, Sources, Resources and Production of Thorium. p. 34. DOI:10.5772/intechopen.68304.

Reynolds L. J., 2001. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposite. MESA Journal, vol. 23, pp. 4-11.

Robertson A.H.F., Parlak O., and Ustaömer T., 2013. Late Paleozoic-early Cenozoic tectonic development of southern Turkey and the easternmost Mediterranean region: Evidence from the inter-relations of continental and oceanic units: Geological Society of London Special Publication 372, pp. 9-48.

Rolland Y., Galoyan G., Sosson M., Melkonyan R., and Avagyan A., 2010. The Armenian ophiolite: Insights for Jurassic back-arc formation, Lower Cretaceous hot spot magmatism and Upper Cretaceous obduction over the south Armenian block: Geological Society of London Special Publication 340, pp. 353–382.

Rolland Y., Perincek D., Kaymakci N., Sosson M., Barrier E., and Avagyan A., 2012. Evidence for 80–75 Ma subduction jump during Anatolide-Tauride-Armenian block accretion and 48 Ma Arabia-Eurasia collision in Lesser Caucasus-east Anatolia: Journal of Geodynamics, vol. 56–57, pp. 76–85.

Roumer I. F., Stampfly M., Bussy F., 2003. Gondwana-derived microcontinents – the constituent of the Variscan Alpine collisional orogens. Tectonophysics, no. 365, pp. 7-22.

Sahin S., Yildiz K., Sahin H., Acir A., 2006. Investigation of CANDU reactors as a thorium burner. Energy Conversion and Management, no. 47, pp. 13–24.

Sdrolias M., and Muller R. D., 2006. Controls on back-arc basin formation. An electronic Journal of Earth Sciences. Geochemistry, Geophysics, vol. 7, no. 4, pp. 76-85.

Seal R., 2006. Sulfur Izotope Geochemistry of Sulife Minerals. J Reviews in Mineralogyand geochemistry, vo. 61, pp. 633-677.

Şengör A.M.C., 1984. The Cimmeride orogenic system and the tectonics of Eurasia. Geological Society of America Special Paper 195, pp.181-241.

Shellnutt J. G., Jahn B. M., Dostal J. 2010. Elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of microgranular enclaves from peralkaline A-type granitic plutons of the Emeishan large igneous province, SW China. Lithos 119, pp. 34- 46.

Simandl G.J., and Neetz M., (Eds.). 2015. Symposium on Strategic and Critical Materials Proceedings, Victoria, British Columbia, British Columbia Geological Survey Paper 2015-3, pp. 163-171.

Sláma J., Košler J., Condon D.J., Crowley J.L., Gerdes A., Hanchar J.M., Horstwood M.S.A., Morris G. A., Nasdala L., Norberg N., Schaltegger U., Schoene B., Tubrett M. N., Whitehouse M. J., 2008. Plešovice zircon – a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology* vol. 249, no.1–2, pp. 1–35.

Somin M. L., 2011. Pre-Jurassic basement of the Greater Caucasus: Brief overview. *Turkish Journal of Earth Sciences* vol. 20, pp. 545–610. <https://doi.org/10.3906/yer-1008-6>.

Smriti G., 2021. "China prepares to test thorium-fuelled nuclear reactor". *Nature*, 597, pp. 311–312. doi:10.1038/d41586-021-02459

Sosson M., Rolland Y., Müller C., Danelian T., Melkonyan R., Kekelia S., Adamia S., Babzadeh V., Kangarli T., Avagyan A., Galoyan G., and Mosar J., 2010. Subductions, obduction and collision in the Lesser Caucasus (Armenia, Azerbaijan, Georgia), new insights: *Geological Society of London Special Publication* 340, pp. 329-352.

Staat, M. H. 1979. Geology and mineral resources of the Lemhi Pass thorium district, Idaho and Montana. *U.S. Geological Survey Circular* 1336, pp. 1-29.

Talor B., Martinez, 2003. Back-arc basin basalts systematics, 2003. *Earth and Planetary Science Letters* 210, pp. 481-497.

The NIST reference, 2019. The international reference on the International System of Units (SI).

Thorium as an Energy Source - Opportunities for Norway, 2009. Norwegian Thorium Report Committee, p. 76.

Topuz G., Okay A. I., Altherr, R., Schwarz W. H., Siebel W., Zack T., Satır M., 2011. Post-collisional adakite-like magmatism in the Agvanis massif and implications for the evolution of the Eocene magmatism in the Eastern Pontides (NE Turkey): *Lithos*, vol. 125, pp. 131-150.

Tulsidas H., Van Gosen B. S., Griffiths C., Barrett A., Lopez L., Villas-Bôas R., Shengxiang L., Ross J., Banks P., Hilton J., Heiberg S., MacDonald D., Hanly A., 2015. Guidelines for application of the United Nations framework classification for resources (UNFC) to uranium and thorium resources. Report of the United Nations Economic Commission for Europe, 71 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1805.0328>

Uranium Resources, Production and Demand, 2014. The International Atomic Energy Agency (IAEA). Paris, France, 508 p.

Uranium, 2020. Resources, Production and Demand ('Red Book'); World Nuclear Association, The Nuclear Fuel Report, 483 p.

Van Gosen, B., Gillerman, V.S., Armbrustmacher, T. J. 2009. Thorium Deposits of the United States Energy Resources for the Future? *U.S. Geological Survey Circular* 1336, 21 p.

Vincent S.J., Allen M.B., Ismail-Zadeh A.D., Flecker R., Foland K.A., and Simmons M.D., 2005. Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene evolution of the south Caspian region: Geological Society of America Bulletin, vol. 117, pp. 1513–1533.

Wang S. J., Lee Y. H., Chung S. L. Okrostsvaridze A., 2015. Cenozoic Mountain Building Process in the Greater Caucasus, from Subduction to Collision, American Geophysical Union, Fall Meeting 2015, abstract #T21A-4565.

Wickleder M., Fourest B., Dorhout P., 2006. "Thorium". The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements. pp. 52-160. doi:10.1007/1-4020-3598-5

Windham C., 2007. Thorium: fueling a sustainable future for nuclear power. In: "Nuclear Energy Review", pp. 103-110.

Whitney D. L., Evans B. W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, vol. 95, pp. 185-187. DOI: 10.2138/am.2010.3371 185

World Nuclear Association, Thorium. <http://www.world-nuclear.org/info/current-and-future-generation/thorium/> (accessed Nov. 2014).

World Thorium occurrence, deposits and resources, 2019. International Atomic Agency, IAEA- TECDOC-1877, Vena, p. 120.

Wu Y. B., Zheng Y. F., 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. Chinese Sci. Bull., vol. 49, pp. 1589-1604.

Yilmaz Y., Tuysus O., Yigitbas E., Can Genc S., Sengor A. M. C., 1977. Geology and tectonic evolution of the Pontides. AAPG Memoir 68, pp. 183-226.

Yilmaz A., Adamia Sh., Chabukiani A., Chkhotua T., Erdogan K., Tuzcu S., and Karabilykoglu M., 2000. Structural correlation of the southern Transcaucasus (Georgia)-eastern Pontides (Turkey): Geological Society of London Special Publication 173, pp. 171–182.

Yu C. D., Wang K. X., Liu X. D., Cuney M., Pan J. Y., Wang G., Zhang L., Zang L., 2020. Uranium Mineralogical and Chemical Features of the Na-metasomatic Type Uranium deposit in the Longshoshan Metallogenic Belt, Northwester China. Minerals vol. 10, no. 4, 335 p, <https://doi.org/10.3390/min10040335>

Zaridze, G., Shengelia, D., 1978. Hercynian magmatism and metamorphism of the Great Caucasus in the light of plate tectonics. Bulletin de la Societe Geologique de France XX, no.3, pp. 355-359.

Zhang C., Cai Y., Xu H., Dong Q., Liu J., Hao R., 2017. Mechanism of mineralization in the Changjiang uranium ore field, South China: Evidence from fluid inclusions, hydrothermal alteration, and H-O isotopes. Ore Geology Reviews vol. 86, pp. 225–253. <https://doi.org/10.1016/j.oregeo rev.2017.01.013>.

Zheng Y., Mao J., Chen Y., Sun W., Pei N., Yang X., 2019. Hydrothermal ore deposits in collisional orogens. Science Bulletin vol. 64, no. 3, pp. 205–212. <https://doi.org/10.1016/j. scib.2019.01.007>.



გეოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორმა ავთანადილ ოქროსცვარიძემ დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. იგი სამეცნიერო საქმიანობას ეწეოდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოლოგიის ინსტიტუტში, ხოლო ამჟამად მუშაობს ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტში. მისი ძირითადი სამეცნიერო ინტერესი მოიცავს ოროგენული სისტემების პლუტონურ მაგმატიზმსა და მადნიან მინერალიზაციას. გამოქვეყნებული აქვს 200-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი. მას მიწიჭებული აქვს საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ალ. ჯანელიძისა და ალ. თვალჭრელიძის სამეცნიერო პრემიები.



გეოლოგიის მეცნიერებათა კანდიდატმა კარლო აქიმიძემ დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. მუშაობდა ყაზახეთში ჩინგიზის გეოლოგიურ პარტიაში, ხოლო შემდეგ - საქგეოლოგიის კახეთის გეოლოგიურ პარტიაში მთავარი გეოლოგის თანამდებობებზე. 1981-85 წ.წ. საწარმოო მივლინებაში იმყოფებოდა ალჟირში, სადაც ხელმძღვანელობდა ძებნით ჯგუფს საჰარის უდაბნოში. 2002 წლიდან მუშაობს თსუ-ს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის გეოლოგიის დეპარტამენტში ასოცირებულ პროფესორად. მას გამოქვეყნებული აქვს 25 სამეცნიერო ნაშრომი.



გეოლოგიის მეცნიერებათა კანდიდატმა დავით ბლუაშვილმა დაამთავრა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. მან სამეცნიერო-გეოლოგიური საქმიანობა დაიწყო ამავე უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიურ ფაკულტეტზე და ამჟამად განაგრძობს მუშაობას აქვე, ასოცირებულ პროფესორად. მისი ძირითადი სამეცნიერო საქმიანობა მოიცავს მაგმური წარმონაქმნების და მასთან დაკავშირებული ოქროს საბადოების ძებნასა და ძიებას. იგი მონაწილეობას ღებულობს როგორც საერთაშორისო, ასევე რეგიონულ სამეცნიერო პროექტებში. მას გამოქვეყნებული აქვს 85 სამეცნიერო ნაშრომი.



სალომე გოგოლაძემ გეოლოგიის მაგისტრის ხარისხი მიიღო ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტში. ამჟამად სწავლობს ამავე უნივერსიტეტის დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებების სადოქტორო პროგრამაზე. 2015 წლიდან მუშაობს დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა ინსტიტუტისა და სეისმური მონიტორინგის ეროვნული ცენტრის გეოლოგიის დეპარტამენტში. მისი სამეცნიერო ინტერესების სფერო მოიცავს მინერალოგიას, პეტროლოგიასა და გეოქიმიას. ავტორია 8 სამეცნიერო ნაშრომის.



ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოლოგიის დოქტორანტმა გიორგი ბოიჩენკომ დაამთავრა ამავე უნივერსიტეტის მაგისტრატურა. იგი გაცვლითი პროგრამით იმყოფებოდა კალიფორნიის დევისის უნივერსიტეტში. ამჟამად მუშაობს ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა ინსტიტუტის და სეისმური მონიტორინგის ეროვნული ცენტრის გეოლოგიის დეპარტამენტში. მისი სამეცნიერო საქმიანობა მოიცავს აქტიურ ტექტონიკასა და სტრუქტურულ გეოლოგიას. ავტორია 17 სამეცნიერო ნაშრომის.



რაბი გაბრიელაშვილმა საბაკალავრო განათლება დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებების მიმართულებით ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტში მიიღო. ამჟამად იგი თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოლოგიის მაგისტრანტია და მუშაობს ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა ინსტიტუტში და სეისმური მონიტორინგის ეროვნულ ცენტრში. მისი სამეცნიერო ინტერესის სფერო მოიცავს მინერალოგიას, პეტროლოგიას, გეოქიმიასა და მადნიან მინერალიზაციას. ის 3 სამეცნიერო ნაშრომის ავტორია.

გამომცემლობის დამკაბადონებელი

ნანა დუმბაძე

დიზაინერი

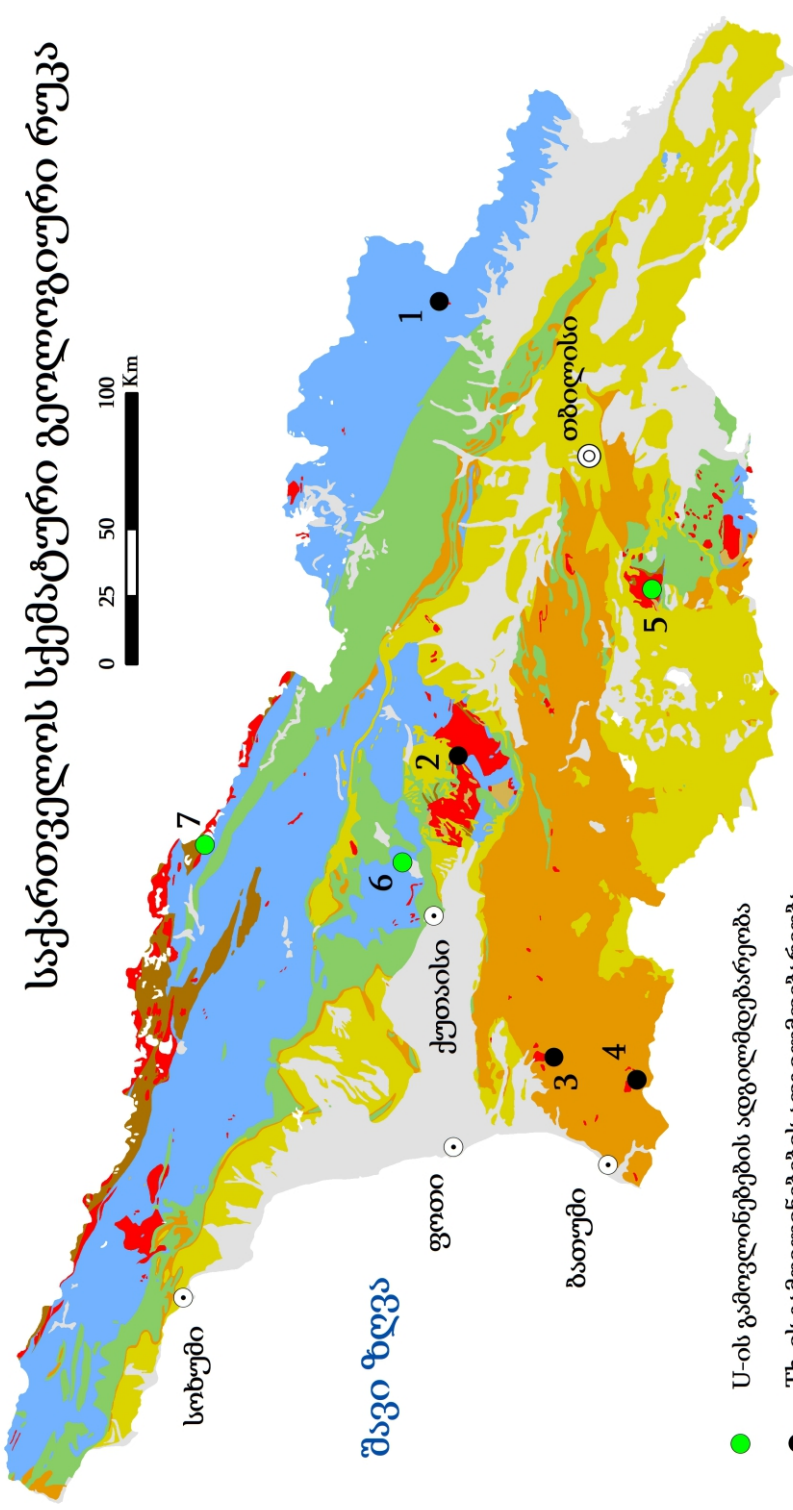
ირაკლი უშვერიძე



გამომცემლობა „უნივერსალი“

თბილისი, 0186, ა. ჯორჯიაძის ქ. №4. ☎: 5(99) 17 22 30; 5(99) 33 52 02
E-mail: universal505@ymail.com; gamomcemlobauniversal@gmail.com

საქართველოს სექმატური გეოლოგიური რუკა



შავი ზღვა

სოხუმი

ფოთი

ქუთაისი

ბათუმი

თბილისი

- U-ის გამოვლილებების ადგილმდებარეობა
- Th-ის გამოვლილებების ადგილმდებარეობა

	მეოთხეული - მოლასური და ვულკანოგენური ქანები		იურული - ტერიგენული და ვულკანოგენური ქანები
	ნეოგენი - დანალექი და ვულკანოგენური ქანები		პალეოზოლური - კრისტალური ფიქლები და გნეისები
	პალეოგენი - ვულკანოგენური და დანალექი ქანები		კამბრიულისწინა - კვარც-დიორიტული გნეისები
	ცარცული - კარბონატული და ტერიგენული ქანები		სიენიტები, გრანოდიორიტები და გრანიტები